

# THESE

présentée  
devant l'Université Paris IV - Sorbonne  
pour l'obtention du Doctorat de  
Géographie et Aménagement

par Hervé PIÉGAY

**DYNAMIQUES ET GESTION DE LA RIPISYLVE**  
**DE CINQ COURS D'EAU À CHARGE GROSSIÈRE**  
**DU BASSIN DU RHÔNE**  
**(l'Ain, l'Ardèche, le Giffre, l'Ouvèze et l'Ubaye),**  
**XIXème - XXème Siècles.**

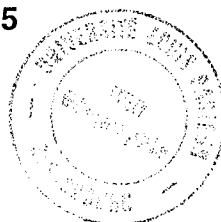
20 mars 1995



D 185 005098 2

u<sup>o</sup>21905

Jury :



**Mr. P. Balland**, Responsable du Service des Etudes et de la Restauration des Milieux,  
Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse.

**Mr. J.-P. Bravard**, Professeur de Géographie à l'Université Paris IV - Sorbonne.

**Mr. A. Godard**, Professeur de Géographie à l'Université Paris I - Panthéon-Sorbonne.

**Mme. M. Hotyat**, Professeur de Géographie à l'Université Paris IV - Sorbonne.  
(rapporteur).

**Mr. P. Mandier**, Professeur de Géographie à l'Université Lumière - Lyon II.

**Mr. R. Marston**, Professeur de Géographie à l'Université de l'Etat du Wyoming (E.U.).

**Mr. G. Pautou**, Professeur de Biologie végétale à l'Université Joseph Fourier de  
Grenoble. (rapporteur).

## Avant-propos

Le sujet abordé au cours de cette thèse n'aurait pas pu être prospecté aussi largement sans le soutien de nombreuses personnes et organismes publics. C'est pourquoi, il m'est agréable de remercier tous ceux et toutes celles qui ont contribué à ce travail et permis de le mener à son terme.

En premier lieu, mes remerciements vont à Monsieur **J.P. Bravard** qui m'a proposé ce sujet et qui l'a dirigé avec patience et amabilité durant un an dans le cadre de l'Université Jean Moulin Lyon III puis durant deux ans encore à l'Université Paris IV - Sorbonne.

Cette recherche s'est inscrite dans une démarche pluridisciplinaire et a été à l'origine d'une collaboration étroite avec des chercheurs d'autres spécialités ou des géographes dont les compétences étaient complémentaires des miennes. Ce travail est par conséquent le fruit de synergies étroites que nous avons tissées avec des écologues et des gestionnaires de rivières. En outre, la longue collecte de terrains aurait été impossible à mener isolément et a conduit également à promouvoir de telles collaborations. Aussi, je tiens tout particulièrement à remercier les personnes qui ont travaillé à mes côtés sur le terrain que ce soit sur l'Ain (**R. Marston** et **J. Newton** de l'Université du Wyoming), l'Ardèche (**B. Gonthier** du Syndicat Intercommunal de la Vallée de l'Ardèche), le Giffre (**J.L. Peiry** de l'Université de Grenoble) ou l'Ubaye (**P.G. Salvador** de l'Université de Lille). L'appui ponctuel et amical de **J.L. Large**, **N. Landon**, **N. Saur**, **C. Lasnier**, **C. Petit** ou encore de **E. Lama** est encore à signaler car sans leur aide, beaucoup de résultats n'auraient pas pu être présentés.

En outre, cette thèse, qui a été conduite durant plus de deux ans dans le cadre de l'Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse, doit beaucoup à Messieurs **P. Balland** et **P. Dupont** du Service des Etudes et de la Restauration des Milieux qui ont soutenu activement ce travail et permis une diffusion rapide de ses résultats, ceux-ci étant déjà en grande partie pris en compte dans des actions opérationnelles et notamment dans le SDAGE Rhône-Méditerranée-Corse. Par ailleurs, des études inspirées de ce travail sont aujourd'hui en cours sur l'Arc, le Calavon, l'Eygues, la Galaure, la Drôme... Cette thèse doit également beaucoup à la division "Biologie des Ecosystèmes Aquatiques" du CÉMAGREF de Lyon et plus précisément à **J.G. Wasson** qui a bien voulu m'accepter durant trois mois encore dans son laboratoire afin de me permettre de finir ce travail.

Je souhaite aussi remercier Messieurs **J. Girel** et **G. Pautou** qui ont accueilli aimablement ce travail et m'ont permis à la suite de discussions ouvertes, de progresser en phytoécologie. Je suis également tout particulièrement reconnaissant à **L. Maridet** et **O. Gilard** du CÉMAGREF de Lyon, **B. Meuret** de l'INSA et **M. Véro** de l'Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse, d'avoir enrichi mes connaissances en écologie animale, hydraulique, sociologie ou en matière de droit de l'environnement.

Mes remerciements vont encore aux services de l'Etat qui ont en charge la police des eaux et notamment **Y. Majchrzak** de la DDE de l'Ain, **C. Gigon** de la DDE de l'Ardèche, **J.P. Courtin** et **J. Rimpault** de la DDA de la Haute-Savoie, **J.M. Gibelin** de la DDE des Alpes de Haute-Provence, **M. Goueffon** du Service RTM des Alpes de Haute-Provence et **P.Y. Subrenat** de l'ONF de Barcelonnette, pour l'aide qu'ils ont apportée à la réalisation de ce travail.

Je remercie enfin **P. Mandier** qui soutient mon travail depuis quelques années déjà et qui m'a ouvert les portes du laboratoire de Géomorphologie Rhodanienne de l'Université Lyon II. Une pensée va encore à **C. Lasnier**, dessinateur à l'Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse, pour son aide précieuse lors de la mise en forme des figures.

# Sommaire

Pages :

|  |           |
|--|-----------|
| <b><u>Introduction</u></b>   | <b>19</b> |
| <b><u>I. Cadre conceptuel et problématique:</u></b>                        | <b>21</b> |
| <u>1. Espace fonctionnel et espace géographique</u>                        | 21        |
| 1.1 Du "river continuum" à l'hydrosystème                                  | 21        |
| 1.2 Mosaïque fluviale et écotone   | 23        |
| 1.3 L'homme, un acteur de l'hydrosystème                                   | 24        |
| <u>2. Le compartiment forestier de l'hydrosystème</u>                      | 27        |
| 2.1 Ripisylve ou forêt alluviale?  | 27        |
| 2.2 Analyse fonctionnelle de la forêt alluviale                            | 29        |
| <u>3 Une problématique de gestion</u>                                      | 32        |
| 3.1 Les concepts   | 32        |
| 3.2 Les axes de recherche  | 33        |
| <b><u>II Présentation des cours d'eau et des tronçons sélectionnés</u></b> | <b>37</b> |
| <u>1. Cadre géographique et morphostructural</u>                           | 38        |
| 1.1 La basse vallée de l'Ain   | 38        |
| 1.2 La moyenne vallée de l'Ardèche   | 39        |
| 1.3 La moyenne vallée du Giffre  | 39        |
| 1.4 La moyenne vallée de l'Ouvèze  | 40        |
| 1.5 La moyenne vallée de l'Ubaye   | 40        |
| <u>2. Le cadre hydrologique et la dynamique des crues</u>                  | 44        |
| 2.1 Les caractères hydrologiques généraux                                  | 44        |
| 2.2 Les types de crues   | 45        |
| <u>3. Cadre et Indicateurs morphodynamiques</u>                            | 49        |
| 3.1 Données bibliographiques   | 49        |
| 3.2 Indices morphodynamiques et style fluvial                              | 50        |
| 3.3 La sectorisation d'après les puissances hydrauliques                   | 53        |
| <u>4. Les indicateurs écologiques et physico-chimiques</u>                 | 55        |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>III Les techniques d'approche</b>                                      | <b>57</b> |
| 1 <u>Collecte et exploitation des documents d'archives</u>                | 57        |
| 1.1 Les documents cartographiques et photographiques                      | 57        |
| 1.1.1 Les documents cartographiques                                       | 57        |
| 1.1.2 Les documents photographiques                                       | 59        |
| 1.2 Les autres documents  | 59        |
| 2 <u>Collecte et exploitation des données de terrain</u>                  | 60        |
| 3. <u>L'enquête d'opinion</u>   | 60        |
| 4. <u>L'exploitation géostatistique</u>                                   | 64        |
| 4.1 L'exploitation statistique traditionnelle                             | 64        |
| 4.2 Les analyses multivariées   | 65        |
| 4.3 L'analyse spatiale  | 66        |
| <br>  |           |
| <b>ère Partie:</b>  |           |
| <b><u>LA BIOMÉTAMORPHOSE :</u></b>  |           |
| <b><u>ÉTUDE DIACHRONIQUE</u></b>  |           |
| <b>I Mise en évidence du phénomène</b>                                    | <b>69</b> |
| <b>I</b>  | <b>71</b> |
| 1. <u>La démarche méthodologique</u>                                      | 73        |
| 1.1 <u>Le cadastre ancien : approche spatiale et approche qualitative</u> | 73        |
| 1.1.1. Le problème de l'accès aux documents                               | 73        |
| 1.1.2. L'inégale richesse des documents                                   | 74        |
| 1.1.3. La démarche  | 74        |
| 1.2 <u>L'exploitation des photographies aériennes</u>                     | 74        |
| 1.2.1 La définition des unités de paysage                                 | 74        |
| 1.2.2 Transects et espaces considérés                                     | 74        |
| 2. <u>Les résultats par rivière</u>                                       | 78        |
| 2.1 <u>L'Ain :</u>  | 78        |
| 2.1.1 La période 1810-1950  | 78        |
| 2.1.2 La période 1947-1991  | 80        |
| 2.2 <u>L'Ardèche :</u>  | 81        |
| 2.2.1 Le secteur de Chauzon, 1833-1993                                    | 81        |
| 2.2.2 Le tronçon de la moyenne Ardèche, 1833-1993                         | 85        |
| 2.3 <u>Le Giffre:</u>   | 90        |
| 2.3.1 La source cadastrale, 1734-1993                                     | 90        |
| 2.3.2 La période 1934 -1984   | 91        |
| 2.4 <u>L'Ouvèze :</u>   | 95        |
| 2.4.1 La période 1830-1950  | 95        |
| 2.4.2 La période 1950-1991  | 96        |

|   |            |
|---|------------|
| 2.5 <u>L'Ubaye :</u>  | 100        |
| 2.5.1 La période 1830-1950  | 100        |
| 2.5.2 La période 1950-1990  | 101        |
| 3. <u>Synthèse et typologie</u>   | 102        |
| <br>  |            |
| <b>II. Les causes de la biométamorphose : approche systémique</b>   | <b>111</b> |
| 1. <u>La recolonisation en lit majeur : une dynamique anthropique</u>   | 113        |
| 1.1. Agrosystème d'hier et d'aujourd'hui  | 113        |
| 1.2 L'évolution de la population et des activités depuis deux siècles   | 114        |
| 1.2.1 Problématique et méthodologie   | 114        |
| 1.2.2 Les rivières de piémont   | 115        |
| 1.2.3 Les rivières de plaines intramontagnardes   | 117        |
| 1.3 Les données de l'enquête  | 118        |
| 1.4 Synthèse  | 121        |
| 2. <u>La variabilité diachronique de la géométrie de la bande active : le rôle des ajustements biologiques et physiques</u> | 122        |
| 2.1 Le jeu des variables biologiques  | 122        |
| 2.2 Le jeu des variables physiques  | 125        |
| 2.2.1 Bibliographie et méthodologie   | 125        |
| 2.2.1.1 Les descripteurs de l'évolution en plan   | 126        |
| 2.2.1.2 L'analyse diachronique des profils en long  | 127        |
| 2.2.1.3 L'analyse diachronique des puissances hydrauliques  | 129        |
| 2.2.2 Etude des rivières  | 132        |
| 2.2.2.1 L'Ain   | 132        |
| 2.2.2.2 L'Ardèche   | 136        |
| 2.2.2.3 Le Giffre   | 141        |
| 2.2.2.4 L'Ouvèze  | 145        |
| 2.2.2.5 L'Ubaye   | 148        |
| 2.3 Causes endogènes des modifications physiques de la bande active et ajustement des marges arborées                       | 151        |
| 2.3.1 Les causes endogènes des modifications physiques de la bande active   | 151        |
| 2.3.1.1 L'Ain   | 151        |
| 2.3.1.2 L'Ardèche   | 152        |
| 2.3.1.3 Le Giffre   | 155        |
| 2.3.1.4 L'Ouvèze  | 158        |
| 2.3.1.5 L'Ubaye   | 161        |
| 2.3.2 Morphodynamique et bioajustement  | 165        |
| 2.3.2.1 Incision et fluctuations spatiales des marges arborées  | 165        |
| 2.3.2.2 Les puissances hydrauliques   | 166        |
| 3. <u>Le rôle des flux dans le développement des formations arborées de la bande active</u>                                 | 168        |
| 3.1 La variabilité diachronique des flux  | 169        |
| 3.1.1 L'Ain, une hydrologie modifiée par l'homme?   | 169        |

|   |     |
|---|-----|
| 3.1.2 L'Ardèche : une réduction des pics de crue depuis un siècle                   | 171 |
| 3.1.3 Le Giffre : de fortes inondations au XIX <sup>e</sup> siècle                  | 174 |
| 3.1.4 L'Ouvèze : des données trop rares   | 174 |
| 3.1.5 L'Ubaye : une probable périodicité des pics au XX <sup>e</sup> siècle         | 175 |
| 3.2. Les causes de la variabilité diachronique des flux                             | 175 |
| 3.2.1 La variabilité naturelle de l'hydrologie                                      | 175 |
| 3.2.2 Les révolutions agricole et sylvicole des bassins versants                    | 176 |
| 3.2.2.1 L'exploitation des statistiques cadastrales : difficultés et méthodologie   | 177 |
| 3.2.2.2 Le bassin versant de l'Ardèche  | 178 |
| 3.2.2.3 Le bassin versant du Giffre   | 182 |
| 3.2.2.4 Le bassin versant de l'Ouvèze   | 184 |
| 3.2.2.5 Le bassin versant de l'Ubaye  | 186 |
| 3.3. Variabilité diachronique des flux et explication de la recolonisation végétale | 192 |

### **III. Modèles et synthèse explicative** 197

|  |     |
|--|-----|
| 1. Synthèse des changements et de leurs causes                                     | 197 |
| 1.1 L'Ain  | 197 |
| 1.1.1 Analyse critique de la métamorphose fluviale                                 | 197 |
| 1.1.2 La recolonisation végétale de l'Ain  | 201 |
| 1.2 La recolonisation végétale de l'Ardèche  | 202 |
| 1.3 La recolonisation végétale du Giffre   | 203 |
| 1.4 La recolonisation végétale de l'Ouvèze   | 204 |
| 1.5 La recolonisation végétale de l'Ubaye  | 205 |
| 2. Typologie des biométamorphoses et des différents mécanismes fonctionnels        | 206 |
| 2.1 Typologie des biométamorphoses des lits fluviaux dans la France du Sud-Est     | 207 |
| 2.1.1 Les forêts alluviales intra-montagnardes de protection                       | 207 |
| 2.1.2 Le reboisement spontané des rives fluviales des vallées faiblement aménagées | 207 |
| 2.1.3 L'explosion végétale des vallées aménagées                                   | 208 |
| 2.2 Les grandes fluctuations contemporaines de la superficie des forêts riveraines | 208 |

## **II<sup>ème</sup> Partie: LE FONCTIONNEMENT DES STRUCTURES BIOLOGIQUES**

215

### **I. Cadre bibliographique et secteurs d'étude** 219

|  |     |
|--|-----|
| 1. La relation structures biotiques - structures abiotiques : approche bibliographique | 219 |
| 1.1. La distribution végétale, une réponse à la dynamique fluviale                     | 219 |
| 1.1.1 La distribution des plantes  | 219 |
| 1.1.2 Une distribution dynamique   | 220 |
| 1.2 Un facteur de contrôle de la dynamique morphologique                               | 221 |

|   |     |
|---|-----|
| 2. Les secteurs d'étude                               | 221 |
| 2.1 L'Ain : les sites de Mollon et de Blyes           | 223 |
| 2.1.1 Le site de Mollon                               | 223 |
| 2.1.2 Le site de Blyes                                | 229 |
| 2.2 Les cinq sites de la moyenne Ardèche              | 232 |
| 2.3 Les sites observés sur le Giffre moyen            | 232 |
| 2.4 L'Ouvèze : les sites de Violès et de Saint-Michel | 235 |
| 2.5 Les trois sites observés sur la moyenne Ubaye     | 237 |

### **II Crues et variabilité spatiale de l'écotone bande active - lit majeur** 241

|   |     |
|---|-----|
| 1. L'événement étudié   | 241 |
| 2. La réaction d'un corridor ripicole à une crue exceptionnelle : le cas de l'Ouvèze sur le tronçon Roaix - Joncquières | 245 |
| 3. La réaction des marges boisées d'un secteur fonctionnel : le cas de Violès sur la moyenne Ouvèze                     | 248 |
| 3.1 Le fonctionnement du secteur au moment de la crue   | 248 |
| 3.2 Dissipation de l'énergie et diversification de la mosaïque végétale   | 250 |
| 3.3 Les complexes de processus biostructuraux   | 251 |
| 4. La réaction d'une unité fonctionnelle : le cas d'une saussaie à peupliers noirs à Lanas, moyenne Ardèche.            | 252 |
| 4.1 La méthode  | 253 |
| 4.2 Les résultats   | 253 |
| 4.2.1 Présentation des variables  | 253 |
| 4.2.2 Explication de la variabilité de l'inclinaison  | 255 |
| 4.2.3 Les complexes de processus-relais   | 257 |
| 4.3 Interprétation  | 257 |

### **III Les processus hydromorphologiques sous forêt** 261

|  |     |
|--|-----|
| 1. La dynamique des flux d'eau et de sédiments sur les marges boisées des cinq rivières d'étude. | 261 |
| 1.1 Méthodologie de la collecte et paramètres retenus  | 261 |
| 1.1.1 Méthodologie de la collecte  | 261 |
| 1.1.2 Les variables collectées sur les transects   | 263 |
| 1.1.3 Présentation des transects   | 267 |
| 1.1.3.1 Les transects levés sur les sites de l'Ain   | 267 |
| 1.1.3.2 Les transects levés sur les sites de la moyenne Ardèche                                  | 268 |
| 1.1.3.3 Les transects levés sur les sites du Giffre moyen  | 270 |
| 1.1.3.4 Les transects levés sur les sites de la moyenne Ouvèze                                   | 271 |
| 1.1.3.5 Les transects levés sur les sites de l'Ubaye   | 272 |
| 1.2 Effet filtre et variabilité des flux intraforestiers   | 273 |
| 1.2.1 Unités végétales et variabilité spatio-temporelle de la ligne d'eau.                       | 273 |

|   |            |
|---|------------|
| 1.2.2. Unités végétales et variabilité synchronique latérale de la granulométrie  | 279        |
| 1.2.2.1 Présentation des résultats bruts par rivières   | 279        |
| 1.2.2.2 La variabilité latérale de la médiane   | 280        |
| 1.2.2.3 L'image C-M des dépôts fluviaux des marges ripicoles  | 284        |
| 1.2.3 Unités végétales et variabilité diachronique latérale de la granulométrie   | 288        |
| 1.2.4 Unités végétales et variabilité latérale de l'épaisseur des sédiments fins de débordement                           | 290        |
| 1.3 Typologie biomorphodynamique des unités végétales de la mosaïque fluviale : vers un indicateur de régénération        | 294        |
| 1.3.1 L'analyse biomorphologique  | 295        |
| 1.3.1.1 Les variables et la méthode d'analyse   | 295        |
| 1.3.1.2 Les résultats de l'analyse  | 295        |
| 1.3.2 L'analyse phytosociologique   | 299        |
| 1.3.2.1 Les variables et la méthode   | 299        |
| 1.3.2.2 Les résultats de l'ACP  | 299        |
| 1.3.3 Relations entre les indicateurs biomorphologiques et phytosociologiques et analyse causale de la diversité végétale | 301        |
| 1.3.3.1 Relations entre les indicateurs biomorphologiques et phyto-sociologiques  | 301        |
| 1.3.3.2. Biodiversité et régénération   | 302        |
| <b>2 Variabilité spatiale de la morphodynamique des unités végétales d'un pédoncule de méandre.</b>                       | <b>305</b> |
| 2.1 La démarche méthodologique à l'échelle d'un secteur fonctionnel   | 305        |
| 2.2 Paramètres retenus lors de la collecte  | 307        |
| 2.3 Résultats : La variabilité spatiale des indicateurs micromorphologiques, pédologiques et sédimentaires                | 308        |
| 2.3.1 L'analyse micromorphologique  | 311        |
| 2.3.2 La sédimentologie   | 311        |
| 2.3.3 Les constituants pédologiques   | 314        |
| Conclusion  | 317        |
| 2.4 La dynamique de recoupement des méandres observée à grande échelle  | 318        |
| 2.4.1 Méthode retenue et paramètres collectés   | 319        |
| 2.4.2 La dynamique des formes   | 320        |
| 2.4.3 La dynamique de la surface  | 322        |
| 2.4.4 Quelques éléments de synthèse   | 325        |
| <b>IV La dynamique des débris ligneux grossiers</b>   | <b>327</b> |
| <b>1 Approche bibliographique et méthodologique</b>   | <b>327</b> |
| 1.1. Les acquis bibliographiques  | 327        |
| 1.1.1 Les débris ligneux grossiers : une structure biologique de l'hydrosystème forestier                                 | 327        |
| 1.1.2 Volumes potentiels et mobilité des débris ligneux grossiers   | 330        |
| 1.2 Méthodologie d'échantillonnage  | 331        |
| 1.2.1 Les indicateurs qualitatifs   | 332        |
| 1.2.2 Les indicateurs quantitatifs  | 333        |

|   |            |
|---|------------|
| <b>2 Débris ligneux grossiers et style géomorphologique</b>   | <b>334</b> |
| 2.1 Les rivières à tresses  | 335        |
| 2.2 Les rivières à méandres   | 338        |
| 2.2.1 La nature des débris : le cas de Mollon   | 338        |
| 2.2.2 L'embâcle de bois dans les rivières à méandres  | 339        |
| <b>3. Distribution des débris ligneux grossiers sur la berge de concavité de trois méandres de l'Ain</b>      | <b>345</b> |
| 3.1 Les méthodes d'échantillonnage et d'analyse   | 346        |
| 3.2 Les résultats   | 347        |
| 3.2.1. Analyse descriptive de la distribution des masses  | 347        |
| 3.2.2. L'analyse explicative  | 350        |
| 3.2.2.1 La variabilité de la masse des débris dans les concavités   | 350        |
| 3.2.2.2 La variabilité du pourcentage de bois mort en berge   | 355        |
| 3.2.2.3 La variabilité de la masse des débris d'une concavité à l'autre                                       | 355        |
| <b>4. La ligne de débris sur la marge de concavité d'un méandre à dynamique latérale active (Mollon, Ain)</b> | <b>357</b> |
| <b>V Synthèse de la seconde partie</b>  | <b>361</b> |
| <b>1 La ripisylve, une zone tampon</b>  | <b>361</b> |
| <b>2. La ripisylve, une mosaïque d'unités hydrodynamiques</b>   | <b>362</b> |
| <b>3. Une géographie multiscalaire de la régénération</b>   | <b>363</b> |
| <b>IIIème Partie:</b>   |            |
| <b><u>PERSPECTIVES DE GESTION ÉCOLOGIQUE DE LA RIPISYLVE</u></b>  |            |
| <b>I Préserver la ripisylve, une nécessité patrimoniale, un intérêt écologique et socio-économique</b>        | <b>367</b> |
| <b>1. Les atteintes portées à la zone-tampon</b>  | <b>371</b> |
| <b>2. L'intérêt de conserver une ripisylve</b>  | <b>373</b> |
| 2.1. Richesse biologique de la forêt et valeur patrimoniale et réserve génétique                              | 376        |
| 2.2 Le rôle zooécologique de la végétation riveraine  | 376        |
| 2.2.1. Les potentialités piscicoles   | 377        |
| 2.2.1.1 Les habitats  | 377        |
| 2.2.1.2 Facteurs physiques et chaîne trophique  | 378        |
| 2.2.2 L'avifaune  | 380        |
| 2.3 Le rôle socio-économique de la forêt riveraine  | 381        |
| 2.3.1 Les potentialités sylviculturales   | 381        |
| 2.3.2. La stabilisation du lit  | 382        |

|  |            |
|--|------------|
| 2.3.3 La protection contre les crues   | 382        |
| 2.3.4 L'autoépuration des écoulements phréatiques  | 384        |
| 2.3.5 Paysage, tourisme et cynégétique   | 387        |
| <b>II Vers une gestion écologique de l'hydrosystème</b>                                    | <b>389</b> |
| <u>1. La politique française en matière de rivières</u>                                    | 389        |
| 1.1. L'évolution juridique   | 389        |
| 1.2 Bilan de cinquante ans d'intervention sur les rivières                                 | 390        |
| 1.3. L'évolution des gestionnaires : de l'aménagement à la gestion globale                 | 393        |
| <u>2. La question du binôme restauration/entretien</u>                                     | 395        |
| 2.1 Les définitions en usage   | 395        |
| 2.2. Entretien et restauration, les éléments de la contradiction                           | 396        |
| 2.2.1 La perspective historique : L'artificialisation séculaire des cours d'eau            | 397        |
| 2.2.2 Débris ligneux grossiers et potentialités écologiques                                | 397        |
| <u>3 La question de la réhabilitation des ripisylves</u>                                   | 401        |
| 3.1 Les types de réhabilitation  | 401        |
| 3.2 L'expérience allemande   | 403        |
| 3.2.1 Les réalisations   | 404        |
| 3.1.2 Analyse critique   | 407        |
| 3.3 Quelle réhabilitation envisager?   | 408        |
| <b>III La gestion de la ripisylve, quelles démarches opérationnelles?</b>                  | <b>411</b> |
| <u>1. Diagnostiquer le fonctionnement et la diversité de la mosaïque fluviale</u>          | 411        |
| 1.1 Application des acquis méthodologiques issus de la thèse                               | 411        |
| 1.1.1 Etude historique des usages et des aménagements                                      | 412        |
| 1.1.2 Etude historique du fonctionnement de la mosaïque                                    | 413        |
| 1.1.3 Synthèse des résultats et présentations de scénari                                   | 414        |
| 1.2 La diversité de la mosaïque, un indicateur du fonctionnement                           | 415        |
| 1.2.1 La diversité de la mosaïque d'après l'indice de Shannon                              | 415        |
| 1.2.2 Typologie sectorielle basée sur la diversité des marges ripicoles                    | 419        |
| <u>2. L'enquête d'opinion, un outil essentiel de gestion</u>                               | 422        |
| 2.1 Le propriétaire et sa possession   | 422        |
| 2.1.1 La sociologie du propriétaire de la forêt  | 422        |
| 2.1.2 La perception de sa parcelle   | 424        |
| 2.1.3 L'opinion des propriétaires concernant l'érosion et la définition de zones érodables | 424        |
| 2.1.4 L'absence de réelles stratégies foncières  | 427        |
| 2.2 La perception du système rivière   | 429        |
| 2.2.1 La rivière, une inconnue.  | 429        |
| 2.2.2 La rivière, un ennemi ancestral  | 429        |

|  |            |
|--|------------|
| 2.2.3 La rivière, un partenaire  | 429        |
| 2.3 Quels éléments dégager pour la gestion des systèmes fluviaux ?                               | 430        |
| 2.3.1 La nécessité de diffuser l'information   | 430        |
| 2.3.2 Un régionalisme puissant à considérer  | 430        |
| 2.3.3 Une possible définition consensuelle de zones érodables                                    | 431        |
| <u>3. L'entretien : préconiser une gestion sectorisée</u>  | 432        |
| 3.1 Les fondements de la proposition   | 433        |
| 3.2 Exemple de son application   | 434        |
| 3.3 Non entretien contrôlé et législation française  | 434        |
| <u>4. La gestion de l'érosion au contact forêt - rivière</u>                                     | 436        |
| 4.1 Les principes  | 436        |
| 4.2. Définir un zonage érodabilité   | 437        |
| 4.2.1 Méthodologie issue de l'étude Ain  | 437        |
| 4.2.2 La démarche conduite sur le Giffre   | 439        |
| 4.3 La gestion de l'érosion : expériences actuelles, législation et financement potentiel        | 441        |
| 4.3.1 Les expériences actuelles en matière de rachat de terrains riverains.                      | 441        |
| 4.3.2 Le rachat : les outils juridique et financier  | 444        |
| 4.3.3 L'approche forestière  | 447        |
| <b>IV Quelle logique d'intervention et quelle gestion préconiser pour les forêts alluviales?</b> | <b>449</b> |
| <u>1. Les logiques d'intervention préconisées dans le cadre de l'Agence de l'Eau</u>             | 449        |
| <u>2. Synthèse des actions proposées sur les 5 rivières d'études</u>                             | 451        |
| 2.1 L'entretien  | 452        |
| 2.2 La gestion de la connectivité  | 452        |
| 2.3 Réhabiliter et préserver le corridor forestier   | 454        |
| <b>Conclusion Générale</b>   | <b>457</b> |
| Bibliographie  | 461        |
| Liste des figures  | 485        |
| Liste des tableaux   | 495        |
| Liste des photographies  | 499        |
| Annexes  | 503        |

## Résumé

Ce travail aborde la dynamique et la gestion de la forêt alluviale de cinq cours d'eau à charge grossière du bassin du Rhône au cours de la période contemporaine. Cette forêt, qui peut être définie comme un ensemble de formations arborées riveraines de cours d'eau alluviaux, constitue un patrimoine naturel exceptionnel et de plus en plus rare en Europe. La question se pose ainsi de savoir quelle gestion plus réfléchie de ses ressources préconiser et quelle doit être sa place dans une gestion spatiale et non plus linéaire des hydrosystèmes fluviaux, notamment dans le cadre des SAGE (Schémas d'aménagement et de gestion des eaux).

Il s'agit d'un thème éminemment géographique puisque cet espace qui se situe à l'interface entre l'Homme et la Nature, est l'objet de l'étude. Cette démarche est à la fois spatiale et temporelle et aborde plusieurs niveaux scalaires tels que le bassin versant, le tronçon, le secteur fonctionnel, voire l'unité phytoécologique.

L'analyse a plus précisément porté sur les tronçons alluviaux de cinq cours d'eau du bassin du Rhône : l'Ain, l'Ardèche, le Giffre, l'Ouvèze et l'Ubaye. Ceux-ci drainent des régions de piémont ou des plaines intramontagnardes, disposent d'une charge de fond abondante, d'une forte énergie hydraulique et sont sujets à de violentes crues qui expliquent qu'ils présentent tous un style tressé potentiel, une capacité d'autoajustement et une dynamique latérale active. Aussi, leurs marges boisées sont très développées et constituent un espace-tampon entre l'espace cultivé et le lit mouillé et mobile de la rivière. Ces cours d'eau présentent des caractères géographiques et hydrologiques très différents et constituent ainsi un bon échantillon des cours d'eau alluviaux de rang intermédiaire du Sud-Est de la France.

**La première partie est consacrée à une analyse historique de l'hydrosystème et notamment du compartiment forestier.** L'objectif est de reconnaître et d'expliquer l'évolution du couvert végétal des marges de ces rivières.

Deux types d'évolution ont pu être identifiés au cours de la période contemporaine. Le premier s'inscrit sur plusieurs décennies et correspond à l'apparition d'une forêt riveraine auparavant absente de cet espace. Celle-ci est ainsi apparue au cours du XIX<sup>e</sup> siècle sur le Giffre, au début du XX<sup>e</sup> siècle sur l'Ubaye et après la Seconde Guerre Mondiale sur les trois autres rivières localisées en piémont. Le second type d'évolution s'inscrit à plus court terme (une à deux décennies) et correspond à une fluctuation de la superficie forestière, à une mobilité spatiale du contact entre la forêt et la bande active.

L'explosion des formations arborées correspond essentiellement à des causes d'origine anthropique. Sur le Giffre, la forêt fut favorisée par l'homme afin de constituer une barrière entre la rivière et les terres labourées afin de protéger celles-ci de l'érosion et de l'inondation. Cette stratégie sarde fut développée au moment du Petit Age Glaciaire, à une époque où la fréquence des inondations était plus forte qu'aujourd'hui. Sur l'Ubaye, la forêt s'est installée en lit mineur, celui-ci occupant alors presque tout le fond de vallée, à la suite d'une modification par l'homme des flux liquides et solides à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle. Ce dernier a en effet reboisé à cette époque 30% du bassin versant. La correspondance chronologique entre son intervention sur les versants (1880-1900) et l'explosion arborée riveraine de l'Ubaye (v1920) est si étroite que l'adoucissement climatique faisant suite au Petit Age Glaciaire (v1850), est considérée comme une cause secondaire. Sur les trois autres rivières, l'explosion des formations arborées qui a été observée entre 1945 et 1970, s'explique par l'abandon du lit majeur par l'homme. Cet espace était autrefois considéré comme un terroir complémentaire, paturé, quelquefois labouré et comme une réserve en bois de chauffe. Si ce mouvement a atteint son paroxysme après la guerre, il



s'est pourtant lentement préparé auparavant, le labour étant progressivement remplacé entre 1850 et 1945 par une formation prairiale évoluant vers une lande. Cette déprise rurale correspond à une double révolution, celle de l'agriculture d'une part, soumise à une modernisation, une spécialisation et une reconcentration sur les meilleures terres, celle de l'énergie d'autre part, le fuel bon marché se substituant rapidement au bois de chauffe.

La progression ou la régression de la forêt aux dépens de la bande active sont des phénomènes qui ont également été observés au cours de l'époque contemporaine. Si ces mécanismes d'ajustement des structures biologiques aux flux sont naturels, leurs causes sont le plus souvent d'origine anthropique. Quelle que soit la rivière étudiée, il est démontré que l'explosion des formations arborées en lit majeur s'accompagne toujours de leur progression en lit mineur. Les rivières drainant un corridor forestier présentent en effet un lit plus étroit que les autres car les formations ligneuses exercent un contrôle structural plus important ainsi qu'un effet filtre à l'origine d'une dissipation latérale plus efficace de l'énergie hydraulique.

Il est démontré par ailleurs que la réduction de la bande active au profit de la forêt riveraine peut correspondre également à une réduction des flux liquides et solides faisant suite au Petit Age Glaciaire ou à une modification de l'occupation du bassin versant, à une atténuation décennale des pics de crue ou encore à une modification de la géométrie du lit mineur provoquée par son incision, l'abandon d'un site d'extraction en lit vif ou encore un endiguement. Inversement, l'augmentation de la bande active aux dépens de la forêt riveraine peut résulter d'un exhaussement naturel ou artificiel (seuils) du lit mineur, d'une implantation extractive en lit vif ou encore d'un accroissement décennal des pics de crue.

**Dans la seconde partie, le fonctionnement actuel des structures du compartiment forestier a été étudié.** L'objectif est de montrer l'influence des végétaux sur les processus hydrauliques, morphologiques et sédimentaires du lit majeur.

La réaction des marges arborées à la crue exceptionnelle du 22 septembre 1992 a d'abord été analysée sur l'Ouvèze et l'Ardèche. Les résultats montrent que la crue a fortement modifié la superficie du corridor végétal, que la ripisylve a par ailleurs amorti latéralement la crue et filtré les flux liquides, solides et organiques, que la régénération n'est pas seulement latérale mais varie aussi longitudinalement et d'une rive à l'autre, et que la dissipation de l'énergie sur les marges boisées repose sur un complexe de processus-relais.

Les processus hydromorphologiques en lits majeurs ont ensuite été observés sur des transects puis au sein d'un pédoncule de méandres, celui de Mollon sur l'Ain. 14 sites ont été sélectionnés en raison de leur intérêt biogéographique et de leur morphodynamique active. Les indicateurs dynamiques choisis étaient d'ordre topographique, sédimentologique, hydraulique, pédologique, phytoécologique, voire historique.

Les résultats montrent que la forêt peut être définie comme un espace d'écoulements multidirectionnels. Elle présente en effet des axes préférentiels, latéraux ou longitudinaux, et des zones de moindre hydraulicité. La forêt est également une mosaïque sédimentaire puisque la taille des sédiments varie considérablement, en fonction de la position altitudinale et spatiale de la station. Il n'existe pas de réelle rupture granulométrique entre la bande active et les marges boisées, des sédiments roulés, parfois des nappes de galets, pouvant progresser en lit majeur. La forêt agit également sur l'épaisseur des dépôts, ceux-ci s'accumulant plus rapidement dans les stades post-pionniers que dans la forêt mature.

Un indice biomorphologique de régénération a en outre été construit à partir de 7 variables et discuté puis il a été confronté à des groupes écologiques sur 86 stations de l'Ain. Une relation existe ainsi entre cet indicateur synthétique et certaines espèces, les nitratophiles herbacés ou ligneux étant d'autant plus importants que le site est soumis à un rajeunissement. S'il est bien démontré que ce processus contribue à multiplier les groupes

écologiques, il semble néanmoins, qu'il n'est que rarement à l'origine d'une diversité des espèces au sein de chacun d'eux, celle-ci étant d'abord conditionnée par le vieillissement de l'unité.

Dans le pédoncule de Mollon, les indicateurs micromorphologiques, granulométriques et pédologiques permettent également de montrer qu'il existe plusieurs gradients de régénération d'intensité inégale. Le premier s'exprime latéralement du chenal principal ou secondaire vers ses marges végétales. Le second gradient distingue les chenaux les uns par rapport aux autres. Le troisième est longitudinal et s'exprime de l'amont vers l'aval au sein de chacun d'eux. Une parcelle d'analyse de près de 4000 m<sup>2</sup> permet d'étudier ce dernier gradient dans la partie amont d'un chenal de débordement. Une succession amont-aval de processus morphosédimentaires d'érosion et d'accumulation est ainsi mise en évidence et permet une dissipation de l'énergie hydraulique.

La dynamique des débris ligneux grossiers a été enfin abordée dans un troisième chapitre. Ce phénomène considéré comme une influence indirecte de la forêt sur la morphologie et l'hydraulique de la rivière, joue un rôle majeur dans les concavités des cours d'eau à méandres. Inversement, il apparaît que les rivières à tresses disposent de faibles quantités de débris ligneux grossiers qui se déposent préférentiellement dans la bande active. Ce n'est que lors de crues exceptionnelles, comme celle survenue en 1992 sur l'Ouvèze, que les débris se déposent comme sur les rivières à méandres sur la ligne de contact bande active - forêt riveraine où ils forment une ligne de débris.

Dans les concavités, le bois mort forme une ligne dont la continuité et la masse varient en fonction de la hauteur de la berge, le type de végétation et l'angle d'impact des flux. Les masses comptabilisées varient d'une concavité à l'autre en fonction de la géométrie du méandre et des sources disponibles à l'amont immédiat de la concavité. Sur la parcelle de Mollon, les masses restent constantes d'une année à l'autre ce qui indique en outre que l'exportation du bois se fait principalement par le chenal principal et que le temps de rétention en un lieu donné est court.

**La troisième partie aborde le problème de la gestion de ces espaces récemment colonisés par les formations arborées et soumis à de multiples impacts.**

Un premier chapitre montre que la préservation de la forêt alluviale est une nécessité. Le problème important concerne le grignotage progressif de cet espace par de nouvelles activités et sa déconnexion avec la bande active qui est à l'origine d'une terrestrialisation des processus. Or, la forêt alluviale présente :

- une richesse biologique exceptionnelle à la fois floristique et faunistique, ornithologique et ichtyologique notamment, liée à des conditions particulières d'habitat,
- un rôle socio-économique majeur dans la mesure où elle constitue une ressource pour la filière bois et peut également intervenir en atténuant les risques d'érosion ou d'inondation des espaces latéraux aménagés, les pollutions phréatiques diffuses d'origine agricole,
- un rôle paysager, récréatif, patrimonial et génétique.

Prendre en compte sa préservation et exploiter ses potentialités nécessitent de préconiser une gestion écologique de l'hydrosystème. Un second chapitre met donc en lumière l'évolution de la politique française en matière de gestion de rivière, se focalisant notamment sur la prise en compte du milieu dans la législation, la prise de conscience de l'échec relatif de la politique de protection des berges préconisée depuis les années 1950 sur les petites et moyennes rivières de piémont. Cette évolution passe notamment par le développement de la notion d'Etude globale que les gestionnaires souhaitent promouvoir avant d'intervenir d'une quelconque manière sur les rivières.

La question de l'entretien et de la réhabilitation de ces espaces est également discutée. Après avoir défini les termes, nous montrons que l'entretien est parfois nécessaire mais qu'il ne contribue que très rarement à accroître les potentialités biologiques de la rivière. Aussi, préconiser de laisser des embâcles dans certaines rivières peut parfois être une solution judicieuse. La réhabilitation de ces espaces riverains peut également être envisagée mais cette démarche doit néanmoins être très différente selon la nature de l'occupation anthropique des rives. A partir d'exemples étrangers, notamment allemands, plusieurs cas sont exposés et discutés.

Nous nous sommes enfin efforcés au cours de deux derniers chapitres plus opérationnels, de mettre en lumière quelques axes de gestion que les SAGE pourront éventuellement préconiser lors de la phase "Etat des lieux".

Une méthode de diagnostic du fonctionnement et de la diversité de la mosaïque fluviale a été proposée et nous avons montré l'importance de l'enquête d'opinion comme outil de gestion écologique. Des démarches opérationnelles ont également été proposées en matière d'entretien et de gestion de l'érosion de berges, les aspects géomorphologiques, juridiques ou fonciers relatifs à la notion de zones potentiellement érodables étant tout particulièrement développés.

Après avoir exposé les logiques d'intervention préconisées dans le cadre de l'Agence de l'Eau RMC, une synthèse des actions concernant l'entretien de la végétation, la gestion de la connectivité bande active - lit majeur ainsi que la réhabilitation et la préservation du corridor forestier a été proposée sur les cinq rivières étudiées.

## **INTRODUCTION**

### **I. Cadre conceptuel et problématique:**

### **II Présentation des cours d'eau et des tronçons sélectionnés**

### **III Les techniques d'approche**

"Les paysages biogéographiques sont un compromis entre l'oeuvre de la nature et l'action millénaire de l'Homme" (Lemée, 1967). "La forêt est un élément si apparent ..., elle est en relations si étroites avec la dynamique des écosystèmes et avec la vie des hommes, qu'elle ne saurait laisser le géographe indifférent" (Dresch, 1984).

La forêt en Europe est en effet la résultante d'une longue histoire bioclimatique et humaine. Sa genèse, ses dynamiques actuelles, voire sa gestion, doivent tenir compte de l'histoire humaine et des potentialités du milieu. Climax des milieux tempérés et espace d'interface entre l'homme et la nature, la forêt constitue l'un des milieux "naturels" les plus caractéristiques du continent.

L'ensemble de ces éléments explique l'intérêt des biogéographes pour ces espaces et leur évolution. La biogéographie aujourd'hui, étudie les organismes vivants dans leur répartition géographique mais observe également les liens entre les biocénoses et les autres éléments du milieu naturel que sont notamment le relief, l'eau ou les sociétés humaines (Lemée, 1967). Les biogéographes français ont ainsi développé des approches conceptuelles reposant notamment sur la notion de système (Beroutchachvili et Bertrand, 1978). Le Géosystème ou Système territorial naturel constitue ainsi l'une des clés de la réflexion géographique contemporaine. Défini comme une portion d'espace caractérisée par un paysage, un fonctionnement, une dynamique, le sylvosystème relève de ce concept mais l'applique à un milieu spécifique, une forêt (Houzard, 1988). Les travaux des géographes portant sur la forêt ont également abordé la notion de paysage (Bertrand, 1968 et 1978; Wieber, 1988), l'histoire (Dubois, 1988) et les liens de cet espace avec les activités humaines (Amat et Hotyat, 1988).

L'étude de la forêt alluviale esquissée ici repose sur les concepts de la géographie actuelle, associant des problématiques naturalistes et développant les liens interactifs entre l'homme et le milieu. Dans un milieu d'interface entre l'homme et la nature, entre les milieux aquatiques et les milieux terrestres, ces liens sont perçus en terme d'impact mais également en terme de gestion et d'usages. L'homme sera considéré comme un acteur à toutes les échelles de temps et d'espace mais nous montrerons également que les phénomènes naturels régis par l'eau ont également une importance particulière dans ce milieu car leur action est perceptible à court et moyen terme, à l'échelle d'une vie, à l'échelle de la gestion.

Notre démarche, débutée en 1991, souhaite ainsi apporter des éléments nouveaux concernant **la dynamique et la gestion de la forêt alluviale.**

L'introduction montrera que ce sujet est abordé dans un cadre conceptuel précis, dans de strictes limites spatiales et temporelles et à l'aide d'un ensemble de techniques appropriées. L'évolution du compartiment forestier de **cinq cours d'eau à charge grossière du bassin du Rhône (l'Ain, l'Ardèche, le Giffre, l'Ouvèze et l'Ubaye)** sera étudiée au cours des **XIXème et XXème Siècles.**

## I. Cadre conceptuel et problématique:

L'objet de ce premier point est destiné :

- à présenter le sujet en précisant ses termes et les axes de recherche dans lesquels il s'insère,
- à définir l'espace d'étude dans ses dimensions fonctionnelles et géographiques, naturelles et anthropiques.

### 1. Espace fonctionnel et espace géographique

#### 1.1 Du "river continuum" à l'hydrosystème

Le concept de "river continuum" (Vannote *et al.*, 1980) définit le cours d'eau comme un continuum de gradients physiques à ajustement biotique. Le cours d'eau est un système longitudinal dans lequel la zone aval est liée aux processus amont en fonction d'un écoulement unidirectionnel de l'eau et des matériaux. Sur une section donnée de rivière, les communautés biologiques établies sont en équilibre avec les conditions physiques du chenal.

Une série de réponses des populations confirme l'existence d'un continuum d'ajustement biotique. Les caractères structuraux et fonctionnels des communautés fluviatiles sont adaptés de façon à se conformer à la position moyenne la plus probable du système physique. Ils s'adaptent aux changements des variables hydrologiques, géomorphologiques et biotiques telles que l'écoulement, la morphologie du chenal, le volume des particules de matières organiques... Les communautés sont alors caractéristiques d'un segment donné de la rivière en harmonie avec les conditions physiques du chenal. Il y a donc une substitution des espèces, les unes par rapport aux autres, de l'amont vers l'aval, au gré de segments successifs, une répartition dans le temps des apports énergétiques et une utilisation efficace de ces apports. Les communautés aval sont en effet organisées de façon à tirer profit de l'inefficacité des transformations des communautés amont.

En géomorphologie, les auteurs (Derruau, 1974) distinguent classiquement trois stades de successions temporelles et spatiales : un stade de jeunesse (cours d'eau de montagne), un stade de maturité où naissent la plaine d'inondation et les dépôts latéraux (cours d'eau de piémont) et un stade de vieillesse (cours d'eau de plaine). De la tête d'un bassin versant à l'embouchure, il existe ainsi un gradient physique continu (vitesses, débits...) dans lequel les cours d'eau successifs présentent des spécificités morphodynamiques caractérisées par l'érosion, le transport ou l'accumulation.

Aujourd'hui, le cours d'eau est perçu comme un système ouvert à l'intérieur duquel des matériaux et de l'énergie peuvent entrer et sortir. Ce système est dynamique et un équilibre approximatif s'établit entre le taux de charge imposé et le taux de travail réalisé. L'ajustement permanent de la géométrie du cours d'eau aux variations à long terme des débits, vitesse, charge, rugosité et résistance des berges fait du cours d'eau, un système à processus-réponse (Schumm, 1977). L'eau dans sa dynamique spatio-temporelle régit le fonctionnement de ce système et son évolution (Amoros *et al.*, 1982).

A la dimension longitudinale classique, amont - aval, (Cummins, 1983) s'ajoute une dimension latérale liant le cours d'eau et ses annexes aquatiques et terrestres. La notion de continuum géomorphologique et écologique s'ouvre sur le concept d'hydrosystème.

Le système, défini comme un complexe d'éléments fonctionnels interdépendants, est un concept fondamental en biogéographie. L'écosystème, objet du biologiste, qui s'intéresse à la relation des biocénoses

Le système, défini comme un complexe d'éléments fonctionnels interdépendants, est un concept fondamental en biogéographie. L'écosystème, objet du biologiste, qui s'intéresse à la relation des biocénoses avec leur biotope est l'un des systèmes les plus connus et les mieux étudiés. Le géosystème, objet de la géographie physique, est un concept naturaliste dont la finalité est de comprendre la structure et le fonctionnement du système géographique naturel. La place de l'homme comme acteur et organisateur de l'espace y est prépondérante. Le concept de géosystème intègre comme l'écosystème, les interrelations entre le milieu et le vivant mais aussi les autres relations qui existent notamment entre les composantes abiotiques. Il est ainsi plus large et moins biocentrique. Ce concept, qui exprime le besoin des géographes d'appréhender l'espace, recouvre également le besoin de certains écologues qui ont développé la notion d'écocomplexe, un système d'écosystèmes, très proche du géosystème (Rougerie, 1988).

Le concept d'hydrosystème relève de cette démarche et peut être défini comme un écocomplexe qui comprend l'ensemble des écosystèmes interactifs liés directement ou indirectement à la rivière par l'eau (Amoros *et al.*, 1988). Il se fonde sur les échanges bidirectionnels entre le cours d'eau et ses milieux annexes, les plaines alluviales accueillant les hydrosystèmes les plus complexes.

L'hydrosystème ne représente qu'une partie du système fluvial défini comme l'ensemble du réseau hydrographique et du bassin versant. Il peut se subdiviser en sous-systèmes qui "s'individualisent par des relations privilégiées entre les facteurs géomorphologiques, hydrologiques, sédimentologiques, pédologiques et les peuplements végétaux et animaux" et qui sont contrôlés par des processus se réalisant à différents pas de temps (Amoros *et al.*, 1982). En fonction des discontinuités longitudinales du corridor fluvial, cette approche typologique distingue des secteurs fonctionnels caractérisés par un style fluvial particulier (tressage, méandrage...), des ensembles fonctionnels (chenal principal, ancien chenal, lit majeur) ou des unités fonctionnelles (mouille, levée sableuse, groupement phyto-écologique...) (fig. 1). Elle repose non seulement sur une zonation longitudinale mais encore sur une zonation transversale et verticale et intègre la dimension temporelle. Cette approche naturaliste reconnaît une place à l'homme mais celle-ci peut paraître parfois secondaire. Aussi, afin de mettre clairement en lumière son rôle majeur, historique et géographique, endogène ou exogène aux tronçons d'étude, la notion d'"hydrosystèmes anthropisés" est préférée.

Compte tenu de l'analyse spatiale qui sera conduite, il est nécessaire de préciser les termes qui seront utilisés pour nommer les différentes unités morphologiques et notamment les compartiments aquatique et terrestre de l'hydrosystème. En effet, le milieu naturel et sa dynamique de régénération sont complexes ce qui explique la diversité du vocabulaire employé pour distinguer les lits fluviaux (Peiry et Pupier, 1994).

Dans les cours d'eau de faible énergie, le compartiment régi par l'eau correspond au lit mineur et se définit comme l'espace occupé en permanence par les eaux et délimité par des berges abruptes. Dans les cours d'eau à forte énergie, intra-montagnard, de piémont ou méditerranéen, la charge de fond, abondante et rarement inondée, et l'absence de berges abruptes continues ne permettent pas d'employer le terme de lit mineur pour définir le compartiment dominé par les eaux courantes. Ce dernier s'apparente alors à la bande active fluviale composée d'un lit mouillé permanent et de bancs de galets non végétalisés et périodiquement inondés. Les bancs de galets émergés sont en effet intégrés à ce compartiment car ils sont en équilibre étroit avec les écoulements et ne sont pas végétalisés ce qui prouve leur extrême mobilité.

Les termes de plaine moderne, lit majeur ou lit d'inondation seront utilisés pour définir l'espace "terrestre" de l'hydrosystème. La plaine moderne se définit comme un niveau topographique intermédiaire entre la bande active et les plus basses terrasses. Elle est en relation étroite avec la rivière et est inondée par les crues fréquentes (Q<sub>1.5</sub> à Q<sub>5</sub>) qui permettent le dépôt de sables et de limons en surface. Le lit d'inondation ou lit majeur est le lit inondé lors du débordement de la rivière. Son extension dépend de la fréquence de la crue. Il peut s'apparenter à la plaine moderne pour les crues habituelles, voire la dépasser largement pour les crues exceptionnelles et toucher alors des terrasses historiques.

Le concept d'hydrosystème confère à l'étude de la rivière une logique spatiale et permet d'organiser la réflexion à l'échelle non plus d'un linéaire mais d'un espace multidimensionnel caractérisé par des structures et des dynamiques géographiques qui mettent en évidence les concepts de mailles, de réseaux, de distance, de contact, de trophisme ou de diffusion. Les notions de mosaïque et d'écotone deviennent ainsi les fondements de la démarche hydrosystémique.

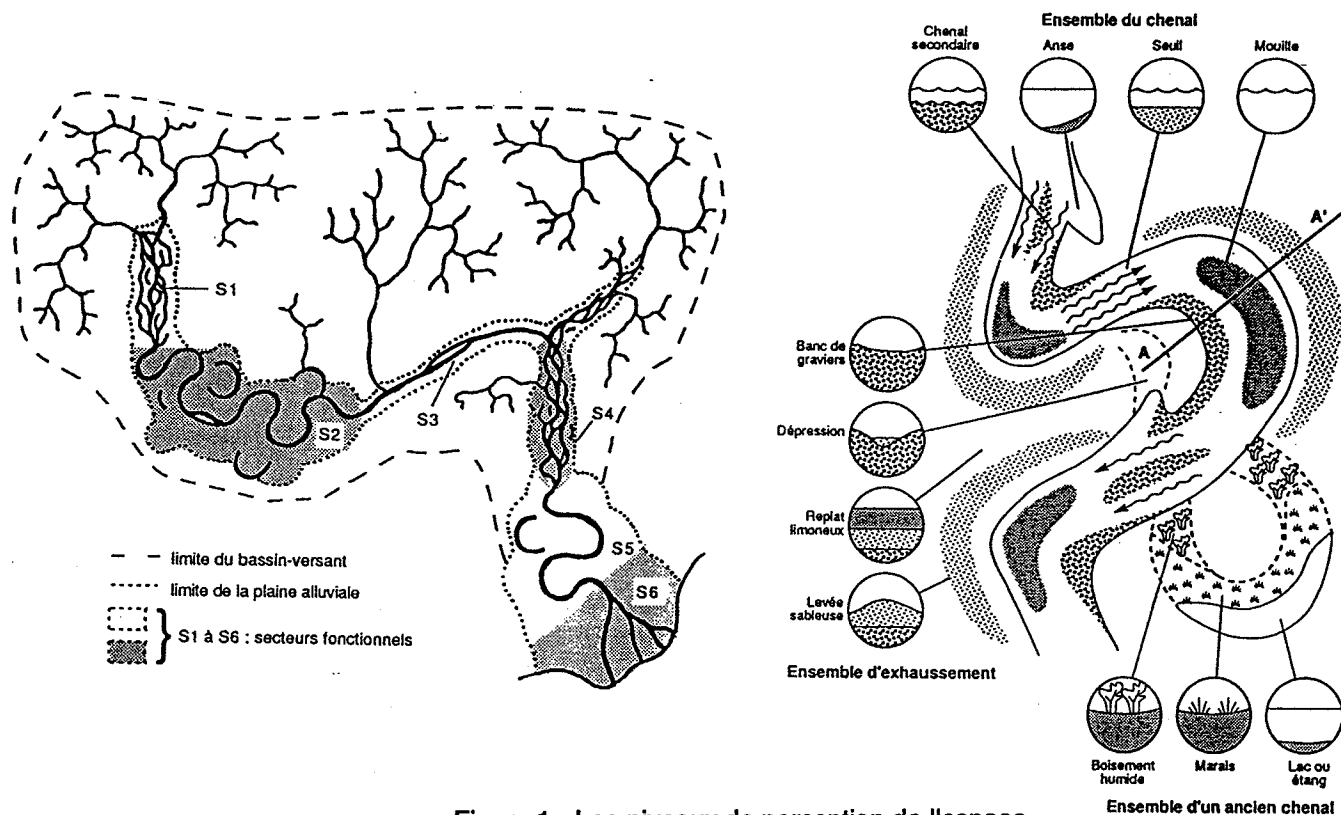


Figure 1 - Les niveaux de perception de l'espace (d'après Amoros et Petts, 1993)

## 1.2 Mosaïque fluviale et écotone

Les auteurs anglo-saxons ont également développé des concepts voisins. C.M. Pringle *et al.* (1988) appliquent les concepts écologiques et la dynamique des "patches" au système lotique. La notion de "patch" (pièce ou parcelle) est très proche sinon synonyme de la notion d'unité fonctionnelle développée en France.

Ainsi, le paysage fluvial est vu comme une mosaïque hétérogène de géoformes, de groupements végétaux et d'unités anthropisées. Dans les cours d'eau, la distribution des organismes est influencée par les mouvements de l'eau dont l'écoulement unidirectionnel (vecteur abiotique) crée une hétérogénéité spatiale et temporelle. Le cours d'eau est alors perçu comme une mosaïque de "patches" dont chacun a une composition particulière (Petts, 1990) : taille, continuité spatiale, forme, dynamique... La taille d'un "patch" et ses limites varient selon les différents organismes hydrologiques et selon les tronçons au sein de chacun d'eux. Observé à une échelle appropriée, l'écosystème des eaux courantes devient une mosaïque biologique et physique complexe contenant des "patches" interdigitées de différents types. Leur dynamique est évaluée à partir de

l'importance des flux d'énergie, de sédiments, de nutriments et des populations biologiques. Ces flux sont influencés par les caractères de la frontière dynamique "inter-patch" : l'écotone.

Selon le groupe de travail SCOPE/MAB (Holland, 1988), un écotone est une zone de transition entre des systèmes écologiques adjacents dont les caractéristiques se définissent uniquement par des échelles spatiales et temporelles et par la solidité des interactions qu'ils tissent entre eux. Généralement un écotone est perçu comme une membrane semi-perméable régulant les écoulements d'énergie et de matière entre deux "patches" adjacents. Les écotones sont hautement sensibles aux perturbations autant dans leur répartition géographique que dans leurs fonctions. Ils ont une faible résistance, une faible capacité de stockage et des réactions rapides. En revanche, les "patches" ont une position plus stable, peuvent s'adapter et sont ainsi moins sensibles aux perturbations.

L'écotone est également caractérisé par des fonctions multiples et des ressources abondantes. Sa situation d'interface lui confère des caractéristiques écologiques particulières qui lui permettent d'atteindre une haute diversité biologique et d'accueillir ainsi les espèces végétales ou animales des différents "patches" latéraux. L'élasticité, la perméabilité, la biodiversité et la connexion sont les quatre paramètres écotonaux les plus souvent cités par les auteurs (Naiman, Décamps *et al.*, 1990). L'écotone est important dans la régulation des interactions du système fluvial, celles-ci prenant place dans une géométrie tridimensionnelle de l'espace. Un écotone peut être horizontal (écotones "intrafluviaux", écotones terre-eau), vertical (écotones eau de surface - eau souterraine) ou temporel. L'écotone terre-eau n'est pas seulement une frontière, c'est aussi une aire d'interactions instable dans le temps et dans l'espace en fonction de processus naturels mais plus encore de processus anthropiques. L'écotone contrôle la dynamique du système fluvial et régule, voire modifie, les interactions entre les "patches" adjacents, c'est-à-dire le mouvement de l'énergie, des matériaux et des organismes d'une unité spatiale à l'autre. Comme les écotones séparent dans l'espace des "patches" homogènes, les événements catastrophiques, plus ou moins brutaux, fréquents, séparent des périodes de temps plus stables. Ainsi, le concept d'écotone temporel ("in time") semble particulièrement adapté à la description de la dynamique chaotique des paysages. La forêt s'ajuste aux crues et est alors dépendante d'elles. De plus, les crues influencent l'organisation spatiale des "patches" dans l'espace écotonal.

L'approche spatiale et multiscalaire qui sera menée, repose ainsi sur une identification de groupes homogènes séparés par des milieux d'interface aux caractéristiques structurales et dynamiques originales, les écotones. A l'échelle d'une plaine alluviale, la forêt alluviale peut ainsi constituer un écotone majeur entre la bande active et l'espace cultivé.

## 1.3 L'homme, un acteur de l'hydrosystème

L'Homme influence les écosystèmes fluviaux mais ses actions sont très différentes selon l'échelle spatio-temporelle considérée. Il convient ainsi de distinguer son influence :

- séculaire, dans les cours d'eau d'ordre supérieur aux Etats-Unis et en Europe par exemple,
- récente et localisée comme c'est le cas dans les petits cours d'eau de montagne.

### - Les perturbations séculaires dans les grands cours d'eau

Traditionnellement, les centres de population se développent près des ressources d'eau. Les marais sont drainés, la forêt alluviale cède sa place à l'agriculture, est exploitée ou brûlée afin de lutter contre la malaria. La rivière est canalisée, aménagée (digues, barrages) pour contrôler les crues et devient navigable. Ces

aménagements réduisent de manière drastique les écotones terre-eau et altèrent très nettement leurs caractères écologiques naturels.

L'histoire montre que depuis plus d'un siècle dans les pays neufs mais depuis plusieurs millénaires en Europe, d'intenses transformations ont lieu. Explorateurs et trappeurs ont décrit les caractères généraux de ces rivières et cours d'eau originels du nord-ouest des Etats-Unis. Dans les états d'Orégon et de Washington, voyager sur le bord des collines et non le long des rivières était une pratique commune. Les systèmes fluviaux jusqu'au rang sept concentraient de nombreux troncs dans leurs chenaux dont les eaux se cachaient souvent sous des amas de branches. La complexité de l'habitat était grande et les flux divergeaient autour de blocs ou d'arbres morts. De nombreux marécages et chenaux secondaires maintenaient une active inter-relation entre le cours principal et la plaine d'inondation. Les débris ligneux grossiers pouvaient recouvrir 50% du chenal et le cours d'eau était continuellement caché par la végétation.

Les cours d'eau des états du nord-ouest des Etats-Unis ont subi depuis le XIX<sup>e</sup> siècle un intense nettoyage. L'exploitation forestière se développa dans les années 1860 avec la ruée vers l'or en Californie. La demande en bois était forte et ce dernier était acheminé vers la côte par flottage. Petit à petit, la recherche du bois se fit de plus en plus loin vers l'amont et les convois de bois étaient alors de plus en plus fréquents. Plus tard encore (1880-1915), les Hommes remontèrent les petits cours d'eau dont le débit insuffisant pour transporter le bois et de petits barrages ou "slash dams" furent construits pour retenir une grande quantité d'eau qui, lâchée périodiquement, constituait un flot torrentiel capable d'avacuer le bois vers l'aval (Maser *et al.*, 1988). Une analyse chronologique effectuée à l'embouchure de quatre rivières d'Orégon montre aujourd'hui encore une réduction de 70% des volumes de bois depuis 1970, à la suite du déboisement des forêts riveraines, du changement des pratiques forestières et des feux (Benner et Sedell, 1987).

Le nettoyage, c'est-à-dire le déplacement des rochers, des débris grossiers ligneux et de tout autre obstruction, afin de faciliter le passage des bateaux et des troncs a réduit les interactions entre le cours d'eau et ses marges. J.R. Sedell et J.L. Frogatt (1984) ont décrit les changements d'une section de 25 km de la rivière Willamette entre 1854 et 1967, en Orégon. Ce cours d'eau a été isolé de sa plaine d'inondation. En 1854 plus de 250 kilomètres de rive étaient en contact avec la ripisylve contre 64 kilomètres en 1967. Cette réduction de 74% du linéaire écotonal est le résultat de la chenalisation et des modifications agricoles enregistrées dans la zone ripuaire.

L'artificialisation séculaire s'exprime aussi à travers les transformations de la mosaïque fluviale et des groupements végétaux. En 1974, R.M. Turner analysa par exemple les changements de la végétation d'une section de 24 km de la haute vallée de la Gila en Arizona au cours du XX<sup>e</sup> siècle. Il y a un siècle, la végétation était totalement différente de celle d'aujourd'hui. Ainsi, la végétation originelle de la plaine était une forêt de saules et de peupliers, rajeunie à intervalles réguliers par l'érosion, le dépôt et l'inondation. Aujourd'hui, l'hétérogénéité d'hier a cédé le pas à des conditions d'uniformité. Le tamaris, introduit entre 1944 et 1964, va progressivement dominer l'aire bordant le chenal et remplacer les espèces natives. Cette invasion est directement liée à des changements anthropiques puisqu'elle correspond à une modification du régime du cours d'eau après la construction de barrages et le nettoyage du lit.

En Europe, l'Homme s'est implanté aux abords des rivières depuis des siècles. Les zones humides avaient un rôle économique fondamental dans la gestion rurale traditionnelle (Bravard, 1981; Pautou et Bravard, 1982). Les "îlages", milieu changeant à la propriété mal définie du Haut-Rhône, étaient utilisés pour le bois de chauffe (révolution très courte du taillis) et pour la nourriture du gros bétail (vaine pâture). L'argile y était également extraite et était utilisée pour la confection des tuiles; de même, les marais servaient de pâturages, de ressources d'appoint (forte productivité secondaire : oiseaux, gros mammifères...) et d'auxiliaires à la viticulture (engrais vert).

La vallée est devenue aujourd'hui un axe polarisant où se distinguent latéralement le chenal endigué, la ripisylve aménagée, les digues, les cultures et l'habitat. La présence humaine est multiple et se manifeste par des aménagements notamment hydroélectriques, une pression à la fois urbaine, industrielle ou agricole, et le développement de phytocénoses artificielles (populiculture).

L'Homme a profondément modifié les équilibres naturels et le passage d'un espace aquatique hérité à un espace semi-aquatique et bientôt terrestre s'accélère. Protégé des inondations, cet espace est propice à une agriculture intensive. Enfin, l'intervention directe de l'homme sur les espèces végétales (fauche, brûlage, déforestation, reboisement, exploitation de la forêt) ou indirecte sur les milieux (drainage, endiguement, abaissement des nappes ...) induit de profondes modifications des rapports quantitatifs existant entre les différentes associations végétales ainsi que de la composition floristique de chacune d'elles.

Colonisation, utilisation et destruction représentent bien souvent avec l'abandon, les quatre phases chronologiques des modifications de la mosaïque végétale imposées par l'Homme.

#### - Les phénomènes récents et localisés

La déforestation est un exemple caractéristique des perturbations récentes exercées par l'homme sur le milieu. Cette activité provoque des impacts hydrologiques (Harr, 1980; Harr *et al.*, 1982), morphologiques, voire écologiques.

R.D. Harr (1980) a évalué les changements du débit annuel, des crues et des étiages de deux bassins, l'un déforesté, l'autre non perturbé dans le secteur de Bull Run Municipal en Orégon situé entre 840 et 1070 m d'altitude, très humide (les précipitations annuelles atteignent 2730 mm dont 83% en hiver) et occupé par une vieille forêt de Douglas-fir. Le débit moyen annuel et le débit maximum instantané n'ont pas été significativement modifiés. En revanche, le débit d'étiage est plus accentué après la déforestation de seulement 25% du bassin de drainage. Celle-ci augmente la lame d'eau écoulée de 420 mm à la suite d'une réduction de l'évapotranspiration et entraîne une augmentation du nombre de jours d'étiage, mais n'affecte ni l'ampleur, ni la durée des hautes eaux.

M. Durocher et A.G. Roy (1986) ont exposé les conséquences du déboisement d'un versant sur la morphologie d'un cours d'eau, le ruisseau Morin au sud du lac Mégantic au Québec. Le déboisement affecte la nature et le régime hydrologique du versant. L'évapotranspiration baisse et la quantité de précipitations atteignant le sol augmente. La morphologie et la sédimentologie du lit du cours d'eau en sont affectées. Une zone saturée en eau en permanence, s'établit au pied du versant. Après des précipitations, le ruissellement et l'érosion des berges ont donné une forme asymétrique au lit du cours d'eau dont une rive est déboisée. Or, sous forêt, ce lit était parfaitement symétrique.

Les cours d'eau de montagne contiennent d'importants volumes de débris ligneux dont le rôle est fondamental dans la genèse des formes du chenal et dans le maintien de ses fonctions hydrauliques et biologiques. Si ces volumes de débris naturels ont une longue histoire de stabilité (Swanson *et al.*, 1976), ils sont beaucoup plus instables après la déforestation. Les volumes sont similaires mais le nombre de pièces est plus important et les pièces elles-mêmes sont moins volumineuses (Swanson *et al.*, 1976 ; Toews et Moore, 1982).

L'Homme agit si fortement sur la mosaïque fluviale qu'il est capable de créer de nouvelles unités, voire de nouveaux écotones terre-eau comme c'est le cas le long de canaux, autour de réservoirs ... (Petts, 1990). Il peut favoriser l'extension spatiale de certaines unités fonctionnelles. Le milieu hyperlotique, caractérisé par une vitesse du courant importante, est rare en milieu naturel mais il se développe à la suite de la construction de digues et d'épis (Pautou et Bravard, 1982). La création de lacs artificiels a également accru la longueur de

l'écotone terre-eau dans le monde. En Grande-Bretagne, les 450 réservoirs majeurs représentent 2 500 km d'écotone. Plusieurs milliers de kilomètres d'écotone limitent également des chenaux artificiels utilisés pour la navigation ou l'irrigation. Dans beaucoup de régions telles que les régions semi-arides, ces corridors sont une composante essentielle du paysage. Ces écotones sont parfois même le refuge d'espèces typiques d'écotones de rivières naturelles aujourd'hui chenalisées et dépourvues de ripisylve (Petts, 1990). Néanmoins, la qualité biologique de ces marges artificielles, bétonnées ne peut pas être comparée à celle d'une forêt riveraine naturelle.

Par conséquent, l'étude du compartiment forestier de l'hydrosystème, même lorsqu'il présente des caractères naturels prononcés, ne peut se concevoir sans intégrer les dynamiques anthropiques, actuelles et passées, internes au secteur d'étude ou amont.

## 2. Le compartiment forestier de l'hydrosystème

La forêt alluviale présente de nombreuses spécificités par rapport à une forêt climacique. Aussi, convient-il dès l'introduction, de définir ce milieu, d'aborder sa géographie, sa structure et sa hiérarchisation.

### 2.1 Ripisylve ou forêt alluviale?

Les formations végétales riveraines des cours d'eau qui occupent naturellement le lit majeur des rivières sont sous l'influence de mécanismes complexes et originaux. A l'interface entre les milieux terrestres et aquatiques, elles disposent d'une dynamique propre et peuvent se définir comme un écotone. Leur extension peut varier, suivant l'ordre du cours d'eau, de quelques mètres à plusieurs centaines de mètres.

Le vocabulaire utilisé pour nommer ces formations est varié : ripisylve, corridor forestier, forêt alluviale, forêt d'inondation... Tous désignent une forêt, une formation végétale où domine l'arbre, riveraine et dépendante d'un cours d'eau. Ces termes, même s'ils sont voisins, ne sont pas synonymes de milieux riverains, ripariaux ou ripariaux ("riparian" en anglais) qui se définissent comme les milieux de rive quel que soit leur peuplement végétal.

Certains scientifiques comme J. Haury (communication orale) distinguent la ripisylve de la forêt alluviale car les processus, l'extension géographique et l'agencement des groupements et des espèces sont différents. Ils définissent ainsi la ripisylve comme une formation arborée étroite développée sur un plan incliné, un liseré de quelques mètres limité à la berge de la rivière alors que la forêt alluviale représente une formation qui ne se rencontre que sur une surface dessinée dans des alluvions, étendue et plane. Ils distinguent ainsi, la ripisylve, présente sur tous les cours d'eau, du corridor forestier ou forêt alluviale qui ne colonise que les lits majeurs de certaines grandes rivières au style géomorphologique particulier.

La nuance est discutable car elle repose essentiellement sur une simple notion d'échelle. En outre, la rive (*ripa*) ne se définit pas comme un linéaire mais comme "une portion, une bande de terre qui borde un cours d'eau important", qui peut donc, selon la taille de la rivière, recouvrir une largeur variable. Dans ce cas, la ripisylve est un concept large qui peut se définir comme toute formation boisée riveraine de cours d'eau. La forêt alluviale est alors une ripisylve particulière puisqu'elle se développe sur des alluvions.

Le terme de forêt alluviale enfin n'est pas le plus approprié car la forêt n'est pas seulement dépendante des alluvions et ces mêmes alluvions, lorsqu'elles sont anciennes, n'accueillent pas la forêt alluviale au sens où nous l'entendons. Néanmoins, utilisé par la plupart des auteurs, ce terme sera employé dans le texte sachant que les forêts étudiées sont développées sur des alluvions récentes.

Dans le cadre de cette étude, nous utiliserons indifféremment les termes de ripisylve, de forêt alluviale ou de forêt d'inondation.

Le premier concerne un ensemble vaste puisqu'il recouvre tous les types de formations arborées riveraines des rivières, quels que soit leur substrat, leur durée d'inondation ou leur extension spatiale.

Néanmoins, sur les cours d'eau de plaines alluviales caractérisés par une bonne connectivité entre la bande active et le lit majeur, la ripisylve est une forêt alluviale et une forêt d'inondation.

Les "forêts alluviales" sont des écosystèmes forestiers (dominés par des essences ligneuses), liés à la présence d'une nappe aquifère et inondés de façon régulière ou exceptionnelle (Pautou, 1984). Leur existence, leur composition floristique et leur extension spatiale sont dépendantes des écoulements superficiels et phréatiques. C'est un ensemble qui peut être vaste et qui se subdivise en sous-systèmes écologiques souvent très spécifiques par leurs caractères structuraux (composition floristique, organisation spatiale...), leur exigence hygrométrique et pédologique (granulométrie). La forêt alluviale est un compartiment terrestre de l'hydrosystème, localisé sur ses marges et composé de groupements végétaux multiples, dominés par des groupements arborés non exclusifs (photographies 1, 2 et 3). Il est possible d'observer au sein de la forêt des zones prairiales ou des bras secondaires du chenal. En effet, tous ces groupements, même les plus abiotiques, céderont place, selon des chronoséquences particulières, à une formation arborée multistratifiée. Ces formations azonales disposent d'une flore très riche et très diversifiée, d'un grand nombre de taxons qui s'explique par une gamme étendue de communautés (pelouses, prairies, landes, landes boisées, fourrés, forêts clairiérées, forêts denses...) (Carbiener, 1970; Walter, 1976; Pautou et Décamps, 1985; Pautou *et al.*, 1985a).

Les zones tempérées sont les régions du monde les plus uniformisées, les plus intensivement altérées par les activités humaines. La plupart des forêts tempérées sont des forêts secondaires développées après un premier défrichement ou abandonnées par l'agriculture. La composition de ces forêts est souvent assez différente de celle des forêts primaires. Les différences fonctionnelles entre vieilles et jeunes forêts sont souvent plus qualitatives que quantitatives. Les vieilles forêts influencent les processus hydrologiques beaucoup plus que les jeunes forêts. Elles présentent une canopée plus développée qui explique un accroissement des précipitations (Harr, 1982). Les organismes et les processus qu'elles abritent, représentent un aspect essentiel de la biodiversité globale. Le sous-bois est hétérogène et les arbres morts en place ou tombés sur le sol, sont nécessaires à de nombreux organismes et processus biologiques des écosystèmes forestiers.

Les ripisylves sont d'autant plus perturbées que les rivières sont très polluées et ont perdu la diversité de leurs écosystèmes, les invertébrés étant autant affectés que les vertébrés (Franklin, 1988).

Les forêts alluviales représentent un élément important du patrimoine naturel. Profondément altérées par le développement des activités, elles n'avaient, en 1980, fait l'objet que de quelques rares études (Yon, 1980). Même si les processus naturels jouent un rôle fondamental dans la genèse et la conservation de ces formations originales, les forêts alluviales européennes sont des forêts secondaires et leurs caractères sont souvent très anthropiques.

## 2.2 Analyse fonctionnelle de la forêt alluviale

Dans la plaine d'inondation, la végétation subit des changements rapides qui résultent des interactions entre processus allogéniques et autogéniques (Pautou *et al.*, 1985b). Chaque groupement comporte des espèces particulières dont l'apparition est régie par le temps qui permet aux facteurs écologiques tels que la fréquence des inondations, la texture du sol, la distance relative à la nappe... de se modifier dans l'espace.

Ces ensembles ont une durée de vie plus ou moins éphémère. Ils se succèdent les uns les autres à la suite de modifications progressives ou brutales de leurs conditions de milieu et, corrélativement, de leur peuplement. Ces modifications sont liées à des phénomènes d'érosion ou d'alluvionnement, à des phénomènes biologiques responsables de colmatage, d'atterrissement, d'eutrophisation et à des interventions humaines qui peuvent accélérer, ralentir, empêcher ou modifier leur évolution naturelle. Chaque ensemble fonctionnel correspond à un stade d'une chronoséquence (ou succession évolutive). L'exemple le plus achevé a pour origine l'axe fluvial, et pour stade ultime, un espace terrestre colonisé par une vieille forêt de bois dur. Chaque chronoséquence n'a pas la même vitesse d'évolution et chacun de ses stades a une durée de vie qui lui est propre.

La succession écologique peut ainsi être définie comme un changement de la végétation accompagné d'une modification des conditions d'habitat. Le terme de succession désigne le processus de colonisation d'un biotope par les êtres vivants et les changements dans le temps de la composition floristique ou faunistique d'une station après qu'une perturbation naturelle ou anthropique a détruit l'écosystème préexistant (Lepart et Escarre, 1983).

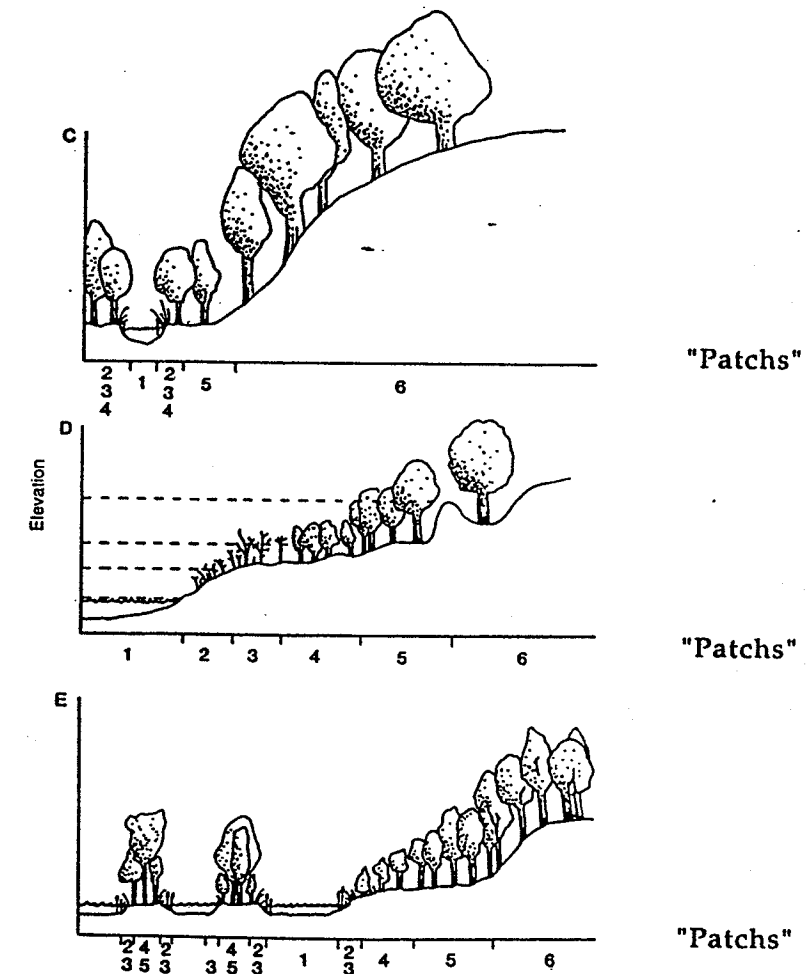
La notion de succession écologique et les stades de succession qui lui sont associés sont fondamentaux (photographie 4). Ils expliquent la complexité de la mosaïque fluviale, des marges boisées dans lesquelles coexistent des stades récents et des stades anciens, des stades abiotiques et des stades arborés qui constituent tous une étape d'une chronoséquence. Dans les hydrosystèmes des régions tempérées, le stade ultime de la succession est caractérisé par un groupement forestier à bois dur tel que le *Fraxino-Ulmetum* rhénan (Carbiener, 1970). Un enrichissement progressif en espèces ligneuses se fait au cours de la succession. Sur le haut Rhône, 4 espèces ligneuses sont présentes dans le stade à *Salix alba* contre près de 50 dans les stades matures (Pautou *et al.*, 1979).

Ainsi, la forêt alluviale ne comporte pas seulement des groupements arborés. Elle forme une mosaïque végétale complexe qui, à un instant t, comporte une multitude de stades composés pour la plupart de ligneux.

Le corridor alluvial peut être considéré comme une zone écotonale régulant les flux d'énergie et de matière entre deux "patches", l'axe fluvial et le milieu terrestre. La ripisylve est à la fois une source et un filtre pour les flux entrant dans l'écosystème fluvial. Leur dynamique dépend des échanges et des interactions entre les différents éléments de la mosaïque incluant "patches" aquatiques, semi-aquatiques et terrestres. Les différences topographiques déterminées par des variations locales liées à la fréquence et à l'ampleur des crues produisent des zones de végétation formant alors un continuum de "patches" dans la ripisylve. La limite entre chaque "patch" peut être progressive ou abrupte, reflet de la tolérance des espèces aux conditions d'humidité. Ceci concerne d'ailleurs de nombreux processus écologiques tels que la production primaire, le cycle des nutriments, le taux de décomposition de la matière organique... Finalement, l'écotone terre-eau est influencé par quatre types de perturbations (Petts, 1990) : l'inondation, la dessiccation, la sédimentation et l'érosion.

Les unités fonctionnelles ont été classées récemment par Frissel *et al.* (1986) dans un système organisé en niveaux hiérarchiques. L'augmentation des débits et l'élargissement du chenal vers l'aval sont un facteur de complexité de la mosaïque (fig. 2). En d'autres termes, le long d'une rivière, l'écotone forme un corridor

dynamique de largeur variable. En tête de bassin, l'écotone forme une zone ripicole étroite, déterminée à la fois par l'hydrologie du versant et la variabilité de l'écoulement du chenal. A l'aval, l'écotone est caractérisé par une plaine d'inondation active et large. Dans les rivières larges, au style fluvial en tresses ou à méandres, les "patches" ripulaires deviennent très diversifiés et étendus. La zone écotonale est divisée en de nombreux écotones internes qui dépendent de l'hétérogénéité topographique de l'aire riveraine.



Les "patches" se réfèrent ici à des associations végétales :

- 1- Macrophytes aquatiques submergés,
- 2- Plantes aquatiques émergées,
- 3- Carex et herbacés,
- 4- Saules et Aulnes,
- 5- Arbres pionniers (Frêne...),
- 6- Arbres établis (Chêne...).

Figure 2 - Variation latérale des "unités fonctionnelles" selon la position du transect sur le continuum (cours amont, A, médian, B, aval, C, ...) (d'après Naiman, Johnston et Kelley, 1988)



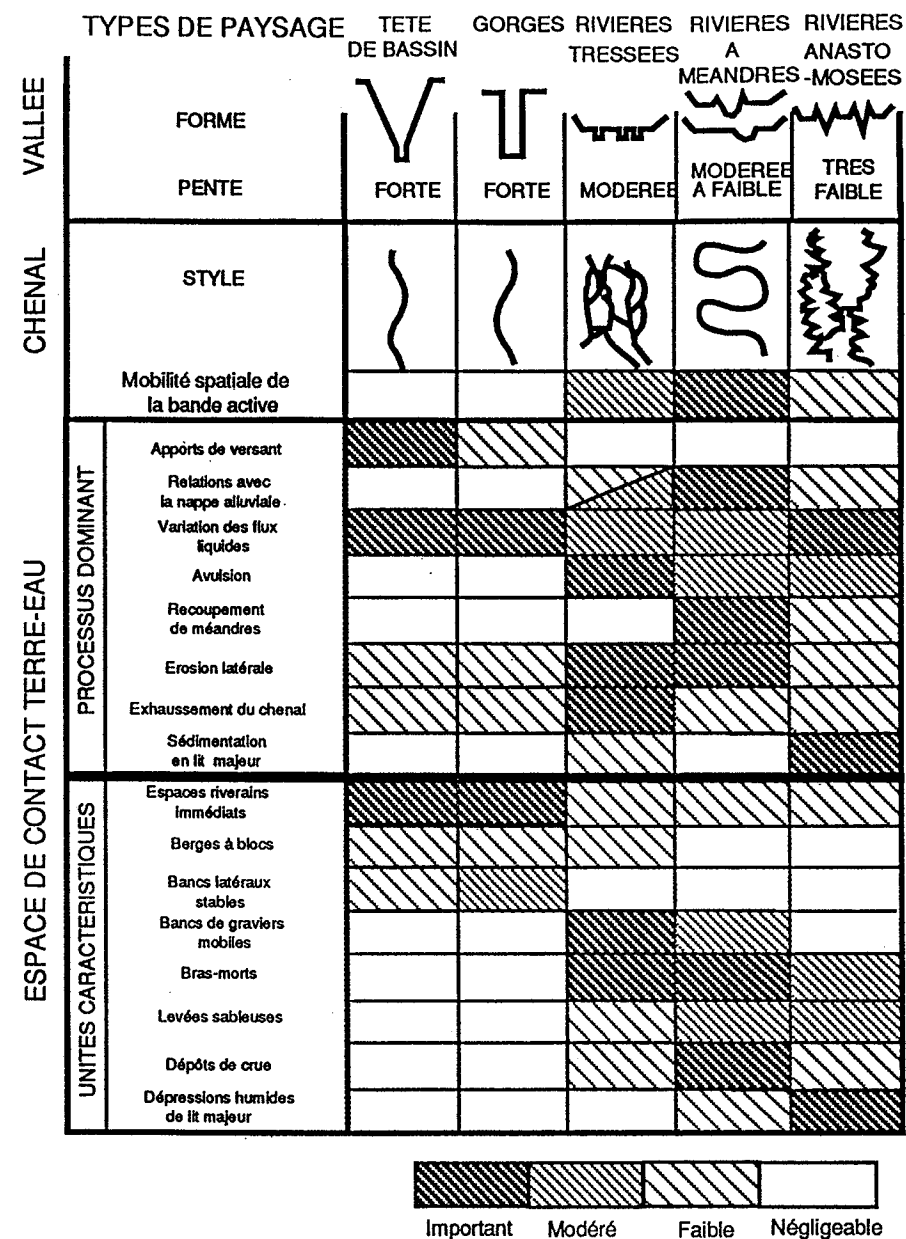


Figure 3 - Classification et caractères hydrogéomorphologiques des écotones terre-eau (d'après Petts, modifié, 1990)

Le style géomorphologique, influencé notamment par la pente et la forme de la vallée, conditionne la variabilité de l'intensité et du nombre de processus de la dynamique fluviale et des formes spécifiques qui constituent la mosaïque géomorphologique et phytoécologique de l'hydrosystème (fig. 3). Les rivières à méandres ou à tresses présentent ainsi la plus grande diversité de groupements, d'espèces et de processus physique et biologique. Elles disposent d'un écotone original dominé par la variation latérale des "patches" en fonction des complications longitudinales liées aux changements de dimension du cours d'eau vers l'aval. Les facteurs qui créent ou maintiennent l'écotone sont internes ou externes à celui-ci. Néanmoins, dans cet espace, les processus allogéniques dominent. Ceci contraste avec la plupart des systèmes terrestres où les processus autogéniques sont essentiels. Aussi, le fonctionnement physique de ces marges boisées actives, encore peu connu, est un axe de recherche à prospecter.

La forêt alluviale des rivières à méandres ou à tresses représente la ripisylve la plus étendue et la plus complexe. L'analyse proposée portera sur de telles rivières car les processus physiques de régénération sont les plus diversifiés.

Les connaissances phytoécologiques ont beaucoup progressé depuis les années 1970. Le fonctionnement physique en revanche est moins connu et des résultats en matière de recherche fondamentale et de recherche appliquée apparaissent aujourd'hui nécessaires.

Le sujet proposé est géographique et requiert une certaine connaissance des sociétés humaines et des phénomènes physiques abordés en biogéographie et en géomorphologie, une logique de gestion et d'aménagement du territoire. Par ailleurs, les résultats et le savoir-faire acquis en morphodynamique fluviale pourront être utilisés dans l'étude du lit majeur boisé.

### 3. Une problématique de gestion

Quand une ressource naturelle se raréfie, sa valeur sociale et économique augmente. Or, parallèlement, l'exploitation des ressources crée des problèmes environnementaux qui peuvent avoir des implications globales.

Une gestion plus réfléchie des ressources existantes, grâce à la compréhension et à l'utilisation des propriétés naturelles de l'écosystème, est nécessaire à long terme.

#### 3.1 Les concepts

Le principal défi de l'Homme n'est pas de développer des systèmes basés sur l'exploitation des ressources naturelles comme cela se fait depuis des siècles. Il s'agit de maintenir à la fois la capacité de l'économie, l'utilisation optimale des ressources existantes et la qualité de la vie et de l'environnement. La perspective écotonale pour l'aménagement des systèmes aquatiques inclut l'environnement esthétique, le développement des activités récréatives, une population en meilleure harmonie avec la nature et le long terme, et une amélioration à la fois de la qualité de l'eau et de la vie sauvage.

Aujourd'hui l'aménagement s'occupe peu des systèmes naturels et reste souvent basé sur le concept de stabilité de l'environnement. Selon Roux *et al.* (1986), il ne faut pas chercher à préserver des espaces dont les caractères vont changer à court terme mais plutôt préserver les mécanismes permettant de régénérer les biotopes propices aux communautés. En d'autres termes, il faut assurer aux communautés la possibilité de migrer au sein de l'hydrosystème fluvial. Face à l'instabilité des biotopes, une stabilité des communautés est conservée. Selon Sedell et Luchessa (1982), l'objectif n'est pas de restaurer la population des salmonidés alors que leur présent habitat est perturbé mais d'incorporer la structure d'un habitat non perturbé dans lequel se développe une population sauvage. Ainsi les séquences de changements se déroulant dans ce type d'habitat peuvent être décryptées et réutilisées dans un souci de gestion réfléchie des systèmes variables. S'il est clair que l'aménagement des systèmes variables est nécessaire, son application est difficile en raison de leur complexité et de leur imprévisibilité. Des perspectives, des instruments et des techniques nouveaux doivent s'affirmer afin que les décisions d'aménagement puissent se baser sur la compréhension des systèmes naturels.

Comprendre l'évolution historique des cours d'eau est important si nous voulons les réhabiliter, voire maintenir ou augmenter les communautés vivantes afin d'identifier les conditions optimales d'habitat. Il s'agit de préserver la diversité biotique et génétique que représentent les espèces. Or parallèlement, il y a simplification

des écosystèmes et perte de la biodiversité. Ceci inclut les vieilles forêts tempérées de conifères (Franklin, 1988) mais plus encore les zones ripuaires. Les stratégies d'aménagement les plus intenses ne prennent pas en considération la diversité biologique. Les structures et les successions écologiques, les paysages, sont ainsi homogénéisés.

### 3.2 Les axes de recherche

Historiquement, l'Homme a tellement influencé la dynamique des écosystèmes fluviaux que même la définition d'un environnement naturel pose un problème. Ainsi le défi relevé pour la gestion future des cours d'eau et la restauration des écosystèmes appelle plusieurs questions (Pinay *et al.*, 1990) :

- Qu'est-ce qu'un système endommagé ?
- Que signifie restaurer ?
- Quelles méthodes employer et comment prédire leurs résultats ?

Comprendre les processus naturels doit permettre une réhabilitation plus efficace des systèmes variables. Certains auteurs ont montré que les cours d'eau, peuplés de castors, résistent mieux aux perturbations anthropiques. La réintroduction de ces animaux favorise un retour à des conditions de pré-perturbations. Ce concept a été utilisé dans les états du Wyoming et de l'Orégon afin de réhabiliter des cours d'eau qui ont subi une longue histoire d'abus (Naiman, Johnston et Kelley, 1988). L'écotone, étant une zone de transition, contient habituellement des organismes parfois proches de la limite de tolérance. En conséquence, tout changement des processus naturels ou induits par l'Homme s'exprime d'abord ici. Cet espace d'interface peut être utilisé comme un complexe d'indicateurs précoces des changements de l'environnement. Ce caractère écotonal doit être un principe fondamental de restauration.

Six principaux objectifs concernant l'écologie fluviale ont été avancés pour les décennies à venir (Pinay *et al.*, 1990). Il est nécessaire de :

- clarifier les relations environnement - ressource économique,
- déterminer les effets cumulés des pratiques d'utilisation de l'espace,
- promouvoir une perspective paysagère pour l'écosystème aquatique,
- gérer la variabilité naturelle,
- réhabiliter les écosystèmes perturbés,
- conserver prudemment des systèmes naturels.

L'approche proposée par Petts (1990), le BPEO (Best Practicable Environmental Option), cherche à minimiser les impacts au niveau des écotones terre-eau. Les analyses sont abordées au cas par cas, selon les problèmes spécifiques. Deux échelles sont considérées :

- une petite échelle à partir de laquelle l'aménagement doit entretenir les processus hydrologiques et géomorphologiques déterminant l'écotone terre-eau,
- une échelle plus fine à partir de laquelle l'aménagement cherche à maintenir la diversité des unités de l'écotone.

Dans la plupart des cas, le BPEO nécessite d'accepter certains impacts et le souci est alors d'en minimiser les conséquences. Dans quelques cas, l'écotone pourrait être désigné comme une aire de conservation. Il est nécessaire, en effet, de protéger les ressources génétiques destinées à de futures restaurations, à la maintenance des "rivières développées". Il est probable que des ressources aujourd'hui inconnues mais

préservées aient une valeur économique future. L'écotone, enfin, a aussi une valeur esthétique, éducative et scientifique.

Petts propose un guide en sept points pour la restauration des cours d'eau. Basé sur les travaux de Mc Connell *et al.* (1980), Brookes (1989) et Welcomme (1989), il préconise de :

- n'altérer le chenal et l'écotone que lorsque cela est impératif et de réduire l'altération au minimum en intégrant des caractères naturels dans l'aménagement,
- retenir la majorité des arbres et des accumulations de petits débris et de ne nettoyer les barrages que dans le cas de blocages majeurs,
- n'entreprendre l'entretien du chenal que depuis une rive en laissant l'autre intacte et en utilisant, lorsque cela est possible, des techniques manuelles,
- maintenir les étangs et les crues dans la plaine d'inondation et de favoriser la connexion saisonnière plaine d'inondation - chenal,
- n'élever des digues que loin des rives et créer des chenaux de crue ou utiliser les étangs existants pour agir efficacement sur les crues et pour fournir un habitat diversifié de marais,
- élaborer un programme destiné à évaluer l'efficacité des mesures de restauration,
- disposer d'un schéma d'aménagement flexible capable de répondre aux problèmes identifiés dans le programme.

Quelle doit être la gestion de la ripisylve dans les cours d'eau de forte énergie? La question se pose actuellement avec acuité dans les régions alpines et périalpines car :

- le corridor forestier semble un élément récent de certains hydrosystèmes à forte instabilité. N'est-il pas un révélateur de changements plus profonds, globaux touchant l'équilibre même du système?
- La présence ou l'absence du corridor forestier est perçue comme un descripteur de l'état sanitaire d'un cours d'eau. Tout le monde s'accorde aujourd'hui pour affirmer la nécessaire présence de la ripisylve. Néanmoins, les conceptions divergent sur la définition même de ripisylve? Quelle doit être la place de l'homme, comment doit-il l'entretenir? Inversement, comment fonctionne une ripisylve (genèse et régénération), quel est son rôle structurel dans l'hydrosystème?

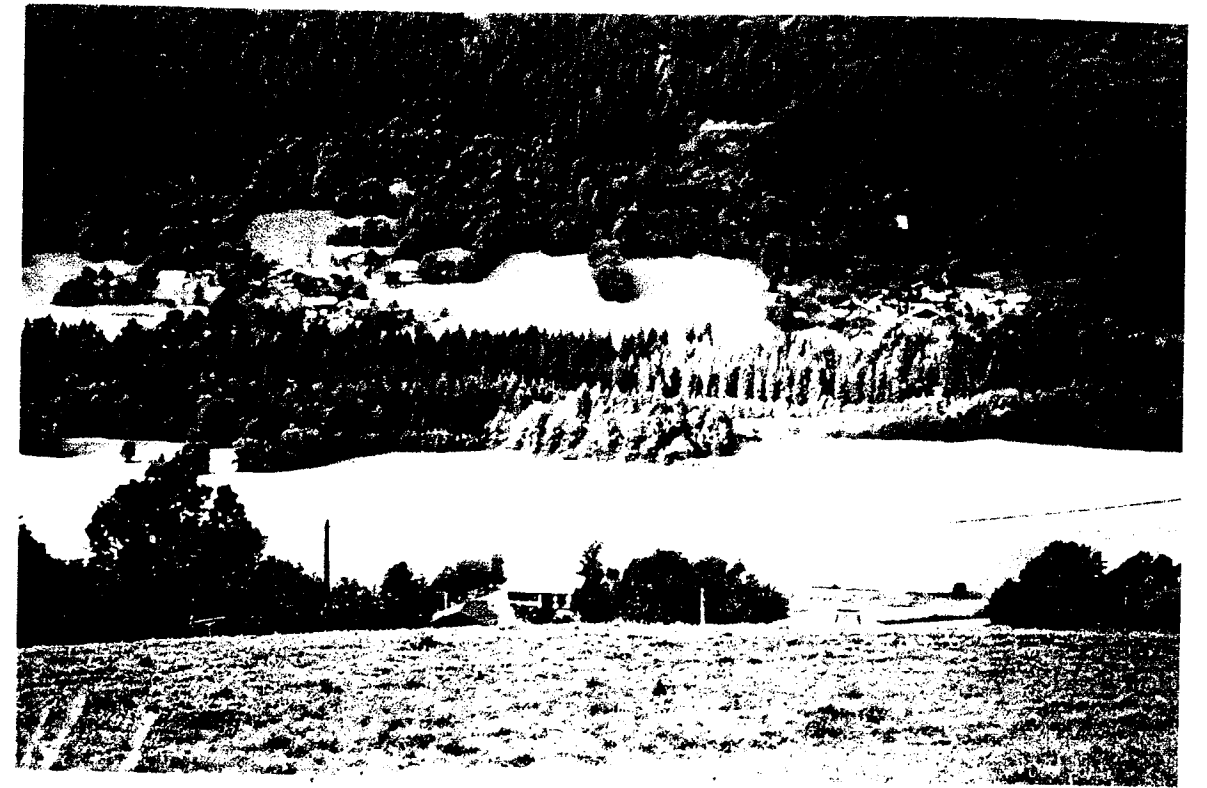
L'ensemble de ces éléments explique l'intérêt du sujet abordé et le choix de rivières présentant une mosaïque végétale exceptionnelle. Cinq cours d'eau de piémont, à forte charge, au corridor boisé développé sur un plancher alluvial récent, ont ainsi été sélectionnés dans le bassin du Rhône. Ils sont relativement éloignés les uns des autres ce qui permet de mettre en évidence des similitudes de fonctionnement alors que l'environnement socio-économique, historique mais aussi géologique, topographique, hydrologique et bioclimatique... est différent. La démarche repose enfin sur des techniques variées qui permettent de mettre en évidence une palette de mécanismes fonctionnels.



Photographie 1 - Vue générale de la rivière d'Ain et de son corridor forestier  
{prise de vue hélicoptère, octobre 1993}.



Photographie 2 - Le corridor forestier de la rivière Ardèche dans le coude d'Aubenas  
{prise de vue depuis le sommet de la cuesta}.



Photographie 3 - La forêt alluviale du Giffre à l'aval de la Rivière-Enverse  
{prise de vue depuis la rive droite}.



Photographie 4 - Les principaux stades de succession écologique de la forêt alluviale du Giffre (au premier plan une unité végétalisée puis se succèdent des formations herbacée, pionnière et post-pionnière et enfin l'unité arborée à épicéa)

{prise de vue en rive droite de la rivière, amont du site des Thézières}.

## II Présentation des cours d'eau et des tronçons sélectionnés

Cinq cours d'eau d'ordre intermédiaire (tab. 1, fig. 4) ont été sélectionnés dans le bassin du Rhône. Ils sont caractérisés par une forte énergie (charge de fond grossière, tressage actuel ou passé, débits solide et liquide importants) et un lit majeur boisé localisé au coeur d'une plaine alluviale. La taille, la géologie et la position latitudinale et altitudinale de leur bassin versant présentent de notables différences.

La basse vallée de l'Ain située à l'aval du Bugey, la moyenne vallée de l'Ouveze, immédiatement à l'aval du massif préalpin méditerranéen des Baronnies ou la moyenne vallée de l'Ardèche située à l'aval des formations granitiques du massif cévenol drainent un piémont alors que les moyennes vallées du Giffre et de l'Ubaye se dessinent dans des plaines intra-alpines.

Le cadre géographique et morphostructural, l'hydrologie, la morphodynamique, l'écologie et la physico-chimie des cinq hydrosystèmes sont successivement présentés.

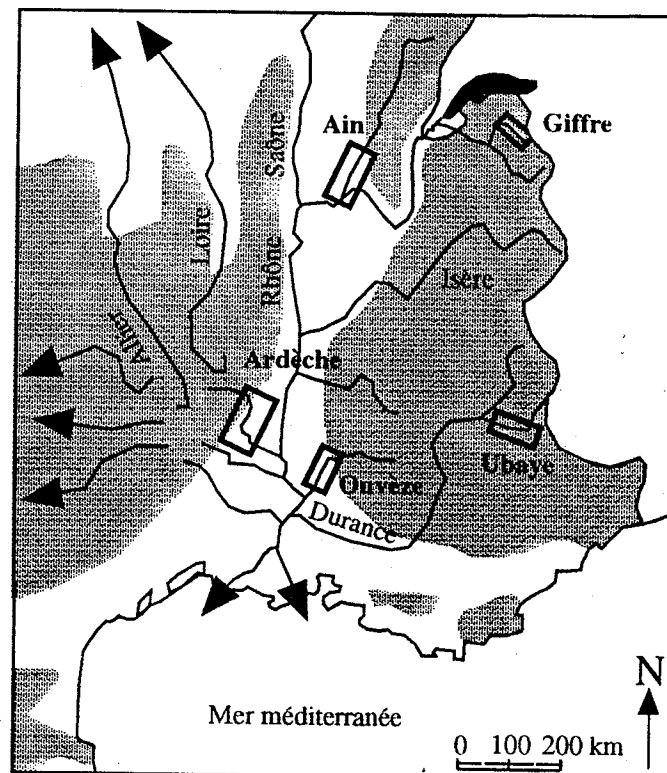


Figure 4 - Localisation des rivières étudiées

Tableau 1 - Quelques critères généraux des cours d'eau étudiés.

| Ens. du cours                                    | AIN      | ARDÈCHE           | GIFFRE                     | OUVEZE             | UBAYE                   |
|--|----------|-------------------|----------------------------|--------------------|-------------------------|
| Rang du cours d'eau (A.N. Strahler)*:            | 6        | 7                 | 6                          | 6                  | 5                       |
| Longueur du cours d'eau (en km)**:               | 185      | 119               | 43                         | 90                 | 82                      |
| Surface du bassin versant (en km <sup>2</sup> ): | 3630     | 2240              | 459                        | 1818               | 970                     |
| Altitudes maximales (en m):                      | 1300     | 1500              | 3100                       | 1900               | 3000                    |
| Géologie du bassin versant :                     | calcaire | socle et calcaire | flysch, calcaire, schistes | calcaire et marnes | flysch et marnes noires |

\* d'après A.N. Strahler, 1957; \* et \*\* d'après A. Le Fellic, 1992.

### 1. Cadre géographique et morphostructural

#### 1.1 La basse vallée de l'Ain

L'Ain prend sa source sur le plateau de Nozeroy à 750m d'altitude, s'écoule sur 200 km et draine la partie occidentale du Jura méridional. Après avoir suivi un cours jurassien encaissé et largement aménagé aujourd'hui pour l'hydroélectricité, la rivière s'étale à l'aval de Pont d'Ain durant quarante kilomètres dans une large vallée: la basse vallée de l'Ain (tab.2).

Ce premier hydrosystème présente un lit majeur actuel dont la largeur est comprise entre 0,5 et 2 km. La basse vallée se situe au coeur d'une vaste dépression orientée NE/SO et limitée à l'Ouest par le plateau de la Dombes, au NNE par le Jura méridional ou Bugey et à l'Est par le plateau calcaire de Crémieu. Cette grande dépression est héritée du travail des glaces pléistocènes (moraine frontale, surcreusement) et des écoulements proglaciaires fini-würmiens de type "sandur" qui ont construit une vaste zone d'épandage caillouteuse inclinée vers le SO et avec laquelle la pente actuelle de l'Ain, bien qu'incisée de 10 à 15 m (Brun, 1963; Mandier, 1988), est en conformité (fig. 5). L'encaissement, processus complexe, a déterminé un système de terrasses emboîtées, parfois partiellement étagées (le substrat molassique et morainique affleure localement). Un encaissement holocène tend à s'exagérer aujourd'hui (Bravard, 1986a).

La rivière Ain dispose d'une morphologie à sinuosité, voire même localement à méandres (Bravard, 1986a), d'un lit large et peu profond, d'une charge caillouteuse très mobile (les galets les plus grossiers ont entre 10 et 20 cm de diamètre), et d'une pente comprise entre 0,12% (à l'amont) et 0,18% (entre Port-Galland et la confluence avec le Rhône en 1980). Le profil en long du cours d'eau ne se maintient que lorsque le substrat est exhumé : rapides de Martinaz à l'aval de Mollon, rapides de Chazey-sur-Ain, barre rocheuse de Taffanelles (Landon, 1990).

## 1.2 La moyenne vallée de l'Ardèche

L'Ardèche est un affluent de rive droite du Rhône moyen qui prend sa source à près de 1400 m d'altitude à quelques kilomètres à l'amont d'Astet. Elle traverse le Vivarais et le plateau calcaire des Gras sur une distance de 120 km. Rivière de rang 7 à la confluence, elle dispose d'un réseau hydrographique très ramifié, d'une densité de drainage exceptionnel.

La moyenne vallée de L'Ardèche située dans le Bas-Vivarais (fig. 6) s'étend sur 50 km d'Aubenas au Pont d'Arc (tab.2). C'est une région de contact entre le Haut-Vivarais au Nord Ouest, le plateau des Gras au Sud - Est et le plateau basaltique des Coirons au Nord - Est. Le relief vivarais, accusé, est formé de hautes croupes allongées, les Serres, disséquées par de profondes vallées dans les migmatites (Haute Ardèche), les granites et les micaschistes (Chassezac) imperméables et localement fossilisés par des éléments basaltiques (vallée de la Fontolière). Le plateau des Gras est dessiné dans une structure légèrement monoclinale de calcaires crétacés, à faciès urgonien, durs et profondément karstifiés.

A l'aval du "coude d'Aubenas", la rivière qui était orientée Ouest - Est, s'écoule vers le Sud dans une dépression orthoclinale NNE-SSO dessinée dans les marnes du Bathonien-Callovien et limitée à l'Est par une cuesta élancée (calcaire tithonique). A partir de Vogüé, la plaine alluviale devient discontinue, interrompue par une succession de défilés calcaires typiques (Vogüé, Balazuc, Pradons-Ruoms); de petits bassins alluviaux se forment dès que la rivière retrouve les terrains plus tendres marneux et marno-calcaires de l'Hauterivien-Valanginien (secteur de Lanas, Chauzon et Ruoms-Vallon). A partir de Vallon - Pont d'Arc, débute la basse Ardèche, la rivière recoupe alors en gorges profondes les calcaires urgoniens des Gras (Carte géologique de Privas au 1/80 000°, n°198, 1933; carte géologique de Largentière au 1/80 000°, n°197, 1933).

Sur le tronçon médian, le lit majeur boisé présente une largeur variable. Inexistante sur certains tronçons de gorge, celle-ci peut atteindre localement 500 à 750m mais reste le plus souvent voisine de 200 à 400m dans les secteurs alluviaux. Il existe par ailleurs de nombreux contrôles structuraux au niveau des gorges et localement dans les tronçons alluviaux. La rivière est sinueuse bien que quelques secteurs de tressage de faible activité soient observés et est caractérisée par une forte torrencialité.

## 1.3 La moyenne vallée du Giffre

Le Giffre est une rivière torrentielle des Alpes du nord. Situé dans la région du Faucigny en Haute-Savoie, il prend sa source dans le massif du Fer à Cheval au pied du Grand Mont Ruan (3040m). Malgré sa faible longueur (43 km) et un bassin versant modeste (459 km<sup>2</sup>), la rivière dispose d'un rang 6 d'après l'ordination de Strahler.

Cette région est un carrefour géologique entre les zones interne et externe des Alpes (fig. 7). Le bassin versant du Giffre se dessine à l'amont dans l'enveloppe sédimentaire composée de schistes et de calcaires sublithographiques des terrains cristallins des Aiguilles Rouges. Plus à l'aval, les chaînes helvétiques calcaires, dans lesquelles se localisent le secteur drainé par le torrent du Clévieux et le "désert" de Platé sont remplacées plus à l'ouest par des massifs moins élevés dessinés dans des nappes de charriage composées tantôt de flysch gréseux et de calcaires au Sud-Ouest, tantôt des brèches et des flyschs (secteur des Gets) du massif du Chablais au Nord et au Nord-Ouest.

Au coeur de cet ensemble, le Giffre, affluent de rive droite de l'Arve, draine, dans son cours moyen, une plaine alluviale holocène de 12 km de long sur 1 km de large orientée ONO-ESE (tab.2). Ce secteur médian, véritable compartiment alluvial intramontagnard hérité du travail des glaces quaternaires et des écoulements postglaciaires, se situe à une altitude de près de 650m et s'étend de Samoëns à Taninges. La gorge qui sépare Taninges de Marignier à l'aval exerce un contrôle structural vis-à-vis du profil en long et annihile l'érosion régressive observée sur l'Arve. Le compartiment alluvial est également interrompu à l'amont par la très étroite

gorge des Tines. La bande naturelle concédée au Giffre est large de 400 à 500m et la rivière présente un style fluvial en tresses typique avec une bande active de 100 à 150m de large dans les secteurs non endigués.

## 1.4 La moyenne vallée de l'Ouvèze

L'Ouvèze est une rivière méditerranéenne, qui conflue avec le Rhône près de Sorgues à quelques kilomètres à l'amont d'Avignon. Trois tronçons sont identifiés sur son tracé de 90 km. Le premier s'étend de sa source à Mollans-sur-Ouvèze et abrite une rivière de montagne. Le second est un secteur de piémont qui s'étend à l'aval du massif des Baronnies jusqu'à Joncquières. Plus à l'aval, la rivière draine un secteur de plaine.

La moyenne vallée de l'Ouvèze (fig. 8) traverse le Haut Comtat Venaissin, vaste bassin tertiaire rempli de molasse sableuse (bassin de Valréas et sous-bassin d'Entrechaux - Mollans), ouvert, fossilisé à l'Ouest sous les alluvions fluviatiles würmiennes, rissiennes et mindéliennes et quadrillé à l'Est par des reliefs crétacés tels que le massif de Séguret qui domine l'Ouvèze en rive gauche à l'aval de Vaison. C'est une région de contact entre trois ensembles géologiques majeurs. Elle marque le passage de la montagne au piémont rhodanien avec à l'amont de Mollans, le massif des Baronnies au Nord composé de calcaire jurassique, et le Mont Ventoux au Sud dessiné dans les calcaires à faciès urgonien. A l'aval, dominant les terrains tertiaires recouverts par les apports pléistocènes puis holocènes (carte géologique de Vaison la Romaine au 1/50 000°, BRGM, 1987).

La moyenne Ouvèze est une rivière torrentielle sous l'influence de la montagne qu'elle vient de quitter. Le tronçon étudié s'étend sur 31 km d'Entrechaux et Joncquières (tab.2). La région traversée se subdivise en deux sous-ensembles caractéristiques d'un piémont. Le secteur situé à l'amont de Vaison est encore assez montagneux, collinéen et forme une sorte de cuvette dans laquelle de nombreux affluents arrivent du massif du Ventoux (Groseau, Toulourenc..) et des Baronnies (Lauzon). La concentration des eaux se fait principalement à l'amont immédiat de Vaison. A l'aval de l'agglomération, le tronçon est dominé par un ensemble de terrasses; c'est une région étendue et ouverte vers l'ouest.

La rivière draine une plaine alluviale large de 500 m, incisée dans les formations molassiques et les terrasses fluviatiles pléistocènes. Sa pente, forte, se réduit vers l'aval passant de 0,6-1% à l'amont de Vaison à 0,4-0,6% à Violès. La bande active est large de 200 à 250 m et la rivière dispose d'un style en tresses typique.

## 1.5 La moyenne vallée de l'Ubaye

L'Ubaye, cours d'eau méditerranéen de rang 5, est un des principaux affluents de rive gauche de la moyenne Durance qui drainent la zone alpine interne. Il conflue aujourd'hui dans la retenue de Serre-Ponçon. C'est une rivière de montagne à très forte pente qui prend sa source à plus de 2500m au pied du Bric de Rubren (3340m). Sur les 82 km de son cours, trois secteurs sont bien individualisés : un secteur torrentiel à l'amont de Jausiers, un secteur de plaine intramontagnarde de Jausiers aux Thuiles, et, un secteur de gorges à l'aval.

La moyenne vallée se dessine dans les nappes de charriage de l'Embrunais-Ubaye des Alpes de Haute Provence. Le massif du Parpaillon (2998 m.), la fenêtre de Barcelonnette dans laquelle se concentre un chevelu hydrographique dense et le massif des Trois Evêchés (2819 m.) se succèdent du nord au sud. La ceinture montagneuse, culminant à 3000 m, présente un relief tantôt monotone et sculpté dans des faciès de flysch (Parpaillon) tantôt plus vigoureux quand il se dessine dans le calcaire des nappes (Séolanes, Restefond) (fig.9). Les terrains marneux tendres de l'autochtone, empâtés de moraines et fermés à l'aval par le verrou de Méolans, sont taillés dans la carapace des nappes de charriage qui constituent les massifs environnants. Ils sont soumis à une intense érosion et alimentent un abondant transport solide (carte géologique de Barcelonnette au 1/ 50 000°, BRGM, 1972).

Le tronçon étudié présente une altitude élevée (de 900 à 1200m) et s'étend sur 24 km du hameau des Davids, situé à 2 km à l'aval de Jausiers, au hameau de Champanastais, situé à 2 km à l'amont du Lauzet-Ubaye (tab.2). Il s'agit d'un couloir alluvial, orienté Ouest-Est, très développé dans le bassin de Barcelonnette et qui se rétrécit progressivement vers l'aval. Une gorge dessinée dans le substratum lui succède à 6 km avant la confluence. Ce couloir est calé latéralement par une multitude de cônes de déjection plus ou moins actifs et dispose d'une très forte pente (1,23%). La rivière présente une bande de tressage actif dont la largeur est voisine de 300 à 400m dans la partie la plus évasée du bassin. Dans les secteurs plus étroits, un style à méandres lui succède comme sur le tronçon Les Thuiles - Méolans. L'amplitude des méandres est de plus en plus contrariée vers l'aval par l'étroitesse de la vallée et le style devient alors plutôt sinueux.

Tableau 2 - Principaux critères physiques des tronçons étudiés.

| Tronçons étudiés               | AIN<br>de Pont d'Ain<br>à la confl.<br>du Rhône | ARDECHE<br>d'Aubenas<br>au<br>Pont d'Arc | GIFFRE<br>de la Gorge<br>des Tines à<br>Taninges | OUVEZE<br>de Mollans<br>sur Ouvèze à<br>Jonquières | UBAYE<br>de Jausiers<br>au<br>Lauzet-<br>Ubaye |
|--------------------------------|---|--|--|--|--|
| Longueur du tronçon<br>(en km) | 40  | 47                                       | 14   | 31   | 24   |
| Taux de sinuosité<br>(année)   | 1,22 (1991)                                     | 1,06 (1989)                              | 1,05 (1984)                                      | 1,07 (1990)  | 1,06 (1991)                                    |
| Pente (en m pour<br>1000)      | 1,43  | 2,93                                     | 7,92   | 6,13   | 12,92  |
| Altitudes du secteur<br>(en m) | 185-235   | 70-205                                   | 616-725  | 55-245   | 900-1210                                       |

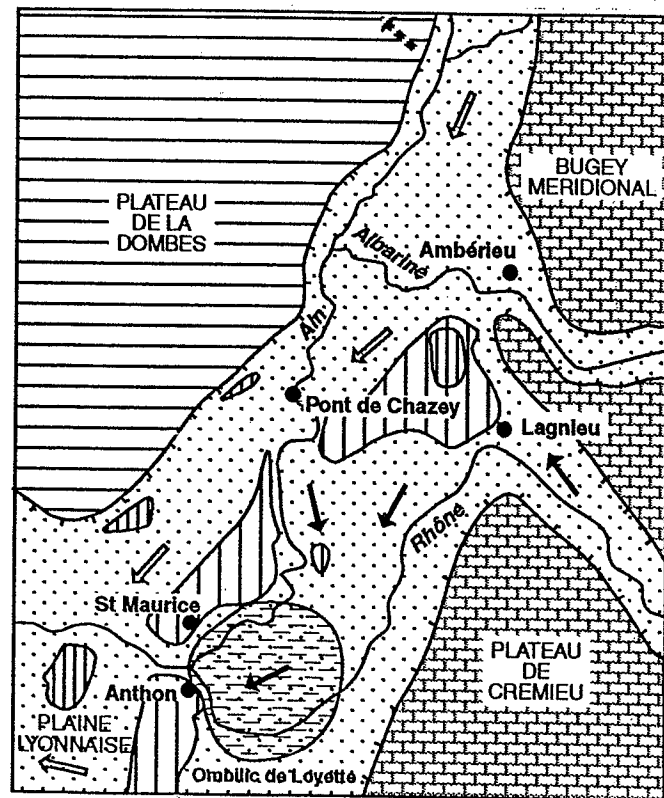


Figure 5 - Environnement morphostructural de la basse plaine de l'Ain (d'après Mandier, 1988; modifié).

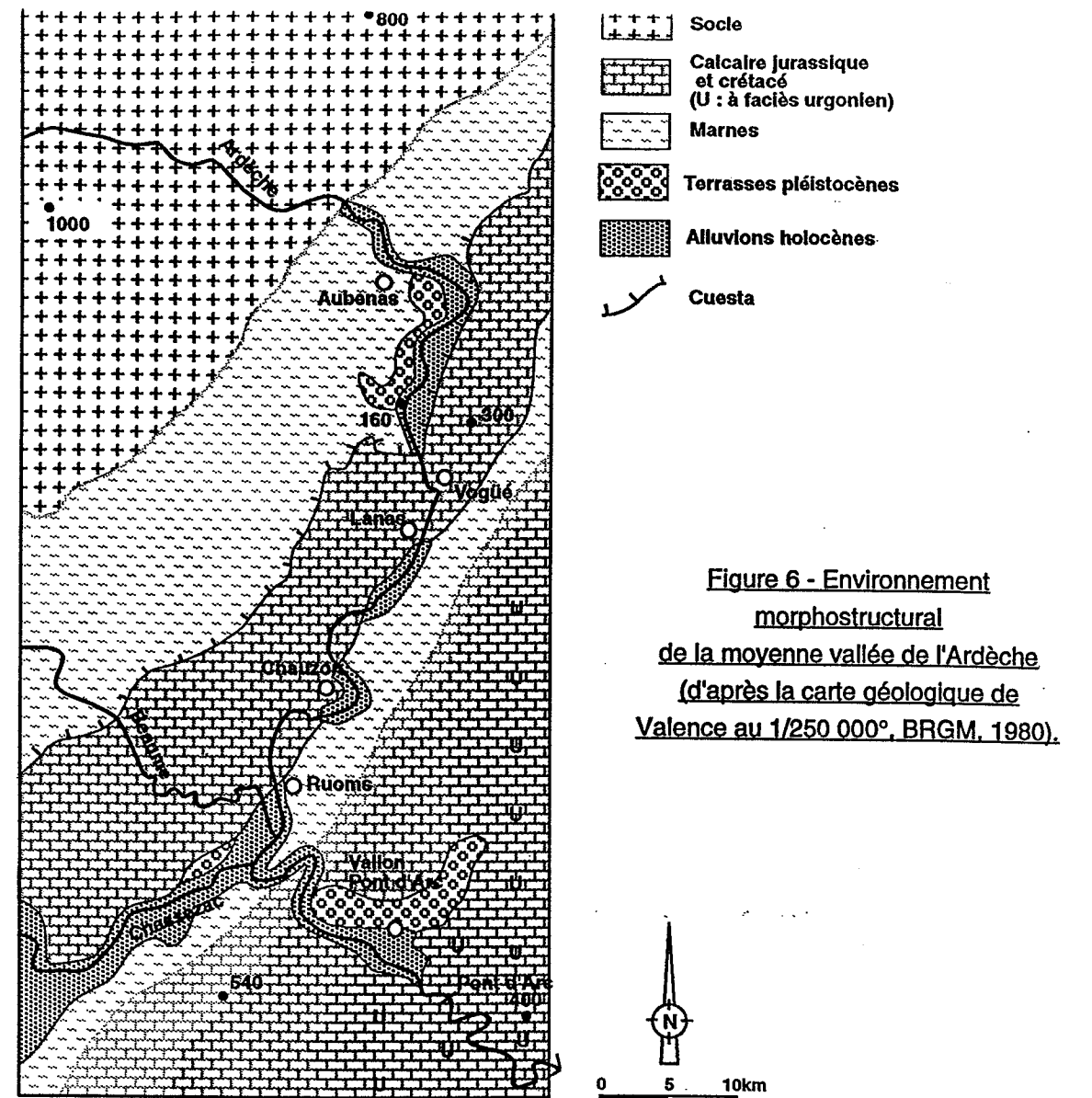
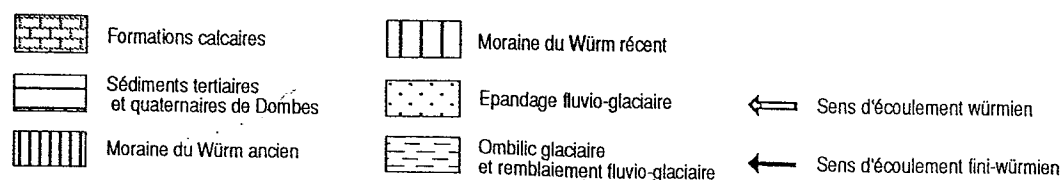


Figure 6 - Environnement morphostructural de la moyenne vallée de l'Ardèche (d'après la carte géologique de Valence au 1/250 000°, BRGM, 1980).

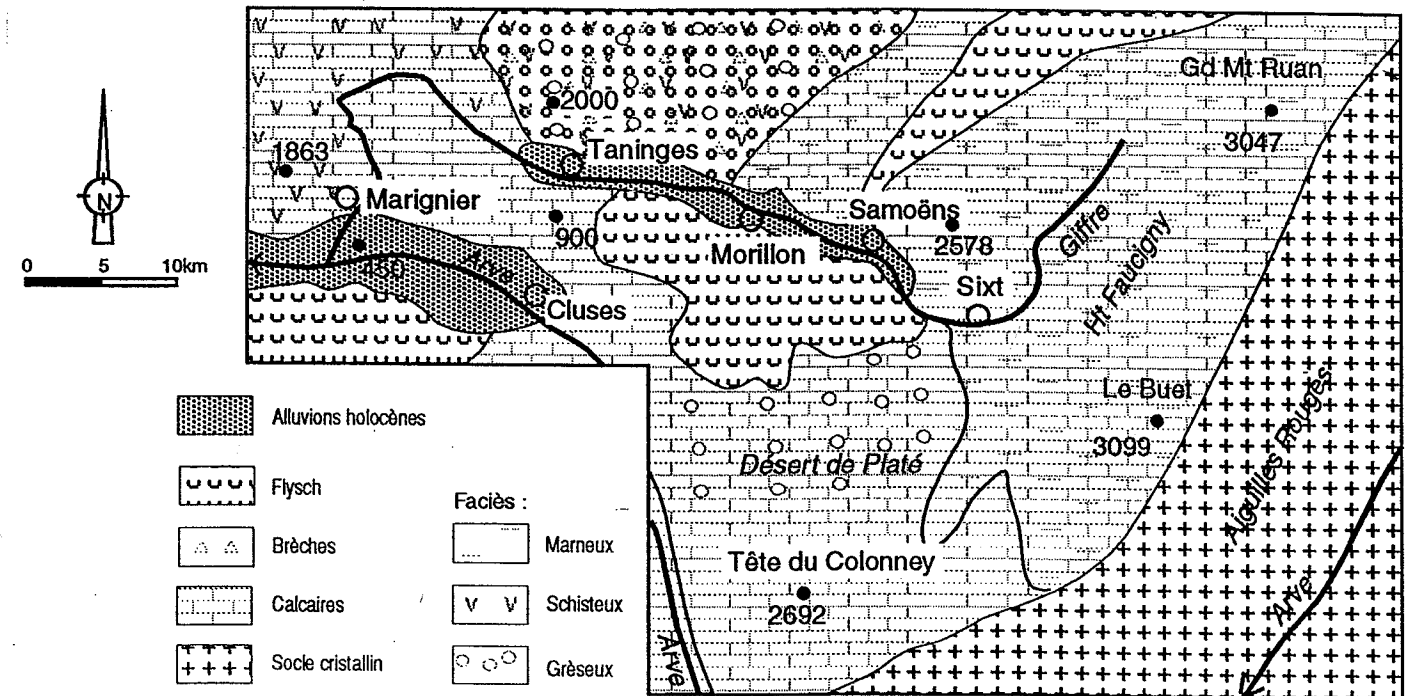


Figure 7 - Environnement morphostructural de la moyenne vallée du Giffre (d'après la carte géologique de Thonon-les-Bains au 1/250 000°, BRGM, 1985).

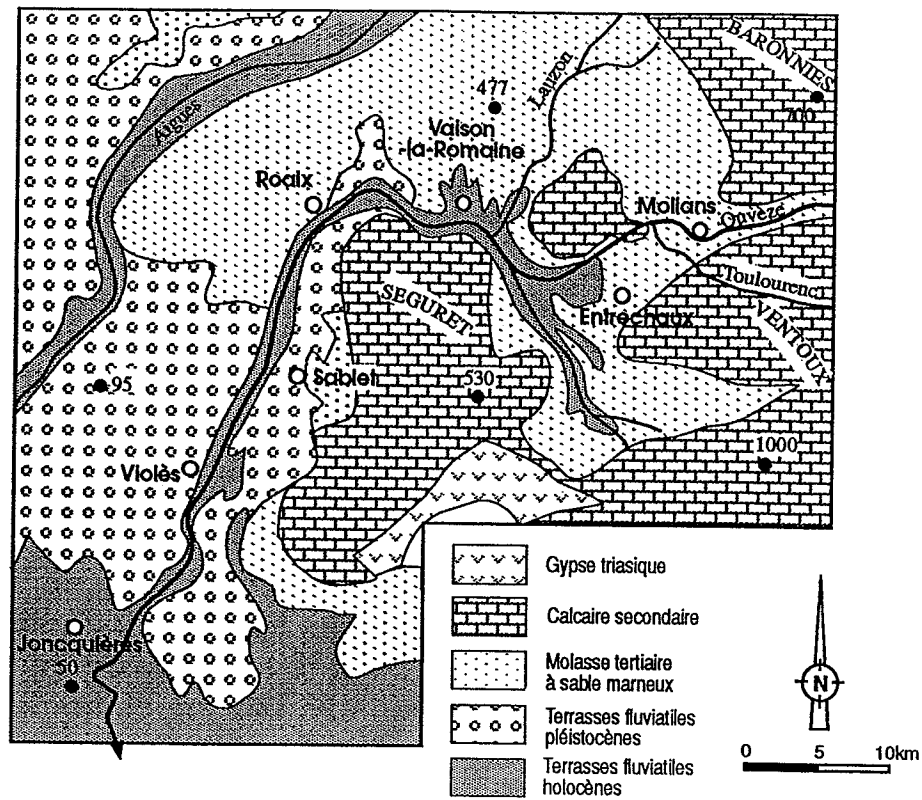


Figure 8 - Environnement morphostructural de la moyenne vallée de l'Ouvèze (d'après la Carte géologique de Valence au 1/250 000°, BRGM, 1980).

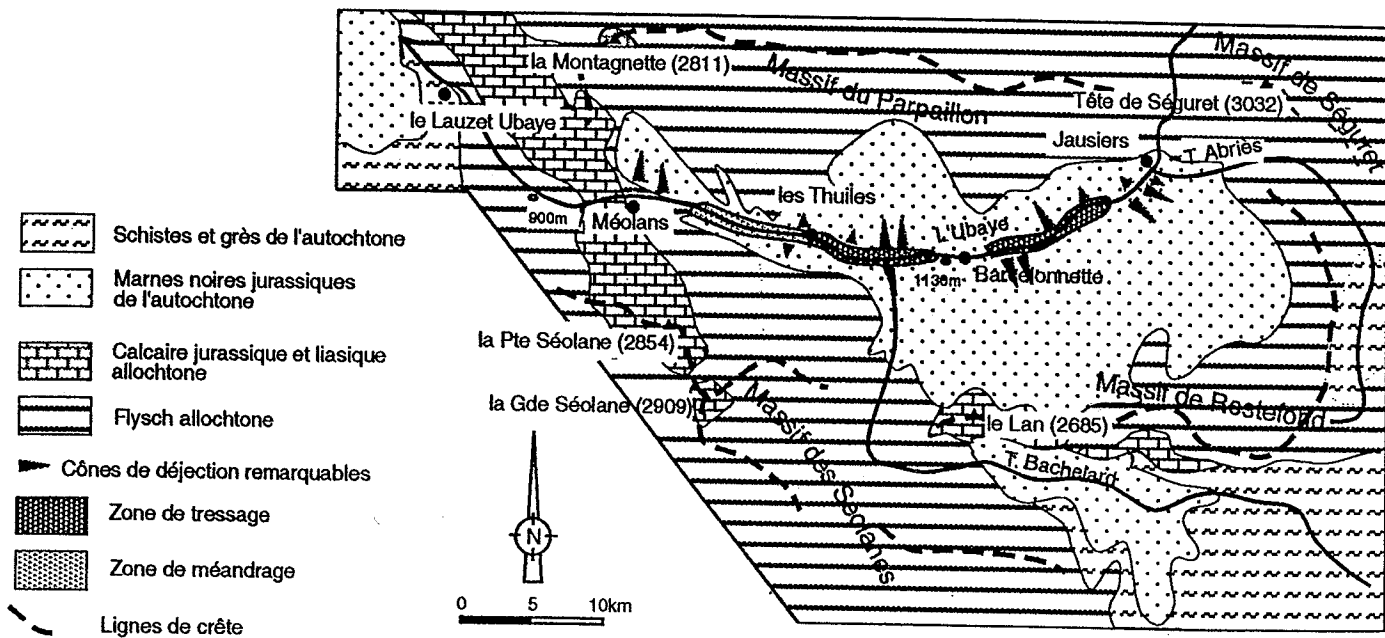


Figure 9 - Environnement morphostructural de la moyenne vallée de l'Ubaye (d'après la Carte géologique de Barcelonnette au 1/50 000°, BRGM, 1972).

## 2. Le cadre hydrologique

La présentation hydrologique proposée s'appuie sur les données de la banque hydrologique du Ministère de l'Agriculture. Les périodes de référence sont parfois courtes mais ces données sont fiables. Par ailleurs, les différentes études hydrologiques et l'importante contribution de J. Tricart sur l'Ubaye (1958, 1959) et de M. Pardé (1925) sur l'ensemble du bassin du Rhône viennent conforter les informations brutes.

Les cinq rivières étudiées présentent des caractères hydrologiques relativement différents (tab. 3). Après avoir présenté brièvement les régimes hydrologiques, nous nous attacherons aux caractéristiques des crues dont les capacités morphogénétiques sont fondamentales dans le fonctionnement du corridor boisé de ces hydrosystèmes.

Tableau 3 - Caractères hydrologiques généraux, stations de mesure et périodes d'enregistrement.

|   | AIN                                | ARDECHE                          | GIFFRE                     | OUVEZE                           | UBAYE                       |
|---|------------------------------------|----------------------------------|----------------------------|----------------------------------|-----------------------------|
| Régime hydrologique (Pardé, 1925)   | régime pluvial à composante nivale | régime méditerranéen de montagne | régime nival de transition | régime méditerranéen de montagne | régime nival de transition  |
| Station hydrologique  | Chazey-sur-Ain                     | Vogüé                            | Taninges-Pressy            | Vaison-la-Romaine                | Barcelonnette               |
| Bassin Versant à la station (en km <sup>2</sup> )                           | 3630                               | 636                              | 325                        | 586                              | 549                         |
| Période d'étude   | 1961-1993                          | 1965-1989                        | 1948-1988                  | 1971-1991                        | 1903-1990                   |
| Module (m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> )                                   | 122                                | 26,2                             | 18,7                       | 5,2                              | 10,9                        |
| Débit inst. de fréq. 1.5 an* (en m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> )          | 820 (B.H.**)                       | 605 (B.H.)                       | 117 (Sogreah, 1988)        | 92 (B.H.)<br>126 (Merlin, 1989)  | 62 (B.H.)                   |
| Débit inst. de fréq. 10 ans* (m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> )(B.H.)*      | 1500                               | 1300                             | non renseigné              | 220                              | 130                         |
| Débit inst. de fréq. 10 ans* (en m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ) (études) | 1750 (Sogreah, 1976)               | 1170 (Cédrat, 1984)              | 275 (Sogreah, 1988)        | 243 (Merlin, 1989)               | 143 (Cémagref et al., 1993) |
| Coeff. de torrentialité (pour Q <sub>10</sub> inst.)                        | 12-14                              | 45-50                            | 14                         | 40-45                            | 12-13                       |
| Précipitations annuelles (en mm)  | 1100<br>Ambérieu                   | 1097<br>Aubenas                  | 1638<br>Samoëns            | 845<br>Buis les B.               | 735<br>Barcelonnette        |

\* d'après la loi d'ajustement de Gumbel; \*\*B.H. : banque HYDRO

### 2.1 Les caractères hydrologiques généraux

Le volume et la répartition annuelle des débits diffèrent sensiblement d'une rivière à l'autre (fig. 10).

L'Ain se distingue par l'importance des débits écoulés; le module dépasse les 120 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>. L'Ardèche, le Giffre et l'Ubaye au module plus modeste (10 à 25 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>) forment un groupe intermédiaire. L'Ouvèze se distingue par l'indigence de ses écoulements. La répartition saisonnière oppose le Giffre et l'Ubaye, aux hautes

eaux de printemps, à L'Ouvèze et l'Ain, aux maxima d'hiver et de début de printemps, ou à l'Ardèche, au maxima d'octobre.

L'Ain est un cours d'eau au régime irrégulier, torrentiel, dominé par l'influence de la pluie (1 115 mm de précipitations annuelles à Ambérieu-en-Bugey). Aussi, son régime est qualifié de pluvial (Pardé, 1925), voire de pluvio-nival (Pagney, 1988) compte tenu du fait que les hautes eaux d'hiver s'étendent sur le début du printemps. Avec un débit spécifique de 40 l/s/km<sup>2</sup> et un coefficient d'écoulement compris entre 70 et 75%, l'Ain présente des caractères hydrologiques influencés par le karst jurassien.

L'Ardèche est un cours d'eau dont "les inégalités méditerranéennes sont poussées à l'extrême". Des étiages faméliques précèdent une période de hautes eaux à l'automne. M. Pardé qualifie ce régime de "montagnard méditerranéen" avec trois périodes caractéristiques marquées : un maximum d'automne considérable, un maximum secondaire de début de printemps et un minimum d'été. Si les maxima sont liés à la pluie, ils sont aussi liés à la neige c'est pourquoi M. Pagney attribue également à l'Ardèche un régime pluvio-nival. L'hydrologie de l'Ouvèze est également typique des montagnes méditerranéennes. Son régime capricieux et violent rappelle les torrents cévenols. Néanmoins, Les maxima sont observés en période d'hiver et de printemps.

Le Giffre dispose d'un régime nival caractérisé par un débit d'étiage hivernal et des crues de fin de printemps. Le débit est soutenu en été en raison des pluies. Depuis 1972, l'influence glaciaire sur le régime a cessé, à la suite du captage des écoulements sous-glaciaires des glaciers du Prazon et du Ruan (3 km<sup>2</sup>) et de leur dérivation en direction de la retenue d'Emosson, puis du Haut-Rhône suisse (Edouard et Vivian, 1984). Comme les hautes eaux se situent en mai et qu'il existe des crues hivernales, le régime est plus défini comme un régime alpin de transition que nival classique (Pardé, 1925). Le Giffre est parmi les rivières les mieux alimentées des Alpes. Son bassin, adossé vers le Nord-Est et l'Est à des montagnes bien plus hautes que celles du Sud-Ouest est exposé à des pluies abondantes. Samoëns reçoit plus de 1600 mm de précipitations par an et le Giffre est la rivière d'étude la plus arrosée. Entre 2000 et 2500 m (16% du bassin versant se situe à plus de 2000m), les précipitations atteignent près de 3000 mm/an (Pardé, 1925).

Sur l'Ubaye, le rôle de la neige est certes important et explique des maxima de mai à juin mais il se combine à des maxima secondaires, pluviaux, d'automne caractéristiques de l'influence méditerranéenne. Cette rivière présente ainsi un régime nival de transition (Pardé, 1925), "un ruissellement pluvial méditerranéen à régime nival majeur" (Pagney, 1988). Située dans les Alpes internes méridionales, cette région est marquée par une pluviosité est moins forte que celle des Alpes du nord. Avec 735 mm de précipitations par an à Barcelonnette, l'Ubaye est la rivière d'étude la moins arrosée.

## 2.2 Les types de crues

Trois principaux types de crue caractérisent les cours d'eau étudiés : les crues océaniques, les crues cévenoles et les crues de printemps.

- **Les crues océaniques**, observées notamment sur l'Ain, sont liées aux vents d'ouest et de sud-ouest. Elles se déroulent durant la saison froide et sur des pentes exposées à l'ouest. Elles sont redoutables sur l'Ain où 75% des crues se déroulent d'octobre à mars, février et novembre enregistrant chacun 20% de l'ensemble des crues (fig. 11). Le coefficient de torrentialité, calculé pour un débit de fréquence décennale (Q<sub>10</sub> / Q moyen annuel), est voisin de 12. Alors que le module n'est que de 122 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>, la crue de fréquence décennale atteint 1500 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>.

Les crues océaniques constituent des épisodes très rapides puisque le maximum est atteint en moyenne en 36 h à Pont d'Ain et en 40 h à Chazey. En février 1990, le débit de l'Ain est ainsi passé de 125 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> à Chazey dans la nuit du 13 au 14 à 2000 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> dans la journée du 15 (fig. 12).

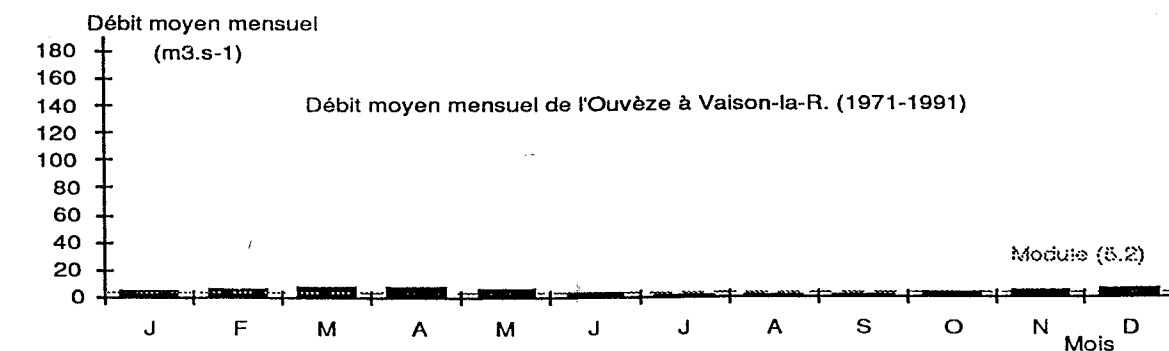
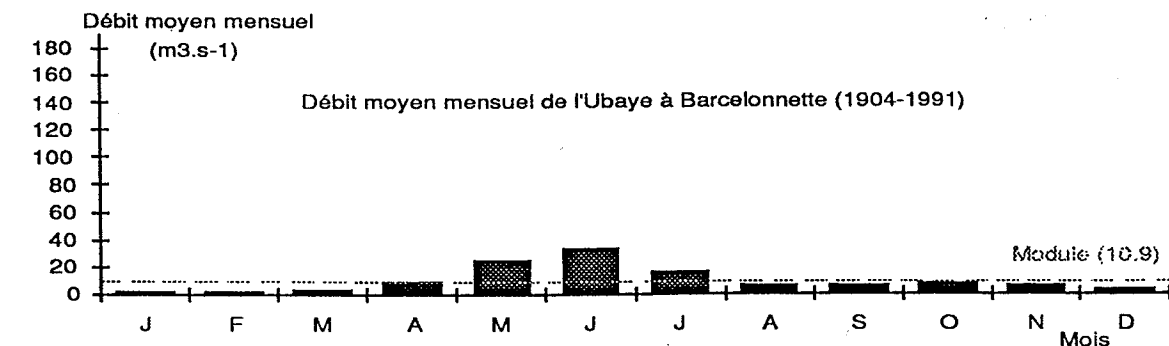
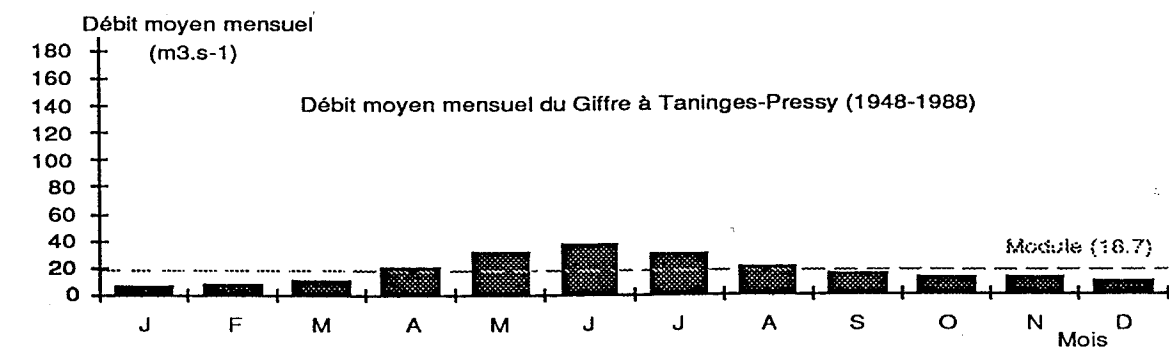
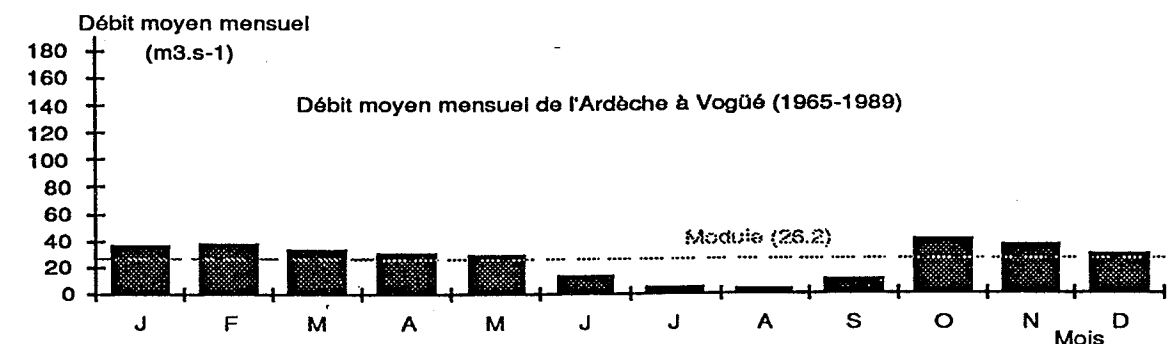
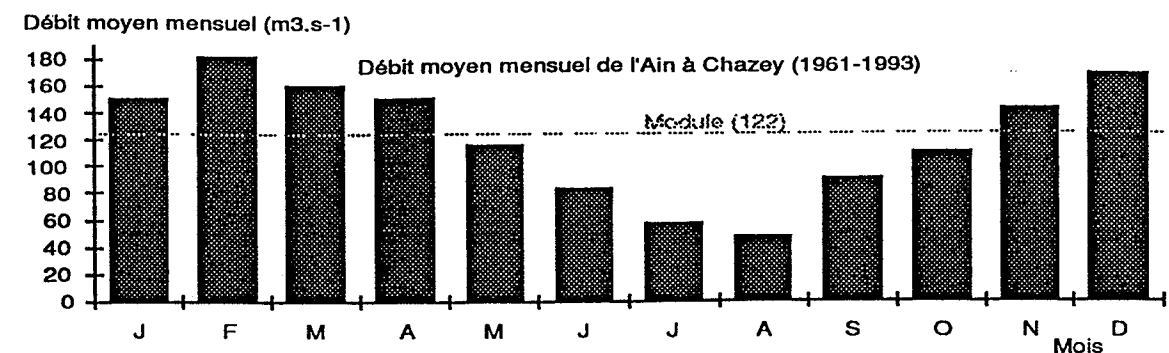


Figure 10 - Débit moyen mensuel des cinq rivières étudiées (d'après les données de la Banque Hydro)



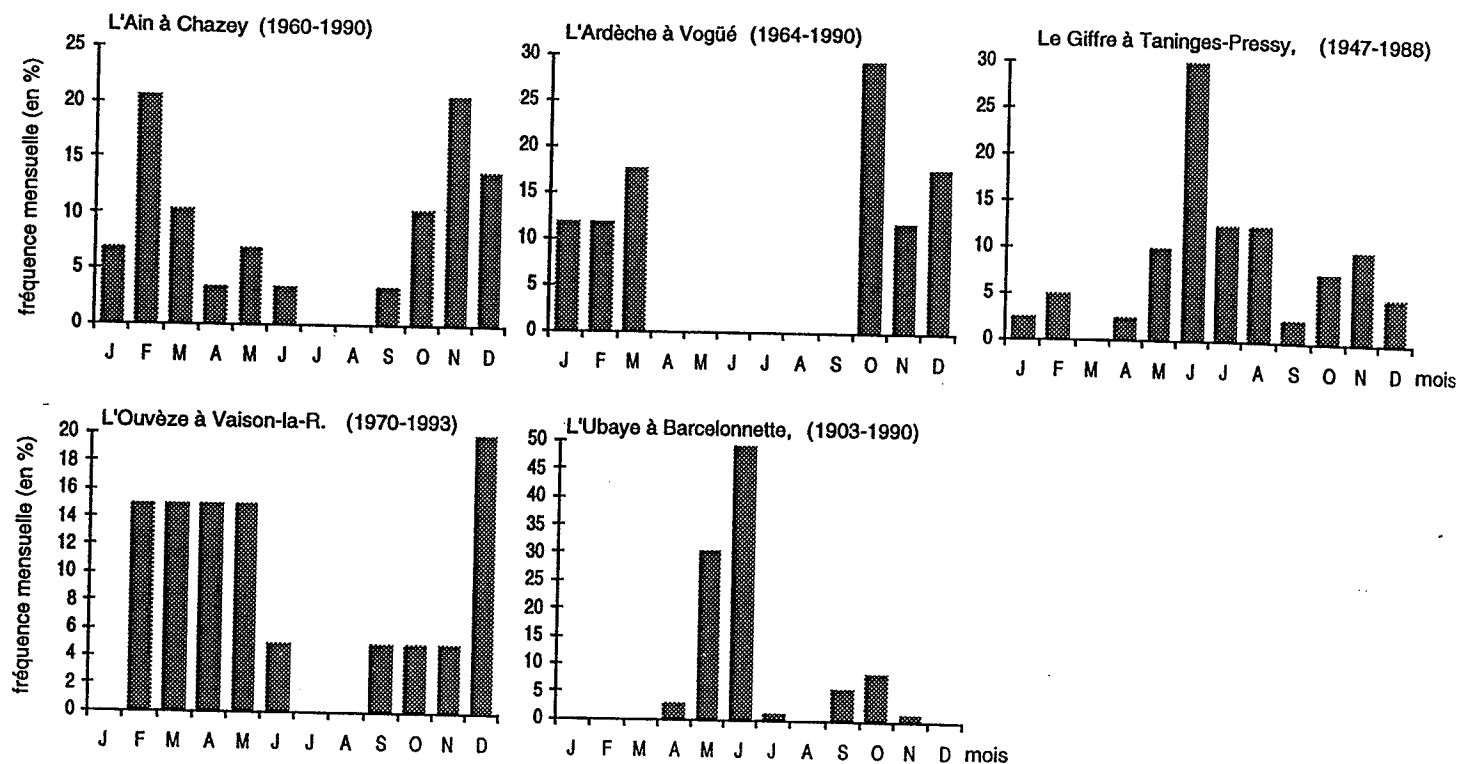


Figure 11 - Fréquence mensuelle du débit maximal journalier (d'après la Banque Hydro)

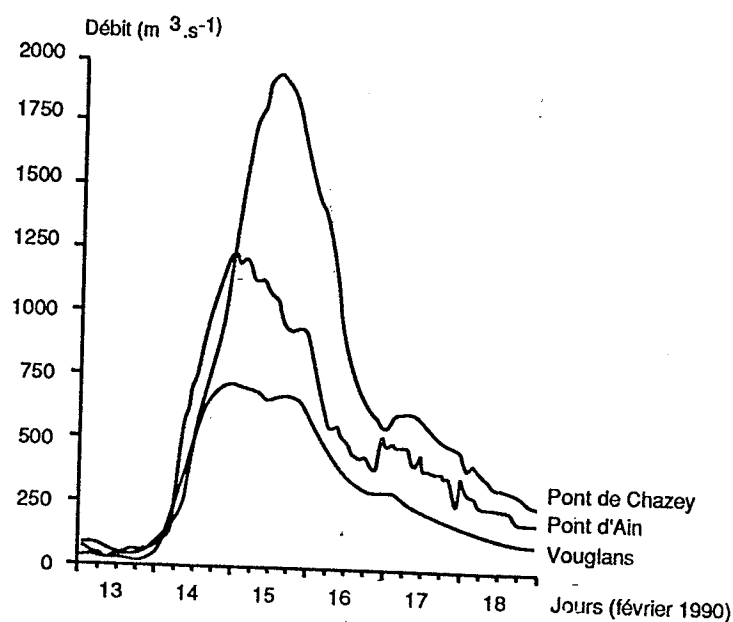


Figure 12 - Hydrogrammes observés durant la crue du 14-02 au 18-02 1990 sur le bassin de l'Ain (d'après EDF, 1990)

- **Les crues cévenoles sont des crues méditerranéennes violentes**, caractéristiques de l'Ardèche et l'Ouvèze.

Elles sont dues à des arrivées nuageuses issues de la Méditerranée et poussées par des vents du Sud et du Sud-Est. Elles ont lieu à l'automne et agissent à l'aval de Lyon.

30% des crues de l'Ardèche se déroulent en octobre mais le printemps est également une saison propice, le mois de mars enregistrant 17% des crues (fig. 11). Avec une alimentation certes plus médiocre en eau moyenne et en crue, le bassin de l'Ouvèze est marqué par des averses d'automne excessives (Pardé, 1925). En revanche depuis 30 ans une faible fréquence des crues automnales est observée. 4% seulement des crues sont enregistrés pour chacun des mois de cette saison contre 20% en décembre et 15% pour chaque mois de printemps. Le suivi hydrométrique depuis 1970 permet de proposer un débit décennal instantané de  $220 m^3 \cdot s^{-1}$ . Cette série reste encore bien maigre pour estimer la périodicité des fortes crues, la position de la crue du 22 sept. 1992 (entre 800 et  $1000 m^3 \cdot s^{-1}$ ) sur la droite de Gumbel, montre bien que les données nécessaires à un bon ajustement font défaut (fig. 13).

La violence des crues "cévenoles" est maximale entre le 10 septembre et le 22 octobre. Ce phénomène est catastrophique quand une sécheresse importante précède la crue ou quand la crue fait suite à une autre du même genre. Les précipitations sont exceptionnelles, de forte intensité car liées à une ascendance orographique (barrière des Cévennes, du Ventoux...) et à une brusque différence de température entre la Méditerranée encore chaude et les crêtes montagneuses froides. Cette violence est parfaitement illustrée par les coefficients de torrentialité exceptionnels qui atteignent, pour la crue de fréquence décennale, 49,6 sur l'Ardèche et 42,3 sur l'Ouvèze. En outre, la pente des droites d'ajustement de Gumbel (fig. 13), plus faible sur ces deux rivières que sur les autres, révèle une augmentation très rapide des débits corrélativement à leur fréquence de retour.

Sur les Cévennes, une seconde cause, d'ordre morphostructural, vient accentuer encore le phénomène. Le haut bassin granitique est imperméable et caractérisé par un fond de vallée et des versants à forte pente et un coefficient de drainage élevé, une convergence des écoulements; le bassin de l'Ardèche constitue un véritable entonnoir qui peut recevoir 1500 voire 2000 à 2500 mm/an de précipitations sur ses parties hautes. Ceci explique que la réponse des écoulements aux précipitations soit brutale et que de nombreuses victimes soient ainsi recensées lors des fortes crues : 600 en 1522; 30 en 1927; 2 en 1846; 7 en 1857; 8 à 10 en 1859; 4 en 1878; 35 en 1890; 4 en 1992.

- **Les crues de printemps** sont caractéristiques des cours d'eau de montagne tels que le Giffre ou l'Ubaye. Comme le montrent les chroniques historiques, les crues se produisent en toute saison sur le Giffre (Mougin, 1914 ; Pardé, 1925). Néanmoins, la fin du printemps et l'été est la période la plus propice, Juin concentrant 30% des crues. Un mode secondaire se manifeste en novembre. Sur l'Ubaye, 80% des crues ont lieu en mai et juin, un léger mode secondaire marquant à nouveau le début de l'automne (fig. 11).

Ces crues sont caractérisées par une certaine violence et le coefficient de torrentialité, estimé pour le débit de fréquence décennale, est voisin de 14 sur le Giffre et de 12-13 sur l'Ubaye (tab. 3). La géologie de cette dernière la prédispose à un régime torrentiel; les terrains sont friables et la végétation a beaucoup de difficulté à les coloniser.

J. Tricart (1958) a beaucoup étudié la crue "millénaire" qui a touché les Alpes du Sud en Juin 1957. Il s'agit d'une crue de printemps typique, combinant des pluies et la fusion du manteau neigeux, qui fut d'une extrême violence. Estimée à  $480 m^3 \cdot s^{-1}$  à Barcelonnette, la crue aurait un module spécifique de  $870 l/s/km^2$ . Elle n'est pas unique mais s'inscrit dans une série de fortes crues de printemps : 11 mai 1836, 16 mai 1846, 29 et 30 mai 1853, 30 mai 1856 (débit évalué à  $1300 m^3 \cdot s^{-1}$  au Lauzet par Imbeaux). En 1957, l'auteur note une disproportion entre la nature banale des circonstances météorologiques et le caractère exceptionnel de la crue. Il relève un faisceau de causes. Le mois de mai, humide (les sols sont saturés en eau) et frais (la fusion neigeuse est réduite), prépare la crue. Entre 2000 et 2300m, les fortes pluies ruissellent sur le manteau neigeux et le

coefficient d'écoulement est proche de 100%. La fusion de ce manteau est accélérée et libère une lame d'eau importante. La crue arrive toute formée depuis les hauteurs avec une puissance inouïe.

Les crues d'automne, qui sont également reconnues sur ces rivières, se distinguent des crues de printemps; elles n'atteignent pas la même ampleur car elles interviennent en l'absence de neige et sur des sols séchés par l'été

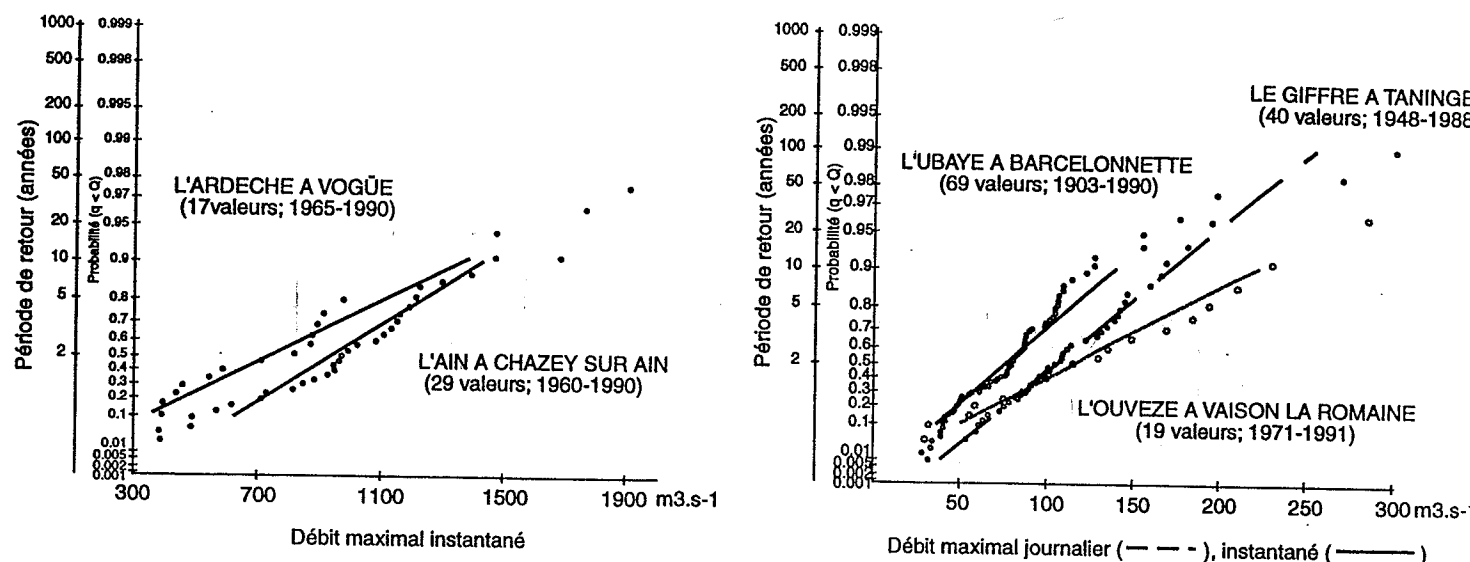


Figure 13 - Fréquence de retour des pics de crue des cinq rivières d'étude (droites d'ajustement à la Loi de Gumbel, d'après la Banque Hydro)

### 3. Cadre et Indicateurs morphodynamiques

Le fonctionnement de la forêt alluviale est étroitement dépendant de la morphodynamique des rivières étudiées. La migration latérale du chenal permet, par son action de construction et de destruction des formes fluviales, de préserver au sein d'un même tronçon tous les stades de la succession écologique. Aussi, esquisser une analyse du style géomorphologique et évaluer l'énergie hydraulique potentielle de chaque hydrosystème semblent un préalable nécessaire.

#### 3.1 Données bibliographiques

Différents auteurs ont établi des relations de paramètres physiques et défini des seuils de différenciation des styles fluviaux. Ainsi, méandrage et tressage peuvent être distingués en corrélant la pente ( $S$ ) et le débit à plein bord ( $Q_{pb}$ ) (Leopold et Wolman, 1957; Lane, 1957; Kellerhals et Church, 1986), l'indice de puissance et la médiane des matériaux du lit (Richards, 1982). Un débit théorique, de fréquence 1,5 an, est généralement retenu pour estimer le débit à plein bord.

La puissance hydraulique peut être considérée comme un descripteur morphodynamique tout à fait intéressant. Il s'agit d'un taux d'énergie potentielle fournie à un lit par l'eau écoulée. On distingue la puissance brute ( $\Omega$ ) et la puissance spécifique ou unitaire ( $\omega$ ). Celle-ci est pondérée par la largeur du tronçon et permet une comparaison des organismes que's que soient leur rang. (Bagnold, 1966). Les formules sont les suivantes :

$$\Omega = \rho g Q S$$

où  $\Omega$  est la puissance brute (en  $W.m^{-1}$ ),  $Q$ , le débit à plein bord (en  $m^3.s^{-1}$ ),  $S$ , la pente (en  $m/m$ ),  $\rho$ , la masse volumique de l'eau ( $1000 \text{ kg/m}^3$ ) et  $g$ , l'accélération de la pesanteur ( $9,81 \text{ m.s}^{-1}$ ).

$$\omega = \Omega / L$$

où  $\omega$  est la puissance unitaire (en  $W.m^{-2}$ ), et  $L$ , la largeur du tronçon (en  $m$ ).

Les chenaux inactifs de plaine disposent d'une puissance spécifique comprise entre 1 et 6  $W.m^{-2}$  (Ferguson, 1981). Selon A. Brookes (1988), 35  $W.m^{-2}$  serait un seuil en dessous duquel les rivières ne seraient pas capables de s'autoajuster en cas de perturbations liées à des aménagements.

R.I. Ferguson (1981) montre l'intérêt de mettre en relation  $Q/L$  et  $S$ . Selon lui, la ligne d'égale puissance permettant de distinguer le tressage et le méandrage serait comprise entre 30 et 50  $W.m^{-2}$  pour un débit de fréquence 2 ans. Son analyse repose sur l'équation de L.B. Leopold et M.G. Wolman. Ceux-ci ont montré que pour un débit plein bord donné, les rivières tressent à partir d'une certaine pente. Ils proposent ainsi la relation suivante

$$S = 0,013 Q^{-0,44}$$

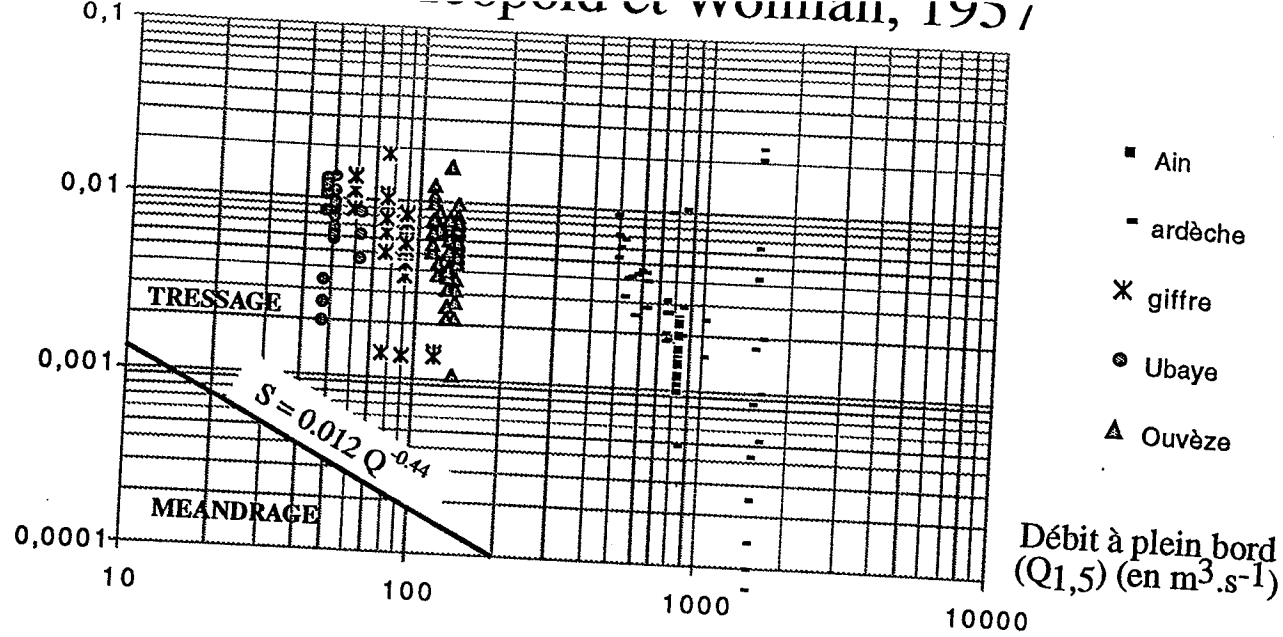
qui correspond, selon R.I. Ferguson, à une puissance spécifique de 50  $W.m^{-2}$  sur les rivières anglaises où s'établit la relation  $L \cong 3 Q^{0,5}$ .

### 3.2 Indices morphodynamiques et style fluvial

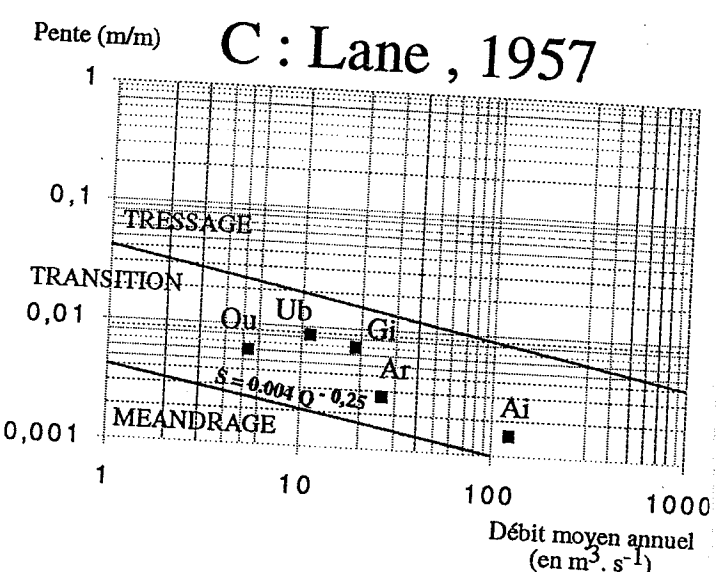
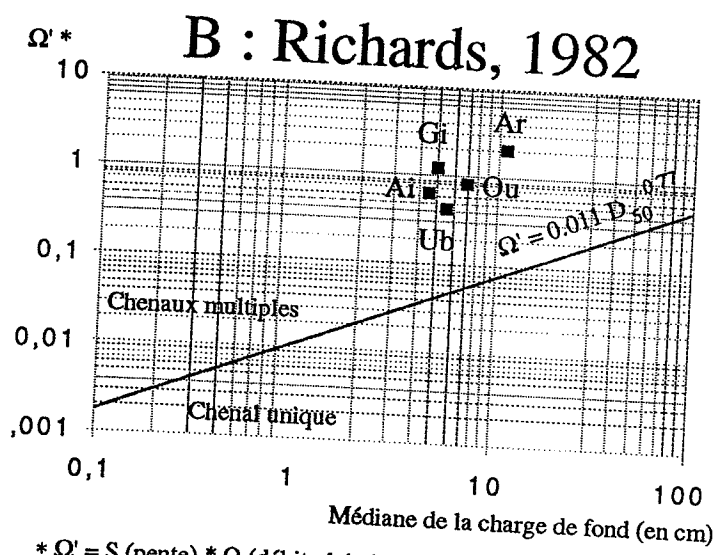
La relation du débit à plein bord et de la pente montre que les cinq rivières étudiées se placent parmi les cours d'eau à tressage actif (fig.14 A). Même le tronçon Ruoms - Vallon, largement calé par des seuils hydroélectriques, serait une zone potentielle de tressage. La relation de K. Richards (fig.14 B) confirme cette première analyse. Les cinq rivières se situent au dessus de la droite  $\omega^1 = 0.011 D_{50}^{0.77}$ . La relation entre l'indice de puissance et la médiane des sédiments les classe donc parmi les rivières à chenaux multiples. Seule, la relation de E.W. Lane, basée sur le débit moyen annuel et la pente (fig.14 C), pondère ces observations et classe ces rivières parmi un ensemble de transition entre tressage et méandrage.

Quant au modèle de A. Brookes (fig. 14 D), il met clairement en évidence des rivières de forte à très forte énergie. La largeur de la bande active de l'Ubaye et de l'Ouvèze atténuent leur puissance spécifique et les placent en deçà de la ligne d'égale puissance 100  $W.m^{-2}$  mais bien en dessus des 35  $W.m^{-2}$  qui marquent la transition avec les rivières incapables de s'autoajuster.

Les résultats proposés sur l'Ain sont légèrement divergents de ceux de l'étude de 1990 (Bravard *et al.*, 1990). La médiane des galets était alors estimée à plus de 10 cm sur une moyenne de 10 échantillons prélevés sur des bancs émergés pour un débit de 100  $m^3.s^{-1}$  contre seulement 5 cm retenu ici sur des échantillons observés en trois points dans la partie amont, à granulométrie pourtant relativement grossière, des bancs de convexité de Blyes et de Mollon. Le débit à plein bord ( $Q_{1,5}$ ) avait été estimé à 500  $m^3.s^{-1}$  alors que d'après la banque HYDRO (ajustement à la droite de Gumbel), il serait de 820  $m^3.s^{-1}$ . En revanche, l'analyse repose sur la même valeur de pente qui est estimée à 0,13 - 0,14% pour l'ensemble de la basse vallée. Ceci nous conduit cependant aux mêmes conclusions. Sur les diagrammes de L.B. Leopold et M.G. Wolman, de K. Richards et de A. Brookes, l'Ain est identifié comme une rivière à tresses, à chenaux multiples. C'est également une rivière de haute énergie qui se place au dessus de la ligne d'égale puissance 100  $W.m^{-2}$  sur le diagramme de A. Brookes.



Photographie 5 - La bande active de l'Ouvèze à l'amont du pont de Sablet.



\*  $\Omega' = S$  (pente) \*  $Q$  (débit plein bord)

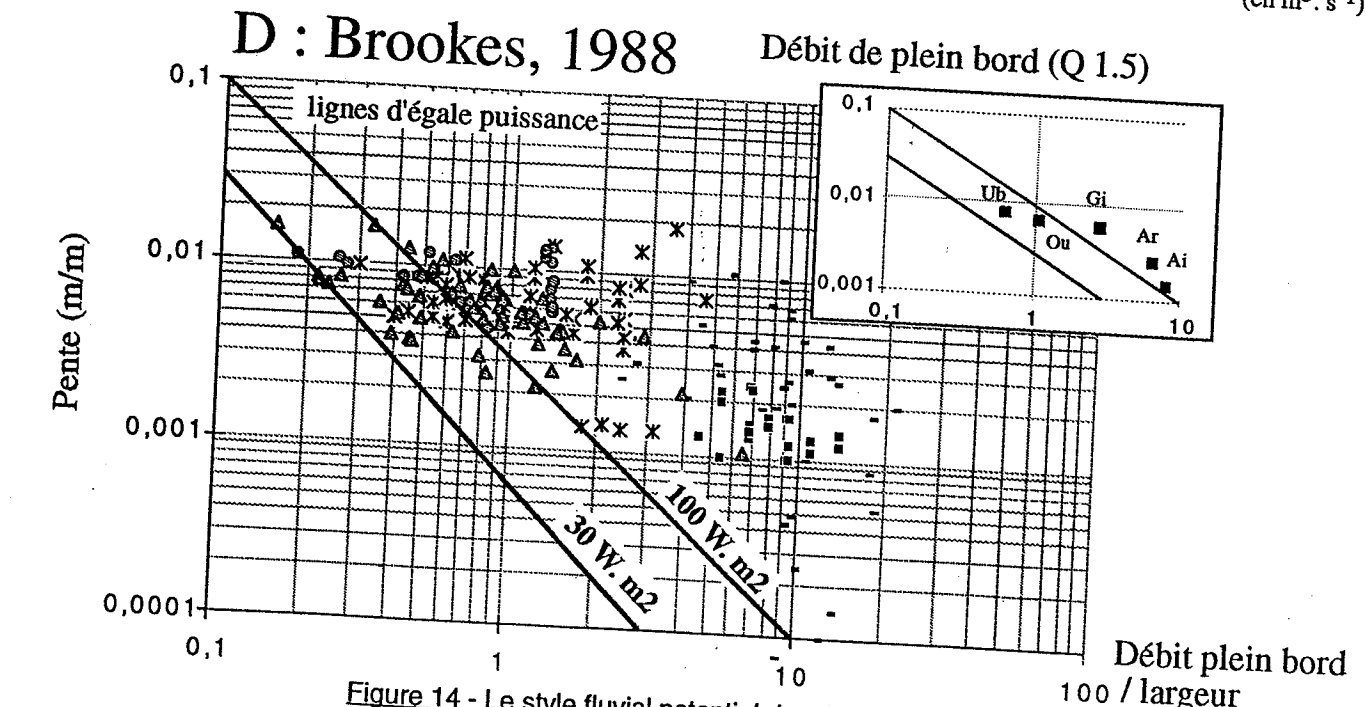


Figure 14 - Le style fluvial potentiel des rivières d'étude, (d'après quelques modèles descriptifs)



Photographie 6 - La bande active de l'Ubaye à l'amont de la confluence avec le torrent du Rioclar {prise de vue depuis la rivedroite}.

Les cinq rivières étudiées présentent une énergie potentielle importante leur permettant de s'autoajuster à toutes modifications de l'un ou l'autre de leurs paramètres physiques. D'après leur granulométrie, leur pente et leur débit, elles disposent potentiellement d'un style en tresses (photographies 5 et 6). C'est effectivement le cas de l'Ubaye et du Giffre alors que les autres rivières auraient plutôt un style intermédiaire à chenal unique et à sinuosité marquée.

### 3.3. La sectorisation d'après les puissances hydrauliques

Les puissances spécifiques sont d'une grande utilité pour reconnaître la sectorisation fonctionnelle d'un hydrosystème (Landon *et al.*, 1993; Calland *et al.*, 1994). Cette analyse longitudinale est proposée, selon les rivières, pour des segments élémentaires de 250, 500, voire 1000 m de longueur (fig. 15). Les profils en long les plus récents et la largeur de la bande active estimée sur photographies aériennes ont été utilisés. Sur l'Ardèche, l'étude n'est pas basée sur des segments dont la distance a été normalisée mais elle repose sur des données (largeur et superficie du bassin versant) fournies par le Cédrat (1984) sur une série de points.

- Globalement, sur l'ensemble des cours d'eau d'étude, plusieurs observations sont formulées :
- une extrême variabilité d'une rivière à l'autre et d'un tronçon de rivière à l'autre.
  - les tendances linéaires montrent qu'à l'échelle des tronçons étudiés, il y a une réduction de la puissance spécifique vers l'aval, le Giffre étant l'exemple le plus caractéristique.

Sur l'Ain, seul le secteur situé entre le pont de Gévrieux et la confluence est étudié (fig. 15). La puissance unitaire présente une très grande variabilité amont - aval. L'alternance régulière de zones à haute énergie (160-180  $W.m^{-2}$  à l'aval de Martinaz, au droit de Chazey et à l'aval de Port Galland notamment) et de zones de moindre puissance (90-100  $W.m^{-2}$  au droit de Mollon, de Blyes ou de Charnoz) confère à ce tronçon une plus grande homogénéité que celui des autres rivières d'étude.

Sur l'Ardèche, entre Aubenas et le Pont d'Arc, la puissance spécifique se réduit globalement vers l'aval alors que les disparités augmentent (fig. 15). Plusieurs secteurs s'individualisent. D'Aubenas à Balazuc, la puissance se réduit progressivement de 500-550 à 150-200  $W.m^{-2}$ . De Balazuc à Ruoms, les défilés (Balazuc - Pradons) sont marqués par des valeurs très élevées dépassant 500 et parfois atteignant 900  $W.m^{-2}$  alors que le secteur de la plaine de Chauzon ne dispose que de 150 à 200  $W.m^{-2}$ . En mettant en valeur les défilés, les puissances hydrauliques enregistrent donc bien les contraintes structurales locales. Des pics plus modestes, isolés les uns des autres, se succèdent à l'aval de Ruoms et correspondent aux seuils hydroélectriques. Les secteurs de retenue, à faible pente, disposent d'une puissance inférieure à 100  $W.m^{-2}$ .

Sur le Giffre moyen, la pente se réduit de l'amont (1,3-1,4% à l'amont du Clévieux) vers l'aval (de 0,4-0,5% à l'amont du pont de Taninges). La puissance unitaire permet de distinguer des tronçons (fig. 15). Quatre pics importants individualisent les zones endiguées : PK 3-6 (digue de la Rivière-Enverse), PK 8 (Pont de Morillon), PK 11-12 (passerelle de la Rebiolle / pont de Samoëns), PK 13 (amont du Clévieux). Dans ces secteurs à large énergie potentielle (150 à 200, voire localement 350  $W.m^{-2}$ ) est disponible. Entre le PK 3 et le PK 6, la zone endiguée, au lit étroit, dispose d'une puissance accrue mais dans une bien moindre mesure que les autres sections. En revanche, les espaces de divagation enregistrent des valeurs très inférieures, voisines de 40 à 50  $W.m^{-2}$ .

Sur l'Ouvèze, entre la confluence avec le Toulourenc et le Pont de Jonquières, l'étude des puissances unitaires permet de distinguer nettement quatre secteurs (fig. 15) :

- Le tronçon du Toulourenc à l'amont du Pont Romain de Vaison est marqué par une alternance régulière de maxima voisins de 200 à 250  $W.m^{-2}$  (leur valeur augmente régulièrement vers l'aval) et de minima voisins de 150-200  $W.m^{-2}$ . La distance séparant les pics de crue semble relativement constante (tous les km).

- La traversée de Vaison est marquée par une très nette augmentation des puissances qui atteignent des valeurs de 600  $W.m^{-2}$ .
- Le tronçon, de l'aval de l'agglomération de Vaison à l'aval de la confluence du ruisseau de Rasteau, présente les disparités les plus grandes; les valeurs dépassent localement les 500  $W.m^{-2}$  (maximum de 800  $W.m^{-2}$  au niveau du Pont de Roaix) et alternent avec des valeurs moyennes de quelques 300  $W.m^{-2}$  et des minima de l'ordre de 100-150  $W.m^{-2}$  qui se répartissent de manière homogène sur l'ensemble de ce tronçon.
- le tronçon du Ruisseau de Rasteau au pont de Jonquières est assez semblable au premier. Néanmoins, la puissance moyenne est plus faible (100-150  $W.m^{-2}$ ) et la distance moyenne entre les maxima (150-200  $W.m^{-2}$ ) est plus importante (2 km environ).

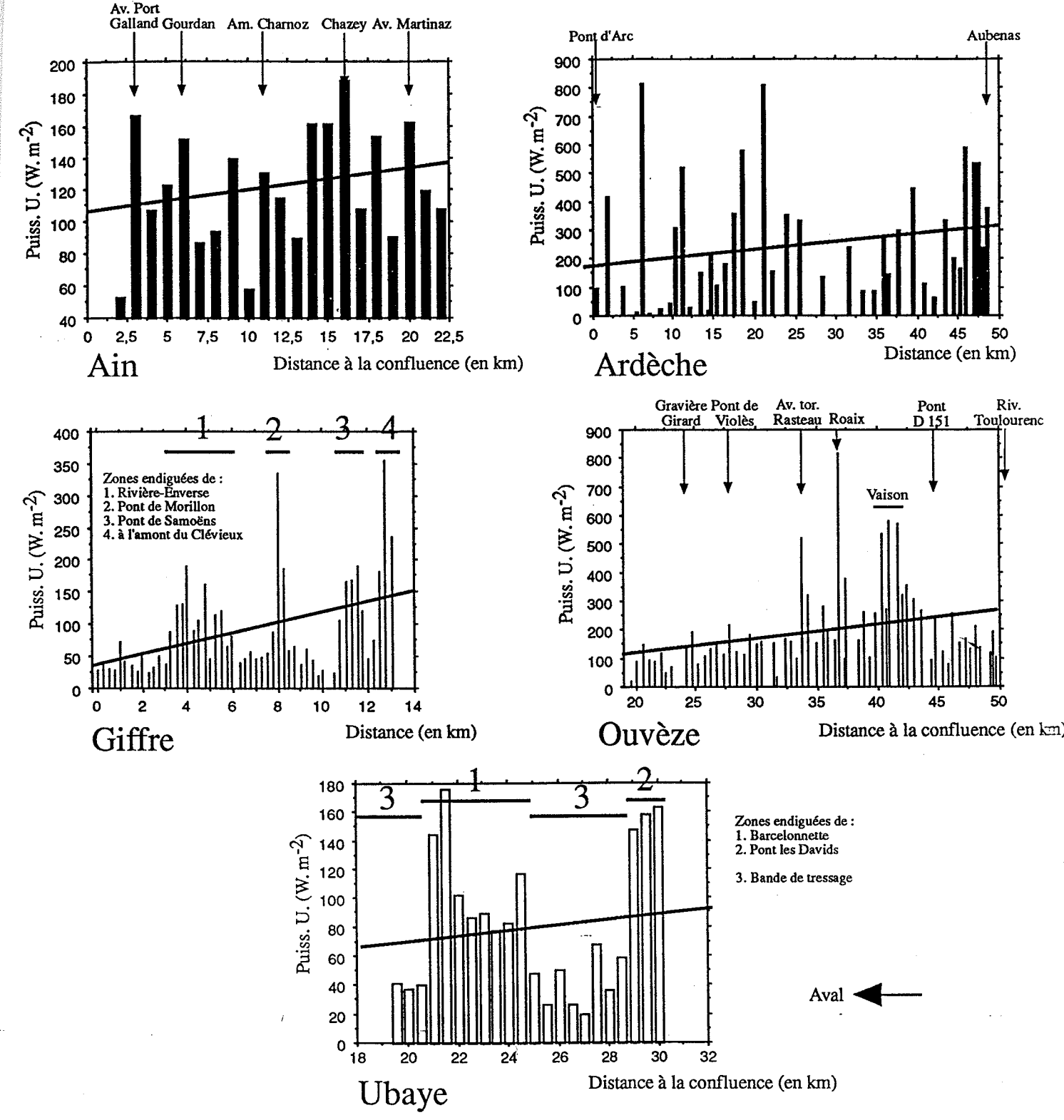


Figure 15 - Sectorisation morphodynamique esquissée à partir de la distribution longitudinale de la puissance spécifique

Sur l'Ubaye, seul le tronçon de Jausiers à l'aval du torrent du Bachelard est étudié sur la figure 15. 4 secteurs s'individualisent : deux disposent d'une puissance voisine de 30 à 40 W.m<sup>-2</sup>. Ces espaces de dissipation de l'énergie, situés à l'aval et à l'amont de Barcelonnette, présentent une bande active large. Deux autres tronçons disposent d'une puissance plus élevée de 100-120 (tronçon endigué de Barcelonnette) à 160 W.m<sup>-2</sup> (tronçon à l'aval de Jausiers) liée à une largeur réduite. L'utilisation du profil en long de 1908, le seul disponible à l'aval de Barcelonnette, permet enfin de proposer quelques valeurs de puissance pour le tronçon aval. Ainsi, entre les Thuiles et Le Lauzet, la puissance augmente progressivement passant de 400 à plus de 600 W.m<sup>-2</sup> dans la gorge aval.

#### 4. Les indicateurs physico-chimiques et écologiques

Quelques précisions concernant la qualité physico-chimique et les potentialités piscicoles de ces milieux aquatiques s'imposent enfin dans la présentation des rivières étudiées. En effet, certaines espèces piscicoles dépendent étroitement du bon fonctionnement morphodynamique de la rivière et de la préservation des différents stades de la succession et notamment des stades juvéniles. De plus, la qualité de l'eau, des flux débordants est également un facteur écologique non négligeable. Les nitrato-philes (*Solidago gigantea*, *Artemisia vulgaris*, *Urtica dioica*, *Rubus fruticosus*...) se développent par exemple sur les sédiments fins récemment déposés par la rivière.

L'Ain est une rivière de bonne qualité. Celle-ci s'explique par l'absence de grandes agglomérations ou de pôles industriels dans le bassin et l'existence d'un assez bon équipement des petites communes en matière d'assainissement. Si quelques points de pollution tels que les rejets non traités de Pont d'Ain et de Varambon ou la décharge de Varambon, sont encore à déplorer, la classe de qualité de l'eau est 1A.

Cette bonne qualité physico-chimique a permis le maintien d'une faune piscicole exceptionnelle. La rivière, rhéophile, est classée comme un cours d'eau de première catégorie piscicole. C'est une rivière remarquable du point de vue écologique qui présente une grande abondance de salmonidés à croissance rapide (Direction Départementale de l'Agriculture et Conseil Général de l'Ain, 1990). Le Hotu, le Barbeau et le Vairon sont les espèces dominantes en terme de biomasse. Néanmoins, c'est la présence de l'Ombre Commun, espèce en voie de disparition au niveau européen, qui fait la renommée de la rivière et explique qu'elle constitue un pôle d'attraction du tourisme halieutique.

L'Ardèche présente, dans son tronçon médian, une qualité de l'eau bonne à moyenne. Si la qualité est de 2 (moyenne) entre Saint-Didier et Vogüé, elle atteint 1B à l'amont et l'aval de ce tronçon.

C'est un cours d'eau aux potentialités écologiques médiocres, classé en seconde catégorie piscicole, à cyprins d'eau vive dominants (Direction Départementale de l'Agriculture et Conseil Général de l'Ardèche, 1989). La valeur écologique globale est un problème important en raison de l'altération du milieu et des peuplements sur l'ensemble du tronçon à l'exception des gorges de Balazuc et de Pradons. Le schéma propose une réhabilitation fondée notamment sur l'amélioration des débits d'étiage. De multiples altérations sont constatées au niveau :

- des habitats, en liaison avec les extractions qui ont touché l'ensemble du cours,
- de la qualité de l'eau surtout dans le coude d'Aubenas,
- de l'accentuation artificielle des débits d'étiage surtout dans le coude d'Aubenas et à l'aval de Ruoms.

Le Giffre médian dispose sur l'essentiel de son cours d'une eau de qualité moyenne (2). La qualité n'atteint la classe 1B qu'à l'amont de Morillon.

C'est une rivière à salmonidés qui offre de nombreuses frayères notamment sur le tronçon Rivière-Enverse - Foron de Taninges. Quatre espèces de Salmonidés sont présentes dans le milieu : la Truite fario qui est la souche autochtone, la Truite arc-en-ciel qui est introduite, l'Ombre Commun et le Saumon des fontaines. A la

suite des extractions massives en lit mineur, l'Ombre Commun est en voie de disparition (Direction Départementale de l'Agriculture et Conseil Général de Haute-Savoie, 1985).

L'Ouvèze dispose d'une eau de médiocre qualité. Elle est bonne (1B) à l'amont de Vaison, moyenne (2) entre Vaison et Bédarrides mais mauvaise (3) à l'aval. Ceci est lié à l'importance des rejets polluants d'origine domestique (Vaison notamment) et industrielle ainsi qu'à la faiblesse des débits d'étiage; il existe des assecs annuels à l'aval de Roaix (Merlin, 1989).

Il s'agit d'un cours d'eau de première catégorie piscicole à l'amont de Vaison mais de seconde catégorie à l'aval. De nombreux seuils, tels que le siphon du canal de Carpentras ou les ouvrages de Roaix et d'Entrechaux, ne sont pas franchissables (Direction Départementale de l'Agriculture et Conseil Général de Vaucluse, 1988). Les principaux problèmes sont liés à la qualité de l'eau (entreprises viticoles, décharges sauvages en lit majeur notamment à Violès ou au confluent Ouvèze - Vallat de Rasteau, nombreux campings sur l'ensemble du cours) et à l'altération des habitats à la suite des extractions excessives en lit mineur. Le tronçon situé à l'amont de Vaison est un secteur très perturbé par l'érosion régressive et l'enfoncement du lit; les habitats sont de moins en moins propices aux salmonidés.

La qualité des eaux de l'Ubaye se dégrade progressivement de l'amont vers l'aval. Elle est exceptionnelle (1A) à l'amont de Jausiers puis à l'aval, la classe 1B (bonne) alterne avec la classe 2 (moyenne). Cette dégradation se manifeste par un remplacement progressif d'une dominance faunistique "plécoptère - éphéméroptère" à l'amont de Barcelonnette à une dominance "tricoptère - diptère" à l'aval. La décharge de Faucon de Barcelonnette est reconnue comme l'un des facteurs de la dégradation.

Le diagnostic halieutique relève un certain nombre d'impacts sur l'écosystème aquatique (rejets polluants des agglomérations et des campings). Le milieu biologique est néanmoins riche et la rivière, rhéophile, abrite une population salmonicole abondante (*Salmo trutta L.*)(Cémagref et al., 1992).

Les rivières sélectionnées présentent de nombreuses dissemblances concernant la pluviosité régionale, l'hydrologique (régime, volumes d'eau écoulés) ou la géologie et la morphologie du bassin versant. Malgré tout, il s'agit de rivières importantes (rang 5 à 7 à la confluence), situées sur des plaines ou des piémonts alluviaux à forte pente et soumis à des crues violentes. Elles disposent d'un lit façonné dans des sédiments grossiers et d'un style, en tresses ou à méandres, propice à une grande diversité des biotopes. Il s'agit enfin de rivières rhéophiles dont l'eau est de bonne à moyenne qualité. Les habitats salmonicoles sont souvent dégradés à la suite d'extractions massives.

### III Les techniques d'approche

L'objet de ce point introductif est de présenter les différentes techniques d'approche utilisées. Elles sont appliquées à l'étude spatiale et historique, descriptive et explicative, du fonctionnement physique de la rivière notamment dans son compartiment forestier. Elles concernent également la gestion.

Elles s'appliquent à la collecte et à l'exploitation des données historiques tirées des documents d'archives, à des données de terrain, à une enquête d'opinion auprès des riverains.

Les techniques statistiques et cartographiques utilisées sont également présentées.

#### 1 Collecte et exploitation des documents d'archives

Les documents utilisables sont variés. Il peut s'agir de cartes ou de photographies, de données topographiques ou hydrologiques, de documents écrits.

##### 1.1 Les documents cartographiques et photographiques

Une approche synthétique à petite échelle et une approche temporelle, évolutive ne peuvent reposer uniquement sur des données de terrain. La recherche de documents cartographiques ou photographiques est nécessaire. Afin de comprendre la dynamique des systèmes fluviaux, elle précise les localisations et l'échelle de temps des changements morphologiques et biogéographiques. Aussi, l'évidence historique est nécessaire pour établir si la section d'un cours d'eau est stable ou non, pour délimiter des secteurs de mobilité, de stabilité..., pour dater l'ancienneté du chenal, de la plaine, de telle ou telle forme... (Hooke et Redmond, 1989).

Ainsi les données cartographiques et photographiques sont utilisées pour établir l'histoire de la plaine, comprendre et prévoir sa dynamique, identifier des zones potentiellement vulnérables.

##### 1.1.1 Les documents cartographiques

Les documents cartographiques disponibles sont nombreux et inégalement intéressants. Les cartes anciennes permettent de remonter au-delà d'un siècle. Mais leur exploitation est limitée souvent à la morphologie, les distinctions biogéographiques n'étant qu'élémentaires (bancs de galets - forêt - chenal) ou absentes.

Le cadastre est une source historique et cartographique très riche. Il peut être défini comme "l'inventaire général des immeubles bâtis et non bâtis d'un territoire communal individualisés dans leur consistance grâce à une représentation planimétrique parcellaire, dans leur utilité économique (rendement) et dans leur appartenance (indice) afin d'apporter à l'administration une estimation suffisamment exacte pour répartir équitablement l'impôt foncier" (Maurin, 1992).

Le cadastre date du début du XIX<sup>e</sup> siècle en France. Trois phases importantes permettent aujourd'hui de disposer de trois états du parcellaire au cours des deux derniers siècles :

- **Le cadastre de 1807** appelé également l'ancien cadastre ou le cadastre napoléonien est institué par la loi de finance du 15 septembre 1807. C'est un cadastre parcellaire dont la filiation avec la Mappede Sarde est probable. Il comporte trois documents importants :

- les plans cadastraux. Ils sont constitués d'un plan général d'assemblage à l'échelle de 1/10 000<sup>e</sup> ou 1/20 000<sup>e</sup> et de plans détaillés établis par section disposant d'une échelle de l'ordre du 1/2 500<sup>e</sup> - 1/5 000<sup>e</sup>.

- l'état des sections. Ce recueil comporte pour chacune des parcelles, la nature des cultures, le nom du propriétaire et la superficie.

- la matrice cadastrale. Ce troisième document recense l'évolution de la propriété.

Si ce document présentait de nombreux inconvénients en raison d'une configuration parcellaire qui était figée et de levés souvent très différents d'une commune à l'autre, il constitue aujourd'hui une source d'une richesse exceptionnelle et facile à exploiter.

- **le cadastre rénové** est institué par la loi du 16 avril 1930. Cette rénovation générale repose sur une conservation annuelle des plans, une correction et une actualisation des anciens cadastres. Lorsque ce travail est effectué avant 1945, il constitue un état dans le temps tout à fait intéressant.

- **le cadastre actuel** (loi du 17 décembre 1941) est caractérisé par une unification des méthodes de rénovation et de réfection et repose sur le levé d'un nouveau parcellaire. Parmi les trois documents, le cadastre actuel est le moins intéressant à exploiter car la recherche directe de la nature des cultures à partir des numéros de parcelles est difficile compte tenu de son organisation. Il est possible de contourner la difficulté en travaillant à partir de la table parcellaire et du Registre parcellaire. Ils fournissent la liste des possessions des propriétaires et les renseignements les concernant (superficie, nature des cultures...) mais le travail est long et fastidieux.

La région du Faucigny (Giffre) peut être étudiée dès le XVIII<sup>e</sup> à partir de données cadastrales. La Savoie est en effet couverte par trois cadastrations successives qui concernent les périodes 1688-1731 (cadastration sarde), 1860-1920 (cadastre parcellaire) et actuelle (cadastre tenu à jour depuis la seconde moitié du XX<sup>e</sup> siècle) (Eynard-Machet, 1993).

La source cadastrale a été exploitée de deux manières et à deux échelles.

La première s'est orientée vers une étude historique du linéaire et porte essentiellement sur l'exploitation des plans cadastraux après une identification de la nature des parcelles. L'ancien cadastre et le cadastre rénové, la Mappede permettent d'observer, à une échelle assez fine, l'espace fluvial avant 1950. Un document assez précis, ancien (XIX<sup>e</sup>) et partout présent, propice à une quantification, permet d'avoir une démarche unique et comparative sur l'ensemble des rivières étudiées. Sur certaines communes, les différents cadastres conduisent également à présenter une évolution de l'occupation du sol au cours de l'époque contemporaine.

La seconde approche s'est attachée à analyser l'occupation du bassin versant au XIX<sup>e</sup> siècle à partir des données statistiques communales. La rubrique "Résumé Général des Sections" qui se trouve au début ou à la fin de l'Etat des sections ou la rubrique "Récapitulation des Contenances et des Revenus imposables" située au début de la première matrice des propriétés foncières, fournissent un récapitulatif par commune de la superficie totale occupée par chaque type de culture. Il est ainsi possible d'estimer la superficie boisée d'un bassin versant au milieu du XIX<sup>e</sup> siècle.

D'autres documents cartographiques anciens auraient pu être exploités : les cartes de France au 1/80 000<sup>e</sup> dites "cartes d'état major" envisagées sous l'empire et conçues et entreprises sous la restauration au XIX<sup>e</sup> siècle ou la carte géométrique de la France dite "Carte de Cassini" ou "de l'Académie" au 1/86 400<sup>e</sup>.

Néanmoins, la taille des cours d'eau étudiés, l'imprécision de ces documents (déformations géométriques) et le nombre de cours d'eau sélectionnés nous ont obligés à limiter l'approche temporelle aux documents les plus riches.

En revanche, les cartes actuelles telles que la carte géologique au 50 000<sup>e</sup> du BRGM, ou lorsqu'elle n'existe pas, la carte ancienne au 1/80 000<sup>e</sup>, ont été exploitées (Annexe I). La carte topographique (Annexe I) est également commode pour construire des cartes de synthèse concernant notamment l'occupation du lit majeur. Les plans de reconstitution photogrammétrique à très grande échelle (1/2 000<sup>e</sup> à 1/5 000<sup>e</sup>), tirés des schémas

d'aménagement (Cédrat, 1984, CNR, 1987), sont également fort utiles sur le terrain afin de positionner précisément les transects et les points d'échantillonnage.

### 1.1.2 Les documents photographiques

Différents types de documents photographiques peuvent être exploités. La photographie aérienne verticale, produite notamment par l'IGN, constitue le document indispensable de la démarche (Annexe I).

Plus récente et plus riche que le plan cadastral, elle permet d'étudier l'évolution morphologique et biogéographique d'un ensemble voire d'un secteur fonctionnel au cours des cinquante dernières années.

Les photographies permettent de reconstituer, de cartographier et de dater des espaces et leur évolution morphologique, d'observer la dynamique de la couverture végétale (création, disparition, transformation de groupements végétaux). Elles permettent de détecter les impacts anthropiques locaux et passés qui peuvent aujourd'hui encore jouer un rôle dans la distribution des unités de la mosaïque (ancienne parcelle, chemin...). L'analyse est qualitative; des espaces peuvent être cartographiés en fonction de leur date de construction. Ce travail est démonstratif et permet de distinguer, sur une période donnée, des zones actives et des zones plus stables. L'analyse peut être encore quantitative et mesurer les caractéristiques du chenal (longueur, sinuosité, taux d'érosion...), d'autres unités morphologiques (bancs de galets) ou des unités végétales (Saussaie...).

L'évolution diachronique de la végétation présente le long des tronçons d'étude est également abordée à travers une analyse de photographies aériennes couplée à une démarche cartomatique. Elle permet d'identifier des unités végétales (Girel, 1986) après confrontation avec le terrain. Cette démarche, esquissée au cours du DEA (Piégay, 1991), implique au préalable une confrontation avec le terrain durant quelques jours sur la vallée de l'Ain et surtout sur les autres rivières, afin de s'imprégner des unités de paysage et de les reconnaître sur les photographies. Des transects sont positionnés systématiquement sur les photographies aériennes tous les 250 m. La largeur maximale de chaque transect est définie sur la série photographique la plus ancienne. Sur chacun des transects reportés sur les photographies aériennes, la largeur des unités élémentaires de végétation qui se succèdent latéralement est notée. Ces valeurs sont rapportées en mètre après une correction de l'échelle de chacune des photos. Une analyse cartographique est conduite à partir de ces données et permet une approche diachronique (d'une année à l'autre) et synchronique (d'un secteur à l'autre de la rivière)(Piégay, sous presse).

### 1.2 Les autres documents

- Des données topographiques et hydrologiques actuelles et passées sont utilisées lors de l'analyse causale de l'évolution de la mosaïque végétale.

La variabilité de l'altitude et de la pente du lit mineur peut modifier la relation latérale chenal - forêt et par conséquent le nombre, les types et la distribution des groupements. Les profils en long et les profils en travers des schémas d'aménagement sont exploités. Plusieurs levés successifs sont disponibles comme sur le Giffre et permettent une analyse diachronique relativement fine. Par ailleurs, il existe sur quatre des cinq rivières, des profils en long anciens, levés par les Grandes Forces Hydrauliques au cours des années 1910-1930. Enfin des profils en long, levés au milieu du XIX<sup>e</sup> siècle et conservés aux Archives Départementales, existent également sur deux rivières.

Une modification pluridécennale des pics de crue peut également expliquer des changements structuraux de la mosaïque végétale. Par ailleurs, la combinaison des informations topographique et hydrologique permet d'esquisser une analyse diachronique des puissances brutes et unitaires dont la variabilité dans le temps est également un facteur fondamental de l'équilibre chenal -forêt. Les données, issues de la banque HYDRO du ministère de l'agriculture, sont souvent récentes et le plus souvent postérieures à 1950. Aussi, l'analyse de l'hydrologie ancienne et plus précisément des crues, repose sur différents types de données tels que des hauteurs d'eau quand les débits n'ont pas été calculés comme au Pont d'Arc ou la fréquence des inondations sur le Giffre... Les monographies de M. Pardé (1925) ou de P. Mougins (1931) ont été par ailleurs d'un grand secours.

- Des sources écrites sont ainsi utilisées. Il s'agit de sources d'information nombreuses et variées qui ont été recherchées aux Archives Départementales, dans les Services de l'Etat responsables de la police des eaux, et les bibliothèques universitaires.

Si leur exploitation n'est pas toujours aisée, leur intérêt a été multiple. Elles ont permis d'élargir nos connaissances concernant :

- l'hydrologie ancienne, notamment la fréquence des crues et des inondations,
- l'évolution de l'occupation du bassin versant, des paysages et des comportements ruraux à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle (travaux de reboisement RTM, démographie, agrosystèmes traditionnels, ...),
- la géographie régionale de chacun des hydrosystèmes. De nombreuses thèses régionales ont porté sur les milieux alpins par exemple.
- l'évolution récente du lit des rivières (état du lit, identification des secteurs d'érosion, localisation et caractéristiques des ouvrages de protection...).

## 2. Collecte et exploitation des données de terrain

Les données collectées sur le terrain concernent les éléments structurants de la mosaïque. Il s'agit de mettre en évidence quelques complexes de processus physiques actifs dans la zone forestière de l'hydrosystème.

De nombreux critères, d'ordre topographique, morphologique, sédimentologique, hydraulique et phytoécologique ont été retenus.

Un échantillonnage est nécessaire compte tenu de la complexité du compartiment forestier. La collecte ne pouvant pas être exhaustive mais seulement partielle, le choix de l'échantillon est important car il doit être représentatif. La détermination d'unités homogènes ou unités fonctionnelles, définies comme des unités taxonomiques semble appropriée à la description et à la compréhension de la diversité de la mosaïque. Les données floristiques sont utilisées pour définir et nommer ces unités.

La démarche sur le terrain repose ainsi sur trois opérations successives:

1. identifier des communautés végétales homogènes,
2. localiser un point d'échantillonnage au sein de certaines d'entre elles,
3. collecter au niveau de ces points, les informations concernant le groupement végétal et les processus étudiés.

L'analyse est conduite à deux échelles différentes.

- celle du secteur fonctionnel. Ce niveau est appréhendé plus ou moins exhaustivement. Son étude repose sur une cartographie détaillée de la zone ou sur des transects d'échantillonnage.

- celle de l'unité fonctionnelle. Ce niveau d'analyse exige le levé précis d'une parcelle.

Trois types d'études sont donc conduits. Chacun d'eux repose sur une collecte, des variables et un espace particuliers.

- Le premier compare des processus d'un site de rivière à l'autre. Cette démarche plurisectorielle nécessite une collecte rapide et normalisée. Le choix a été pris de travailler par transects. Ceux-ci, à la fois morphologique et phytogéographique, sont levés dans le lit majeur des rivières, perpendiculairement à l'axe d'écoulement et prennent en compte la bande active et l'aire ripicole. L'intervention est rapide et donne des résultats représentatifs du secteur fonctionnel. En outre, comme la démarche est linéaire et non pas spatiale, elle intègre plus aisément des paramètres explicatifs déterminants tels que l'altitude ou la micromorphologie.
- Le second type d'étude s'intéresse à la dynamique interne d'un secteur fonctionnel et intègre ainsi les deux dimensions du plan. L'aire ripariale supporte une mosaïque complexe de communautés soumises à des flux d'intensité et de direction variables. Au niveau de chaque point d'échantillonnage, des critères qualitatifs et quantitatifs seront donc relevés afin d'affiner les caractéristiques dynamiques de chaque unité de la mosaïque. L'analyse de ces critères peut se subdiviser en plusieurs thèmes et concerne surtout la morphologie, la sédimentologie, la pédologie et le transit du bois mort.
- Le troisième type d'étude s'appuie sur la démarche précédente mais l'échelle considérée est beaucoup plus grande et les critères sont également plus spécifiques. Il s'intéresse à l'évolution dans le temps d'un secteur particulier, la partie amont d'un bras mort. Celle-ci fait ainsi l'objet d'un suivi interannuel. Une parcelle d'échantillonnage est localisée sur le site. Elle permet de déterminer la variabilité des formes fluviales, des volumes sédimentaires, des masses et de la distribution des débris ligneux grossiers.

### 3. L'enquête d'opinion

L'objectif de l'enquête, dans le cadre d'une étude de la forêt alluviale et de sa gestion, était de collecter l'opinion de la population concernée par la rivière. Les propriétaires de parcelles forestières ont été retenus car ils s'agissait d'un groupe de personnes vivant le plus souvent à proximité de la rivière et qui étaient impliquées dans la gestion de la forêt.

L'enquête s'est organisée autour d'une double approche : savoir quels changements les personnes ont perçus et connaître leur pensée, leur mode de gestion de la parcelle (Piégay et Lama, sous presse).

Les cinq rivières n'ont pas pu être retenues. L'Ouvèze a été malheureusement exclue de la démarche dans la mesure où la crue catastrophique de septembre 1992 était encore une source de tensions entre les différents intervenants. L'Agence de l'eau RMC, qui finançait le projet, a jugé qu'il n'était pas souhaitable de s'y impliquer. En terme de recherche, ceci est bien sûr regrettable dans la mesure où la réaction des riverains à la suite d'un tel événement est d'un intérêt majeur.

Sur chacune des quatre rivières, 4 à 5 sites (sections de cours d'eau bordées de végétation alluviale) ont été sélectionnés (fig. 16). Ils sont caractérisés par une érosion de berge au contact du lit majeur et de la bande active, un lit en eau mobile dans le temps et l'espace et une forêt alluviale développée sur une largeur appréciable (il ne s'agit pas d'une mince frange arborée de rive).

Sur chaque rivière, 25 à 29 personnes (particuliers ou collectivités) ont été interrogées directement ou par voie postale.

#### Huit étapes sont distinguées lors de l'élaboration de l'enquête :

La sélection des sites d'étude, sur chacun des quatre cours d'eau a fait l'objet de la première étape.

Sur chacun de ces secteurs, les parcelles référencées au cadastre "Bois taillis", "Bois futaies", "Bois résineux" et "Landes", sur lesquelles s'étend en fait la forêt alluviale, tous stades de succession confondus, ont été relevées au service du cadastre ou dans les communes en même temps que les coordonnées de leurs

propriétaires. Toutes ces parcelles sont situées en lit majeur et au contact direct avec la bande active. La berge est naturelle.

Les thèmes structurants de l'étude et une première liste de questions sont identifiés en concertation avec les gestionnaires de l'Agence de l'Eau.

Afin de vérifier l'intérêt des thèmes retenus et d'ajuster les axes directeurs de l'enquête, une pré-enquête est effectuée auprès de particuliers, d'élus communaux et de responsables de la police des eaux de la DDE ou de la DDA (tab. 4).

Tableau 4 - Nombre de propriétaires et de responsables interrogés lors de la pré-enquête.

|                 | Particuliers | Elus     | DDE-DDA  | Ensemble  |
|-----------------|--------------|----------|----------|-----------|
| Ain             | 2            | 1        | 1        | 4         |
| Ardèche         | 2            | 1        | 1        | 4         |
| Giffre          | 2            | 0        | 1        | 3         |
| Ubaye           | 0            | 0        | 0        | 0         |
| <b>Ensemble</b> | <b>6</b>     | <b>2</b> | <b>3</b> | <b>11</b> |

Le questionnaire est construit sous la direction de B. Meuret, sociologue au GRAIE (Annexe II), et est structuré autour de 5 chapitres :

- perception de la rivière (changements observés par les riverains depuis qu'ils connaissent la rivière),
- connaissance de la parcelle et stratégie de gestion,
- connaissance des gestionnaires et du droit de l'eau,
- connaissance du fonctionnement naturel de la rivière,
- opinion concernant les nouvelles orientations de gestion des rivières.

Il est testé auprès de quelques particuliers afin de vérifier sa cohérence et sa compréhension.

Deux questionnaires sont finalement édités et proposent les mêmes questions sous deux formes différentes. Le premier est rempli par l'enquêteur lors de l'entretien et les réponses principales sont déjà inscrites. Le second, plus sobre, destiné aux personnes les plus éloignées, se veut administré. Néanmoins, la rencontre avec les personnes est préférée au simple envoi d'un questionnaire administré. Elle permet une discussion, une meilleure compréhension des questions et apporte aux propriétaires la vision que le gestionnaire peut avoir de leur rivière.

L'enquête est effectuée au domicile des propriétaires après un contact par courrier officiel et un rendez-vous pris par téléphone. Dans le même temps, sont envoyés des questionnaires aux propriétaires ne résidant pas dans le département du site avec une lettre officielle et une enveloppe pour le retour. Un contact téléphonique est également pris afin de motiver ces personnes, peu nombreuses, mais par ailleurs intéressantes du fait même de leur éloignement.

Lors de la préparation, plusieurs types de difficultés ont été rencontrés.

- La recherche cadastrale initiale a été sous-estimée. En effet, pour 100 enquêtes, 200 adresses étaient nécessaires compte tenu des erreurs et des lacunes du cadastre (fausses adresses, personnes décédées...), des personnes sans téléphone ou refusant de communiquer leur numéro et des refus lors du contact téléphonique.
- Le questionnaire administré n'a pas été assez explicite. Il avait peu d'attrait visuel et déroutait la personne. Aussi sur 39 questionnaires envoyés seuls 17 sont revenus, certains complétés avec un très grand sérieux.
- Certaines questions se sont révélées inutiles ou mal comprises malgré le travail de pré-enquête et de test.



Etant donné la faiblesse de la population, la saisie des données a été entreprise sur le tableur Excel, au fur et à mesure de la collecte de terrain. Les réponses ont été codées à l'aide d'une grille de réponse qui était complétée au cours du dépouillement pour les questions ouvertes, certaines variables atteignant finalement une quinzaine de modalités. A l'issue de la saisie, le tableau de données (105 lignes X 60 colonnes) comptait quelques 6000 valeurs.

L'exploitation des résultats est effectuée cours d'eau par cours d'eau afin de bien mettre en évidence les comportements régionaux. Une approche globale est proposée chaque fois qu'elle est possible. La démarche est d'abord analytique : les questions sont dépouillées les unes après les autres et l'information est représentée sur des histogrammes de fréquences (exprimées en pourcentage ou en nombre de réponses). Des relations sont ensuite recherchées entre certaines variables, sur les thèmes centraux définis initialement (traitement bivarié tel que le test du  $\chi^2$ ).

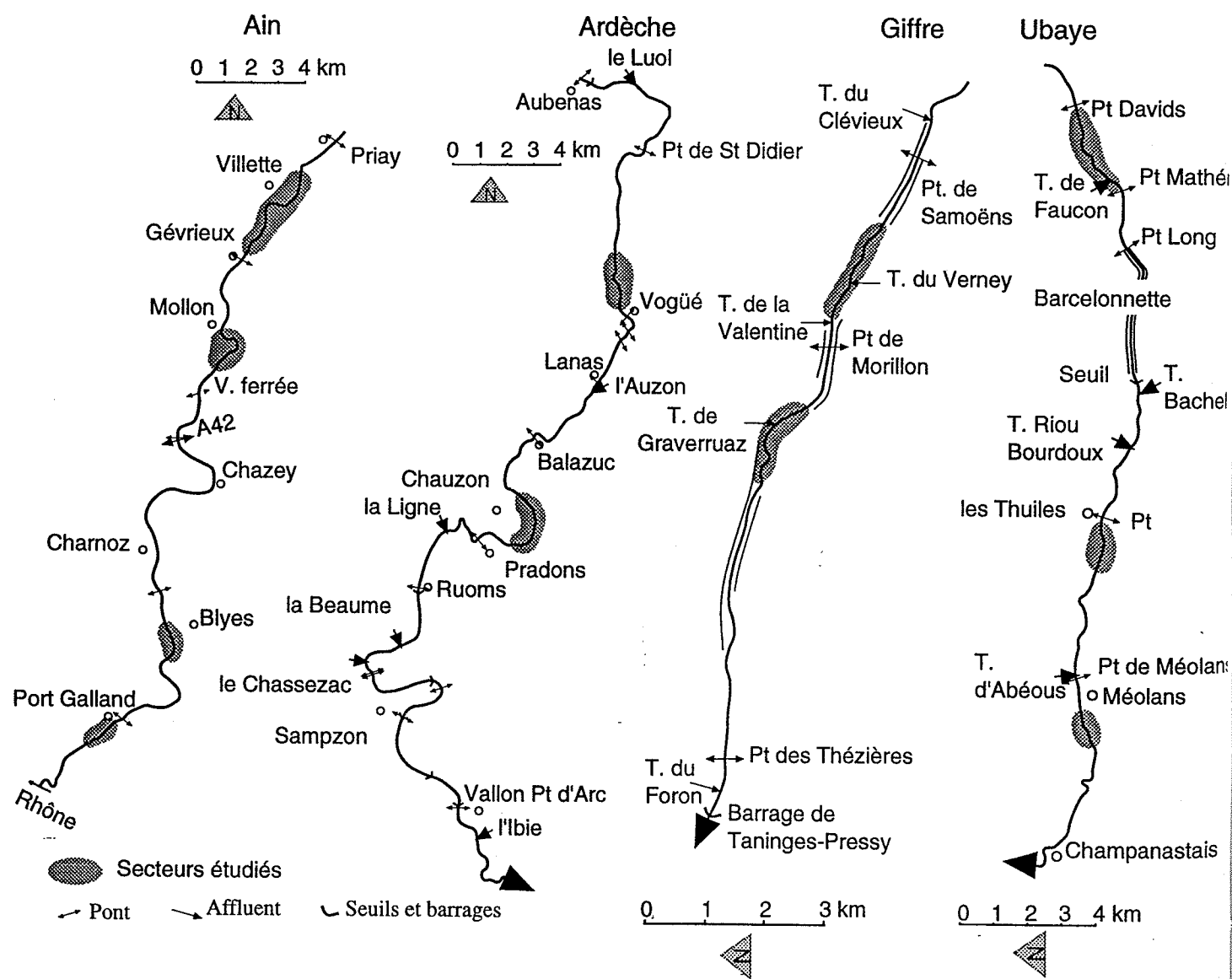


Figure 16 - Localisation géographique des secteurs d'étude

#### 4. L'exploitation géostatistique

Selon les objectifs de la problématique et les variables retenues, plusieurs techniques statistiques et cartographiques sont utilisées (Piégay, sous presse).

Les premières peuvent être traditionnelles (description univariée, relation bivariée...), plus récentes (analyse multivariée), parfois originales (image C-M de Passega). Les secondes reposent sur des outils informatiques nouveaux et traitent des caractères ponctuels ou surfaciques géoréférencés.

##### 4.1 L'exploitation statistique traditionnelle

Deux approches fondamentales nécessitent le recours à des outils statistiques traditionnels lors par exemple de l'analyse de la variabilité intraforestière des indicateurs hydrodynamiques. Elles sont d'autant plus aisées à mettre en oeuvre que l'ensemble des analyses, manuellement contraignantes, est effectué rapidement et informatiquement à l'aide du logiciel Statview™ II (1988).

La première approche s'intéresse à la description d'un caractère qu'il soit quantitatif ou qualitatif. Elle repose sur la recherche de quelques valeurs remarquables, centrales (moyenne, médiane, mode) ou de dispersion (écart-type, quantiles...). Cette démarche préliminaire permet de bien connaître la population étudiée (individus aberrants, hétérogénéité d'un caractère...) avant de rechercher de quelconques liaisons statistiques. L'étude comparée de ces variables de synthèse d'une rivière à l'autre, d'un site à l'autre est également très utile. La méthode de l'image C-M, mise au point par R. Passega (1963), est une analyse originale qui compare la variation de la texture des sédiments et les processus de transport et de dépôt. Elle repose donc sur la comparaison d'une valeur centrale et d'un indice de dispersion. L'auteur utilise en effet deux paramètres granulométriques indépendants l'un de l'autre et extraits de la courbe sédimentologique cumulée : la médiane (M) et le percentile (C).

La seconde approche recherche des relations entre caractères. L'objectif est de mettre en évidence la dépendance, la liaison statistique qui existe entre deux ou plusieurs caractères quantitatifs ou qualitatifs et d'en calculer l'intensité. Cette démarche est destinée à comprendre la variabilité spatio-dynamique des unités de la mosaïque. Il y a toujours une variable à expliquer (Y) et une ou plusieurs variables explicatives (X).

Si les caractères sont quantitatifs, la relation recherchée repose sur des courbes de régression et l'intensité de la liaison est déterminée à partir d'un coefficient de corrélation (r). Cette régression peut être linéaire, polynomiale, logarithmique ou multiple. Dans ce dernier cas, Y s'explique par plusieurs X selon l'équation suivante :

$$Y = a_1X_1 + a_2X_2 + \dots + a_nX_n$$

Si les caractères sont qualitatifs, l'analyse repose sur un tableau de contingence N. La situation observée est comparée à la situation théorique que présenterait le tableau si X et Y étaient indépendants. Le test d'indépendance est calculé selon la métrique du  $\chi^2$ . Le  $\chi^2$  observé est comparé au  $\chi^2$  lu dans la table du  $\chi^2$  pour un risque d'erreur choisi  $\alpha$  et un nombre de degrés de liberté (ddl) qui dépend des observations. S'il existe un écart significatif à l'indépendance, le coefficient de Tschuprow décrit l'intensité de la relation.

Toute étude d'une relation bivariée repose sur une confrontation entre la situation observée qui est contenue dans la distribution à deux caractères et la situation théorique de liaison ou d'indépendance qui servira de référence. L'équation de régression peut ainsi être considérée comme un modèle. La perte d'information (les résidus) qui existe entre l'information initiale et l'information prise en compte dans le modèle est ainsi d'un grand intérêt. La question de savoir quels sont les individus qui ne correspondent pas au modèle et pourquoi, peut être un axe d'analyse spatiale judicieux.

Les interactions entre deux ou plusieurs critères peuvent ainsi être appréciées. Des questions telles que "existe-t-il une relation entre la variation de la largeur de la bande active et la valeur de l'incision du lit entre deux dates?" ou encore "existe-t-il une relation entre la taille des sédiments et la hauteur de la nappe d'inondation?" peuvent trouver une réponse statistique qui est ensuite discutée (validité, intensité de la relation...).

## 4.2 Les analyses multivariées

La statistique multivariée comprend différentes techniques permettant de traiter simultanément un ensemble de variables. L'objectif est de rendre intelligible une information multivariée dont la structure n'est pas immédiatement décelable. Le traitement permet, sur la base de variables quantitatives ou qualitatives, de résumer une information initiale en tableaux successifs simplifiés. L'information est décomposée en facteurs hiérarchisés contenant une part décroissante de l'information de départ. La statistique multidimensionnelle substitue aux valeurs observées, des valeurs prédites de structure plus simple.

La programmation ADECO (Analyse de Données ECOlogiques), développée à l'université Lyon I par Y. Auda, D. Chessel et J. Thioulouse, est utilisée ici pour le calcul et le dépouillement graphique.

Le choix de la technique utilisée dépend de la nature des variables et de leur hétérogénéité. L'Analyse en Composantes Principales (ACP) est appropriée à l'étude de caractères quantitatifs alors que l'Analyse Factorielle des Correspondances (AFC) correspond plutôt à des variables qualitatives (la somme en ligne des observations doit néanmoins avoir un sens).

Dans les deux cas, l'objectif est de rechercher les axes factoriels, leur direction (vecteurs propres) et la part d'information prise en compte par chacun d'eux (valeurs propres). Il s'agit d'une technique de classement statistique, d'une méthode descriptive qui constitue l'une des sources de l'interprétation.

A partir de la synthèse de nombreuses variables, deux démarches fondamentales sont possibles :  
- La première est typologique. L'analyse multivariée résume très rarement l'information à un seul axe. Aussi, en fonction du nombre d'axes conservés, la distribution graphique des individus permet d'établir une répartition en classes. Il existe de nombreuses techniques de classification multivariée. La technique retenue ici est simple et fondée sur une représentation graphique des données, un nuage de points-invidus sur lequel chaque variable est identifiée sur les axes. Le découpage en classes s'effectue visuellement sur le nuage en fonction de la densité des individus.

- La seconde recherche un indicateur de synthèse. Elle retient l'information détenue par un des axes factoriels. Celui-ci détient une très grande part de l'information ou est porteur d'une information parfaitement identifiée, d'un gradient. Bravard et al. (1990) ont ainsi utilisé une Analyse factorielle des Correspondances Multiples afin de déterminer une variable synthétique dont la valeur quantitative, qui repose sur un nombre important de critères géomorphologiques, a permis de construire une typologie qui met en évidence le plus ou moins fort dynamisme de la rivière. Celle-ci a été sectionnée en 402 tronçons de 100 m de longueur. Pour chaque tronçon ou cellule, 10 critères géomorphologiques ont été retenus, chacun étant le descripteur d'une morphodynamique : le faciès du chenal et la nature du fond du lit sont des descripteurs de l'incision, la présence ou l'absence d'îles boisées révèlent ou non le tressage... Chaque critère est analysé séparément afin de déterminer son degré de représentativité, de discrimination. Enfin, un indice quantitatif synthétise les 10 critères initiaux et exprime un degré d'instabilité actuel des 402 unités élémentaires.

La statistique, représentée sous la forme de graphiques, n'est pas le traitement le plus expressif des dynamiques spatiales. L'approche cartographique, combinée parfois à l'approche statistique, contribue aussi à la connaissance des interactions des variables géographiques.

## 4.3 L'analyse spatiale

Deux techniques cartographiques ont été largement utilisées : la cartomatique et le Système d'Information Géographique en mode *raster*.

- La cartomatique ou cartographie automatique associe un tableau de données individuelles - variables à une carte sur laquelle chaque individu, qu'il constitue une zone, un linéaire ou un point, est référencé. La représentation est fondée sur des trames ou des symboles proportionnels. Pour un espace donné, la technique permet d'exploiter efficacement les données statistiques disponibles et de créer un ensemble de cartes analytiques sur lequel reposera la réflexion géographique.

Trois types de travaux ont été effectués :

- le premier repose sur le linéaire des tronçons d'étude. Les individus cartographiés sont des points équidistants de 250m et les variables représentées concernent la largeur des différentes unités physiologiques reconnues sur des photographies aériennes à différentes dates.
- le second s'appuie sur la trame communale des bassins versants d'étude. Pour chacune des communes, l'évolution du taux de boisement est étudié au cours des deux derniers siècles.
- le troisième enfin repose sur des données de terrain à la fois spatiales (unité végétale) et ponctuelles (point d'échantillonnage). L'objectif cartographique est alors de montrer non seulement la très grande complexité du secteur qui fait que chaque unité est presque unique, mais encore la logique de l'espace qui régit cette répartition.

Le travail, et notamment la numérisation des entités géographiques, a été effectué sur le logiciel de cartographie automatique, "cartographie 2D, Version 1.1a, 1988", fonctionnant sur Macintosh alors que les données statistiques étaient saisies sur le logiciel Excel 4. La technique permet de multiplier les cartes d'analyse mais autorise également des cartes de synthèse sur lesquelles sont représentés simultanément plusieurs paramètres.

Différents problèmes, liés aux limites du logiciel, se sont aussi posés. Celui-ci ne peut pas, par exemple, intégrer au sein de formes proportionnelles, des trames d'intensité variable. La cartographie de variables qualitatives est par ailleurs longue à mettre en oeuvre.

### - le Système d'Information Géographique (SIG)

Il s'agit d'un outil de gestion territoriale complémentaire à l'analyse spatiale. Il simplifie l'association de sources d'informations variées (cartes, photographies, statistiques...) et facilite l'examen de l'espace.

Le SIG en mode *raster*, utilisé au cours de cette étude (logiciel Map II, 1989), présente les informations selon une structure particulière. Celles-ci sont capturées par une maille carrée. Chaque carreau se voit affecté une valeur qui s'exprime soit par la présence ou l'absence d'un type d'objet (route, habitats...), soit par une qualité (type d'utilisation du sol), soit par une quantité (altitude, distance...). La technique est peu onéreuse, facile à mettre en oeuvre et se prête à des calculs de distance et de gradients mais elle présente l'inconvénient de ne pas conserver l'intégrité de l'objet. Ceci n'est pas gênant lorsqu'il s'agit d'étudier l'occupation du sol (Waniez, 1990; Charre et al., 1991; Marston et al., 1992).

L'intégration des plans cadastraux ou des cartes historiques d'occupation du sol dans un SIG en mode *raster* permet d'apprécier quantitativement l'évolution du sol dans la mesure où la surface exacte est disponible pour chacune des classes d'occupation (Eynard-Machet, 1993). La déprise agricole et la fermeture des paysages ont ainsi été étudiés sur la commune de la Chapelle-des-Bois, le plus haut village du Doubs (Brossard et al., 1993). Les auteurs ont rassemblé, sous une forme numérique homogène et gérable par informatique, une série de données, tels que le modèle d'altitude et le type d'occupation du sol, tirée des cadastres de 1840, 1914, 1967.

et 1990. Ceux-ci ont permis d'identifier spatialement la reconquête forestière et des propositions de scénari d'évolution future des espaces susceptibles d'être à terme soumis à la déprise ont été formulées.

La technique *raster* est adaptée aux combinaisons de cartes d'occupation, à des calculs de superficie mais également à des analyses statistiques reposant sur la base de données. L'information cartographiée peut apparaître en données numériques. Chaque pixel correspond à une cellule de tableur dans laquelle la valeur représentée est celle du pixel. Si la carte analysée présente une logique horizontale et verticale, il est possible de calculer à partir de transects représentant une ligne ou une colonne de pixels, une valeur centrale ou un indicateur de dispersion de la variabilité spatiale d'un caractère. Ainsi, la largeur moyenne de la bande active ou l'évolution amont - aval du budget sédimentaire d'une parcelle de terrain ont pu être observées. Par ailleurs, il est possible de chercher les relations statistiques existant entre les variables des transects...

L'infocartographie rassemble des outils géographiques opérationnels qui permettent de construire des représentations immédiates, réfléchies et quantifiées de l'espace confortant l'approche de terrain.

La problématique et la méthode ayant été largement expliquées, il convient maintenant d'aborder les résultats acquis à ce jour.

Trois axes seront prospectés. Il s'agira de reconnaître successivement :

- les dynamiques temporelles du compartiment forestier,
- les processus physiques du compartiment forestier,
- les éléments permettant une gestion réfléchie, écologique et économique, de ces marges instables.

## lère Partie :

# LA BIOMÉTAMORPHOSE : ÉTUDE DIACHRONIQUE

### I Mise en évidence du phénomène

### II Les causes de la biométamorphose : approche systémique

### III Modèles et synthèse explicative

La couverture végétale située sur les marges des cours d'eau alluviaux à dynamique latérale active présente une superficie et des caractères physiologiques qui varient au cours du temps. En effet, l'intervention de l'homme sur le milieu et l'intensité des flux hydriques et minéraux qui sont des phénomènes qui agissent sur l'extension spatiale et la structure interne des marges riveraines des cours d'eau alluviaux, peuvent présenter une grande variabilité à l'échelle d'un ou deux siècles.

La surface occupée par la végétation riveraine peut ainsi s'étendre ou au contraire se rétracter. Cette mobilité s'effectue aux dépens ou au profit, selon le mouvement, de la bande active ou des parcelles agricoles situées sur la marge externe du lit majeur. Par ailleurs, la physiologie du corridor végétal peut elle-même se modifier et la mosaïque fluviale présente donc une diversité, caractérisée par la variabilité au cours du temps du nombre et de la structure des groupements phyto-sociologiques. La superficie occupée par les formations arborées peut ainsi fluctuer or son importance relative est fondamentale car elle confère ou non au corridor végétal son statut de forêt. Celle-ci présente des caractères hydrauliques, écologiques, affectifs et paysagers spécifiques.

L'objet de cette première partie est ainsi d'étudier l'évolution spatiale de la couverture végétale riveraine de cinq cours d'eau alluviaux au cours de l'époque contemporaine et de comprendre les causes de ce phénomène.

## I Mise en évidence du phénomène

Après avoir exposé la démarche méthodologique, nous présenterons les résultats, rivière par rivière, puis de manière synthétique.

### 1. La démarche méthodologique

Plusieurs types de documents ont été exploités : le cadastre napoléonien, quelques cartes anciennes et les séries de photographies aériennes de l'IGN. Chacun d'eux couvrent une partie de la période, apportent une information particulière et nécessitent une analyse spécifique.

#### 1.1 Le cadastre ancien : approche spatiale et approche qualitative

Le cadastre est un document riche qui couvre la période étudiée et qui existe sur toutes les rivières. Une démarche unique, quantitative et comparative n'a pas été possible car des problèmes concernant l'accès aux documents ou leur inégale précision nous ont obligés à nous adapter à chaque cas.

##### **1.1.1. Le problème de l'accès aux documents**

Plusieurs raisons expliquent la difficulté d'accéder aux documents. La stratégie d'étude par tronçon et par bassin versant conduit à s'intéresser à de nombreuses communes. Aussi, il était impossible d'envisager une collecte de l'information dans chacune des mairies. Le Service du Cadastre de l'arrondissement ou les Archives Départementales détiennent également un exemplaire du cadastre de chaque commune. En un même lieu est donc concentrée une information plus riche. Malheureusement, ces deux organismes se partagent parfois les documents, le Plan étant alors détenu par le Service du Cadastre et l'Etat des sections par les Archives Départementales. Dans la basse vallée de l'Ain, les cadastres des communes de rive droite se trouvent à Trévoux et ceux de rive gauche à Bourg-en-Bresse. Sur l'Ouvèze, les cadastres du secteur amont et du secteur aval situés dans le même département, ne sont pas regroupés sur un même site. Sur le Giffre, le cadastre ancien est consultable au Service du Cadastre de Bonneville et la Mappe sarde aux Archives Départementales à Annecy.

Par conséquent, il était difficile de collecter une information normalisée compte tenu des distances, des coûts (les Services du Cadastre vendent l'information), de l'amabilité du personnel et des horaires d'ouverture. Par ailleurs, une fois l'accès au document résolu, la collecte de l'information devait se conformer aux habitudes de chacun des organismes. L'usage de calques, les photographies ou les photocopies n'étaient pas toujours possibles et le Plan n'était lui-même pas toujours consultable.

Comme les limites communales correspondent souvent au tracé du cours d'eau, la restitution du lit dans sa forme originale a parfois été impossible. C'est notamment le cas de l'Ain, la plus importante rivière de l'étude puisque l'année du levé différait d'une commune l'autre et que les terrains communs étaient trop imprécisément représentés.

### 1.1.2. L'inégale richesse des documents

L'ancienneté des documents diffère d'une rivière à l'autre. Sur le Giffre, la Mappede sarde permet de connaître l'extension de la forêt alluviale dès la première moitié du XVIII<sup>e</sup> siècle. La rénovation du cadastre est parfois effectuée avant 1945, ce qui permet sur certaines communes d'observer la forêt dans la première moitié du XX<sup>e</sup> siècle.

L'inégale précision des plans est également un problème. La finesse du travail effectué sur les plans savoyards levés à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle permet de présenter une carte d'une exceptionnelle richesse. Les cadastres de Vaucluse sont d'une qualité similaire. Par contre, ceux des communes de l'Ardèche et de l'Ubaye sont beaucoup plus rudimentaires.

Les types de cultures (forêt - pâtures - labours) peuvent figurer, comme sur le Giffre et certaines communes de l'Ouvèze, sur le plan d'assemblage; parfois, l'identification culturelle n'est portée que sur les plans de section. D'autres fois, l'information ne figure que dans les Etats de section.

La Savoie et la Haute Savoie disposent d'un document cadastral de grande précision dès le XVIII<sup>e</sup> siècle : la Mappede sarde (Bravard, 1981; Peiry, 1989). Il s'agit d'un état de référence exceptionnel étant donné son ancienneté (il fut dressé entre 1728 et 1738 par les géomètres piémontais) et l'échelle de ses plans (1/2 400<sup>e</sup>). Il comporte trois documents :

- la carte, sur laquelle sont représentés les parcelles et le type d'occupation, chaque parcelle étant numérotée,
- le Livre de Géométrie par numéros suivis portant notamment le type de culture,
- la Table récapitulative.

L'Ancien cadastre existe aussi en Faucigny mais il est plus récent et qualitativement supérieur à ses homologues français. Levé entre 1861 et 1925, il correspond à une mise à jour de la Mappede sarde.

### 1.1.3. La démarche

L'analyse n'a été conduite que sur certaines communes. Les plans d'assemblage ont été utilisés pour estimer la superficie de la bande active. A partir des documents les plus riches, l'occupation des rives au XIX<sup>e</sup> siècle a pu être également cartographiée sur certains des cours d'eau.

Sur des secteurs particuliers, les cadastres anciens, rénovés et actuels nous ont permis d'analyser l'évolution diachronique de la nature de l'occupation contemporaine du lit majeur.

Une analyse qualitative plus restreinte a recensé également les types de culture des parcelles bordant le lit de certains cours d'eau. Elle n'a été conduite que sur des tronçons sur lesquels les parcelles présentaient une taille et des formes comparables car sa représentativité spatiale aurait été discutable si la superficie des parcelles avait été trop variable.

## 1.2 L'exploitation des photographies aériennes

L'évolution des unités du paysage a été étudiée sur les photographies de l'IGN. La technique employée repose sur une multitude de transects positionnés précisément sur les documents.

### 1.2.1 La définition des unités de paysage

L'évolution diachronique de la végétation a été abordée à partir d'une étude de photographies aériennes destinée à identifier les principales unités végétales (Girel, 1986; Marston *et al.*, 1992) et couplée à une

démarche cartomatique. Cette approche, esquissée au cours du DEA (Piégay, 1991), repose sur une reconnaissance préalable de la zone d'étude afin de s'imprégner des unités du paysage et de les reconnaître sur les photographies.

L'identification reste simple. Seuls sont distingués les bancs de galets et le chenal en eau, les stades pionniers et post-pionniers, les stades arborés fermés, la lande et la pelouse sèche, les zones anthropisées (campings, terrains de sport, zones d'extraction, stations d'épuration, décharges, zones de stockage de matériaux....).

Les stades pionniers et post-pionniers sont des formations végétales arbustives situées à proximité de la rivière; ils sont composés par exemple sur l'Ain, l'Ardèche et l'Ouvèze de saules (*Salix purpurea*, *Salix eleagnos*) et de peupliers (*Populus nigra*). Ces groupements sont parfois ouverts, discontinus (stades juvéniles), découpés par des bancs de galets mobiles, parfois fermés (stades plus avancés) mais se distinguent bien de la forêt dans la mesure où ils ont une couleur particulière (vert clair). Les pelouses et les landes situées au coeur du lit majeur sont également faciles à reconnaître bien que distinguer les deux soit parfois peu aisé. Une formation à strate basse dominante (pelouse) peut évoluer progressivement vers la lande, une formation fermée, dense et arbustive, composée d'espèces souvent épineuses (*Crataegus monogina*, *Rosa canina*). Cette dynamique de recolonisation présente des stades à végétation arbustive discontinue, formant des bosquets à coalescence progressive.

Lors de l'interprétation des photographies, plusieurs problèmes se sont posés :

- La limite entre la forêt et les stades post-pionniers ou entre la forêt et la lande n'est pas toujours claire car le passage des uns aux autres est progressif. Comme ce phénomène se pose surtout sur les photographies récentes, l'analyse de terrain permet d'apporter quelques corrections. A terme, la forêt succède à la fois aux pionniers hydrophiles et à la lande typique de milieux plus xériques. Ces deux unités ne sont en fait que des stades intermédiaires de successions différentes.
- La distinction chenal - zone d'extraction en lit mineur est également difficile à établir. Or, cette activité est très présente sur les photographies des années 1970.
- Lorsque les campings sont installés sous forêt, ils ne sont pas toujours bien identifiables. Il existe ainsi un risque de sous-estimation de cette activité durant les années 1970, notamment sur l'Ain ou sur le tronçon Ruoms - Vallon-Pont d'Arc sur l'Ardèche.

### 1.2.2 Transects et espaces considérés

Des transects ont été positionnés systématiquement sur les photographies aériennes tous les 250 m. Le lit majeur étant difficile à déterminer sur ces documents, une bande naturelle a été définie sur la photographie la plus ancienne. L'approche a tenu compte de facteurs humains et de facteurs physiques. La largeur "naturelle", c'est-à-dire non cultivée, correspond à la largeur concédée au système-rivière par les communautés agricoles riveraines traditionnelles et est toujours limitée au fond de vallée.

La représentativité de cette bande naturelle a été étudiée sur la basse vallée de l'Ain. Le concept de "bande naturelle concédée au cours d'eau dans les années 1945-50" est une réalité hydrologique et morphologique. Les limites des basses terrasses érodables de l'Ain, c'est-à-dire le lit majeur contemporain, relevées sur la carte "géomorphologie et usages singuliers" de J.P. Bravard *et al.* (1990) ont été comparées à celles de la bande naturelle concédée au cours d'eau par les communautés en 1947. La plaine moderne (2 398 ha) est en moyenne 35 m plus large que la bande naturelle (2 295 ha) ce qui représente une distance de 1,2 mm sur une photographie au 1/30 000<sup>e</sup>. Cette différence ne représente que 121 ha soit 5% de la superficie du lit moderne.

Par conséquent, la notion de bande naturelle est retenue car elle est :

- facile à reconnaître sur des photographies à la différence de la plaine moderne,
- représentative d'une réalité morphologique et hydrologique,

- représentative d'une réalité humaine. La pression anthropique en 1945-50 était plus faible que celle qui existait au XIX<sup>e</sup> siècle. Si l'homme utilisait encore l'essentiel de l'espace rural à la Libération, il avait cependant la possibilité d'exploiter les terres en tenant compte de leurs potentialités.

Sur chacun des transects reportés sur les photographies aériennes, la largeur des unités élémentaires de végétation qui se succèdent latéralement a été notée. Ces valeurs ont été rapportées en mètre après une correction de l'échelle de chacune des photographies.

Une équidistance de 250m a été retenue après un test entrepris sur la basse vallée de l'Ain. Un relevé systématique de transects, tous les 100 m, a été effectué sur les 42 km du tronçon (carte IGN au 1/25 000<sup>e</sup>, 1985). La représentativité des résultats a été testée pour des équidistances de 200, 500 et 1000 m. Les pertes d'information et les erreurs grossières n'interviennent que lorsque les transects sont distants de plus de 500m. La superficie de la bande naturelle a été estimée ainsi à 2611 ha pour un pas de 100m (N = 426 transects) ou de 200 m (N = 213) mais de 2 625 ha et 2 508 ha pour un pas de 500 (N = 85) et 1000m (N = 42) soit une erreur respective de 0,5 et 4%.

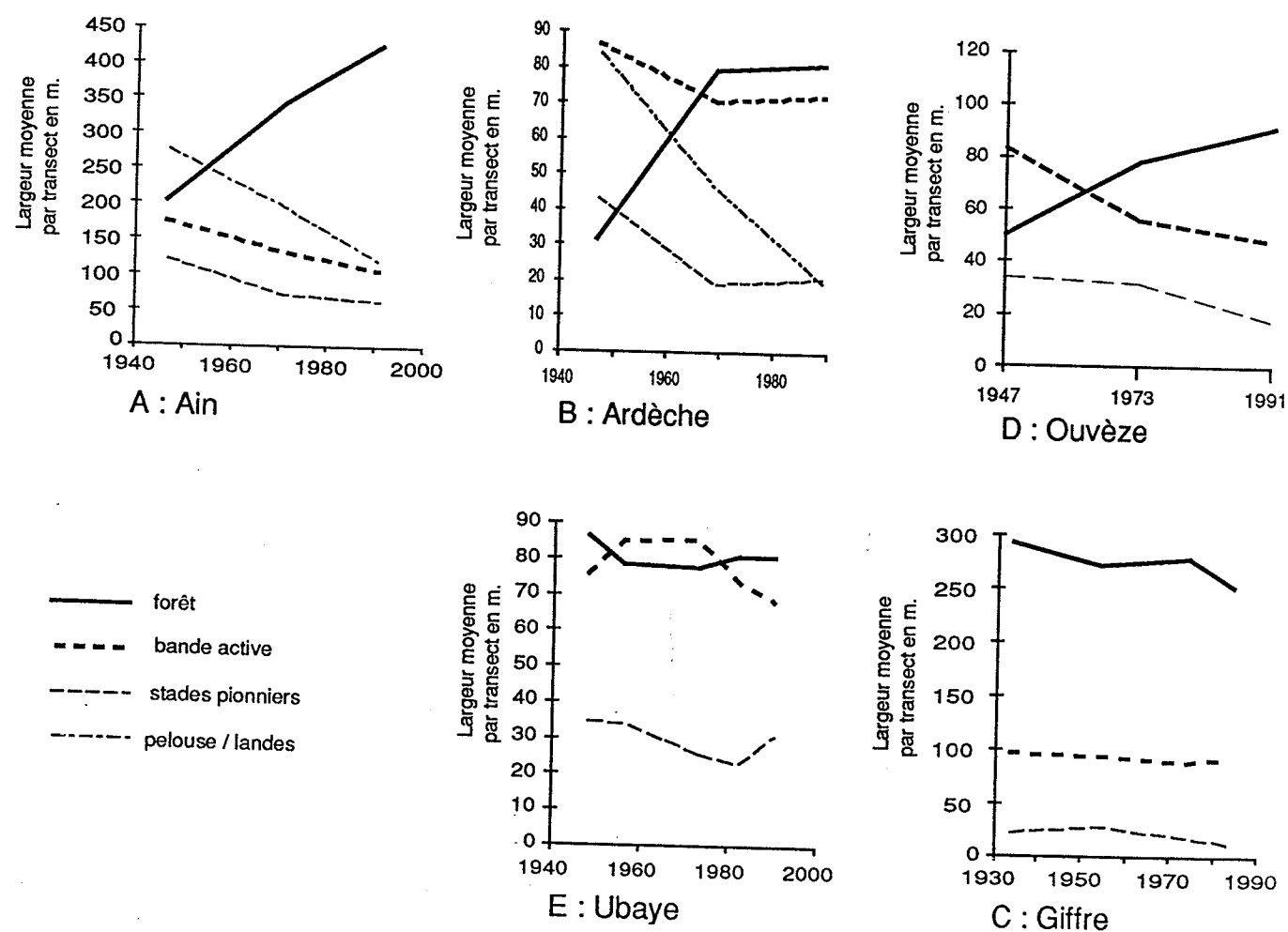


Figure 17 : Evolution des principales unités de la mosaïque fluviale (moyenne de largeurs estimées sur des photographies aériennes tous les 250m).

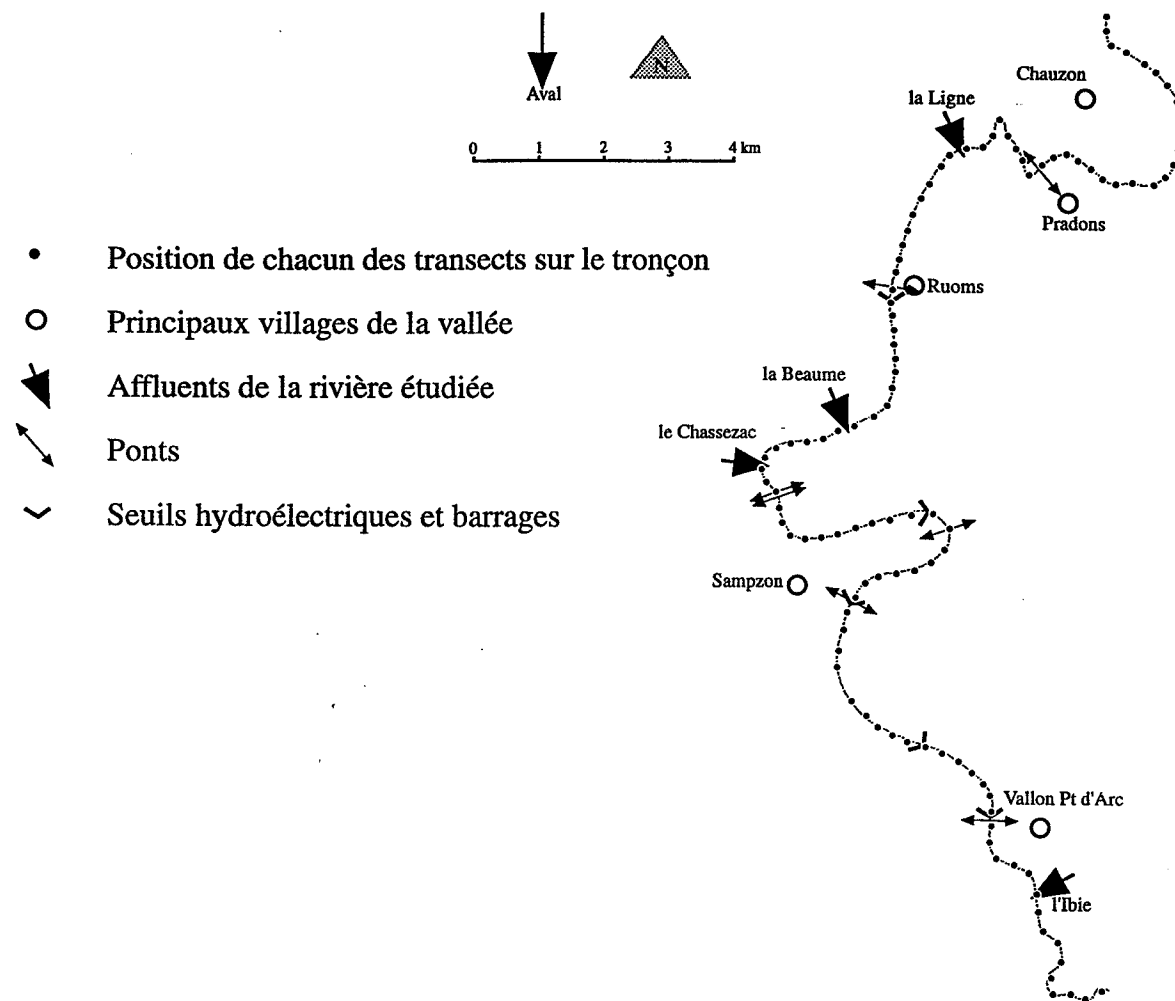


Figure 18 - Caneva cartographique, légende et position des transects (exemple du tronçon de l'Ardèche entre Chauzon et Vallon Pont d'Arc).

La marge d'erreur d'une telle approche est importante compte tenu de l'échelle des séries photographiques. Une erreur d'un millimètre sur la photo correspond à une largeur de 30m sur le terrain pour une échelle de 1/30 000<sup>e</sup>. La marge d'erreur acceptée est estimée à 1 - 1,5 millimètre. Comme le 1/30 000<sup>e</sup> est la plus petite échelle utilisée, 30 m serait donc la marge d'erreur extrême. Les séries photographiques ont été choisies non seulement en fonction de leur date mais aussi en fonction de leur échelle. Afin de pouvoir les comparer, l'écart d'échelle ne doit pas être trop important afin de décrire l'espace avec un degré de précision relativement identique. Généralement, les échelles alternent entre le 1/ 15 000<sup>e</sup> et le 1/30 000<sup>e</sup>. La première est déjà relativement grande mais elle a été beaucoup utilisée par l'IGN dans les années 1970. Or cette décennie est la période médiane de l'étude. Sur le Giffre, les échelles sont assez comparables (1 /20 000<sup>e</sup> environ) alors que les plus petites se situent sur l'Ubaye (1 / 37 000<sup>e</sup>) (Annexe I). Aussi, les transects et leurs limites ont été positionnés avec précision d'une date à l'autre. Des vérifications, concernant notamment la constance de la largeur de la bande naturelle d'une série à l'autre, ont été entreprises, chaque écart criant étant corrigé.

Ce travail s'est avéré considérablement long, contraignant et couteux. Aussi, le plus souvent, seules 3 séries de photographies (Ain, Ardèche et Ouvèze) ont été dépouillées. Leur nombre a été porté à 4 sur le Giffre et à 5 sur l'Ubaye compte tenu de la faiblesse des changements observés initialement. Ceci représente pour les

rivières citées ci-dessus respectivement 118, 187, 40, 125 et 97 transects par tronçon soit un total de 1935 transects.

Les résultats bruts ont permis de proposer une approche globale exprimée en m moyen ou en ha (fig. 17), chaque transect étant représentatif de 250 m de linéaire de rivière. Les évolutions, d'une année à l'autre pour chacun des transects du tronçon, ont été étudiées. Une analyse spatiale a permis d'individualiser tel ou tel secteur de tronçon, voire telle ou telle rivière, étant donné que les classes retenues étaient volontairement comparables. La cartomatique, adaptée à des tâches répétées, s'est révélée fort utile. Un fond de carte a été scanné, chaque transect étant replacé et identifié. Un habillage standard (tracé du cours de la rivière, villages et principaux ponts, affluents) a également été dessiné (fig. 18). Les principales évolutions seront ainsi été présentées spatialement.

## 2. Les résultats par rivière

Les résultats sont présentés rivière par rivière et période par période.

### 2.1 L'Ain :

#### 2.1.1 La période 1810-1950

L'étude de l'ancien cadastre a été difficile sur la basse vallée car les Plans sont éparpillés dans plusieurs administrations. De plus, la bande active est très large et mobile alors que les limites intercommunales suivent l'axe de la rivière. Assembler les plans au 1/ 10 000° de deux communes riveraines a ainsi été impossible. L'absence d'appropriation privée de ces zones explique l'imprécision du document, une fine cartographie de ces espaces non soumis à impôt n'étant pas nécessaire.

Par conséquent, l'approche historique a été restreinte à deux sites : Blyes et Mollon. Une carte en couleur, levée en 1810 (photographie 7) lors d'un projet d'enrochement destiné à défendre la route contre les crues à l'aval du Pont de Neuville-sur-Ain, permet également d'observer le lit majeur plus en amont. Celui-ci n'était pas boisé, mais colonisé par une prairie ou une végétation buissonnante discontinue. De même, le cadastre de St-Jean-de-Niost (1839), très soigneusement levé, a révélé la présence de "vorgines" c'est-à-dire de pionniers bas à recouvrement discontinu (photographie 8) dans un pédoncule de méandre situé en rive droite au droit du Château de Gourdans. Cet immense espace n'était pas divisé en parcelles mais correspondait à un bien commun.

#### - Le secteur de Mollon.

Le cadastre des communes de Mollon (1839) et de Saint-Maurice-de-Remens (1827) situées respectivement en rive droite et en rive gauche de l'Ain, a été étudié.

Les brotteaux de Mollon actuellement boisés (Plan de la Croisette) sont classés "p" (pâturage) sur le cadastre de 1839 et n'ont aucune référence parcellaire. En fait, les renseignements écrits sont rares et la lettre "p" est notée au coeur de chaque îlot, ceux-ci étant séparés les uns des autres par des chenaux en eau. La feuille AM du cadastre rénové de 1941 a disparu mais l'observation des photographies de 1947 révèle un lit majeur occupé par une pelouse colonisée par une strate arbustive discontinue et quadrillé par un faisceau de chemins. La feuille actuelle présente 63 parcelles dont 62 sont notées "Bt" (bois taillis) et une "L" (landes).

La propriété foncière ne semble pas avoir beaucoup changé car l'espace n'était pas partagé en 1839 et l'essentiel de la superficie est constituée de 5 immenses parcelles appartenant à la commune en 1990, les autres, au nombre de 58, étant de minuscules lots situés en marge du lit majeur.

La bande concédée au cours d'eau autour de 1830 était semblable à la bande boisée actuelle. Sur la commune de Mollon, 2%, 36% et 62% des parcelles situées sur la marge des Brotteaux, étaient respectivement occupées par des bois, des prés et des terres labourées. Il y avait donc un contact direct entre les terres labourées et les "vorgines" comme il y a aujourd'hui un contact brutal entre les terres labourées et le bois taillis. En rive gauche, (fig. 19), dans un lit majeur aux limites inchangées depuis plus d'un siècle et demi, la forêt et des cultures se sont également substituées à une zone pâturée.

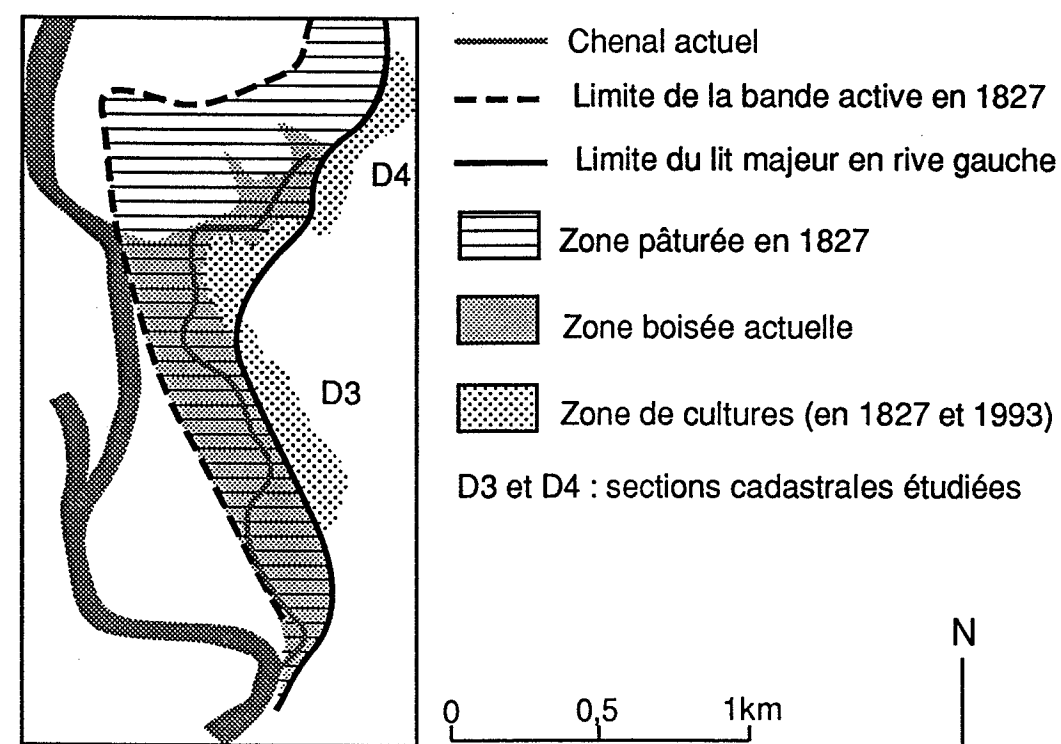


Figure 19 - De l'espace pâturé à la forêt : 1827 - 1990

(d'après les cadastres ancien et actuel de la commune de Saint-Maurice-de-Remens. Archives Départementales de l'Ain, Bourg-en-Bresse et Service du Cadastre, Trévoux).

#### - Le secteur de Blyes

Une étude plus exhaustive a été entreprise sur le secteur de Blyes. Trois états successifs, 1864, 1933 et 1993, sont présentés (fig. 20). Une réduction très nette de la bande active est observée depuis 1933 alors que de 1864 à 1933, ce diagnostic est plus aléatoire. En revanche, le passage d'un style tressé à un style à méandres est localement vrai. Depuis un siècle, l'axe principal a tendance à migrer en rive droite. En 1864, les brotteaux de Blyes étaient partagés entre des terres cultivées au nord et une zone recensée "terres vagues" relativement importante au sud. Celle-ci était très ponctuellement remplacée par des prairies. Ces "terres



vagues" sont difficile à interpréter. Correspondent-elles à une zone de graviers ou une zone de vourgines pâturées? la question est importante car s'il s'agissait de la bande active, la période 1864 - 1933 serait interprétée comme une phase de forte réduction de la bande active et dans ce cas l'amenuisement du lit pourrait être perçu comme un phénomène continu de 1830 à 1970.

En 1933, ces terres vagues ont été remplacées par une zone de landes. La question a donc été de savoir s'il y avait eu une réelle mutation de l'occupation caractérisée par le passage du banc de galets non végétalisé au stade pionnier plus ou moins ouvert, une transformation progressive des vourgines évoluant vers une formation plus fermée ou l'utilisation de deux termes (landes et vourgines) pour une même réalité? La rivière, plus présente hier, devait avoir des capacités morphogènes plus importantes. Sa migration progressive vers l'ouest a réduit progressivement la menace et permis un développement de la végétation. En 1990, cet espace était boisé et se distinguait donc nettement de ce qu'il était antérieurement.

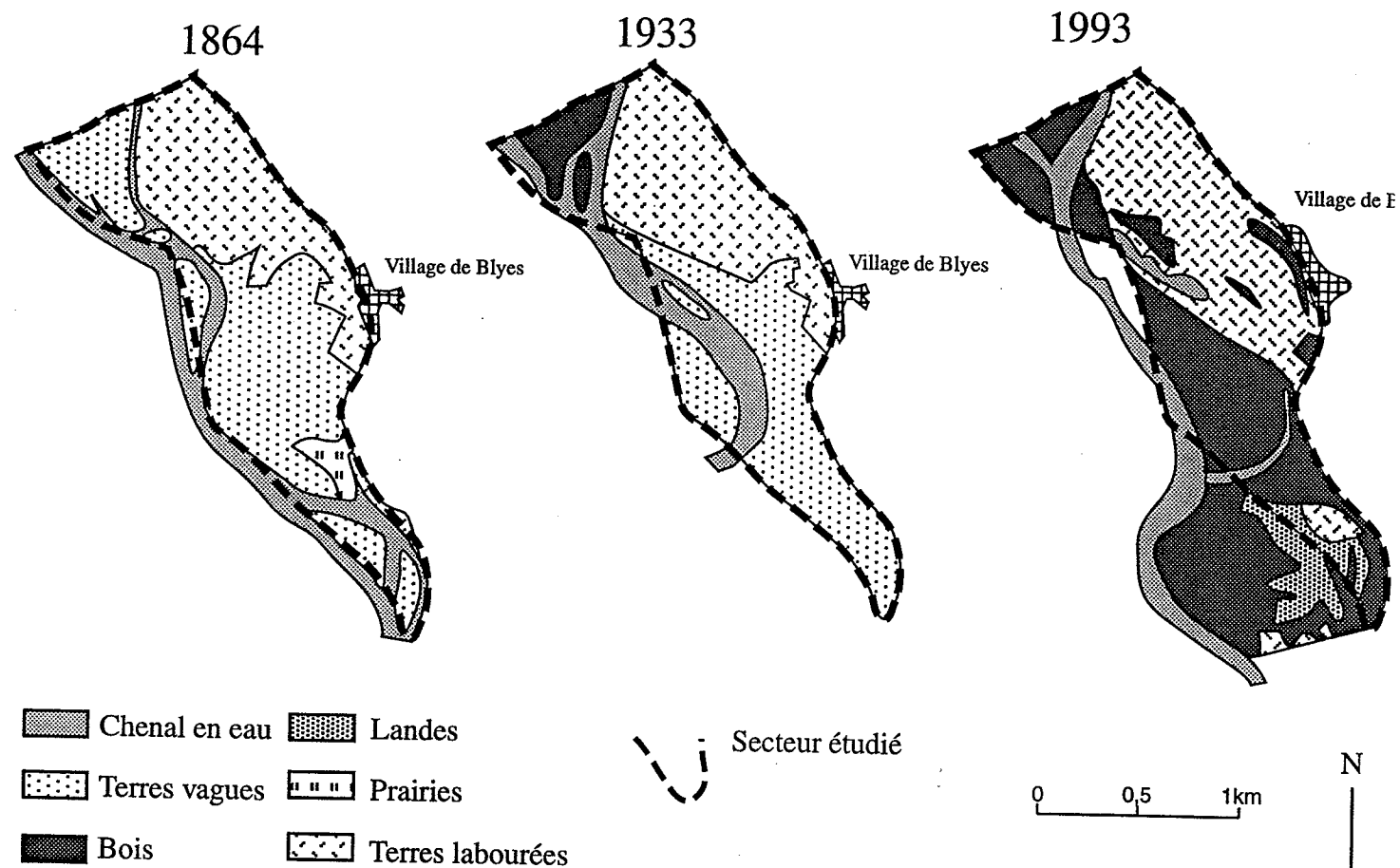


Figure 20 - Le lit majeur de l'Ain sur la commune de Blyes : 1864, 1933 et 1993 (d'après les cadastres anciens, rénové et actuel, Archives Départementales de l'Ain, Bourg-en-Bresse et Service du Cadastre, Trévoux).

### 2.1.2 La période 1947-1991

Une très forte recolonisation de l'hydrosystème par les formations arborées marque la période 1947-1991 (fig. 17A). Avec une augmentation de 110%, la superficie de la forêt passe de 596 ha en 1947, soit 26 % de la bande naturelle, à 1249 ha en 1991, soit 59% de la bande naturelle.

Cette colonisation s'est effectuée sur l'ensemble de la basse vallée (fig. 21). Seuls quelques rares secteurs ont été épargnés par cette évolution comme le tronçon Gévrieux-Mollon, le secteur traversé par l'autoroute A42, et le secteur situé à l'amont de Port Galland qui sont tous très anthropisés.

Cette colonisation présente une dynamique temporelle complexe. Ce phénomène atteint un paroxysme entre 1947 et 1971. Dans le détail, deux secteurs ont été distingués selon qu'ils se situent à l'amont ou à l'aval de Charnoz.

A l'amont de Charnoz, la période 1947-1971 a été marquée par une explosion végétale mais le mouvement s'est estompé par la suite. A l'aval, la colonisation a été plus progressive, voire s'est accéléré après 1971.

La colonisation par les formations arborées s'est faite aux dépens des stades pionniers et des pelouses (fig. 22). Les photographies ont montré que les surfaces à pelouse sèche se sont refermées petit à petit et la recolonisation s'est faite latéralement ou à partir de noyaux épars situés à l'intérieur du lit majeur.

En 1945, les pelouses sèches occupaient une superficie importante mais elles étaient discontinues et entrecoupées par de nombreux bosquets en 1971 alors que la formation arborée était dense et constituait une véritable forêt en 1991. Aussi, les stades pionniers et les pelouses sont passés de 356 et 817 ha en 1947 à 189 et 353 ha en 1991. La recolonisation s'est effectuée également aux dépens de la bande active. Celle-ci a perdu 196 ha, soit 40% de sa surface, entre 1947 et 1991. L'étude cartographique (fig. 23) a montré que cette évolution était essentiellement observée entre 1947 et 1971; entre 1971 et 1991, le mouvement avait en effet été plus modeste.

En outre, l'explosion végétale a touché principalement le tronçon situé à l'aval de Charnoz et ponctuellement quelques secteurs amont tel que Mollon.

## 2.2 L'Ardèche :

### 2.2.1 Le secteur de Chauzon, 1833 - 1993

Les données historiques existantes ont permis de mettre en lumière un important changement de la couverture végétale du lit majeur entre 1830 et 1993.

L'étude a été abordée à grande échelle sur une partie du lit majeur de l'Ardèche située sur la commune de Chauzon (fig. 24). L'occupation de cet espace a beaucoup évolué entre 1833 et 1993. Alors que le chenal avait tendance à migrer en rive gauche et à réduire sa menace sur les terres de la commune, l'occupation humaine reculait. En 1833, le lit majeur était labouré jusqu'au bord du lit mouillé. Un mince liseré de groupements pionniers séparait parfois le chenal des terres labourables. Comme les unités pionnières ont été représentées, le terme "Oz." ("ozeraie") étant très répandu, il paraît possible d'interpréter le chenal cadastré comme étant un espace non végétalisé. Entre 1833 et 1993 s'est ainsi opérée une mutation de l'occupation et les terres labourées ont cédé le pas à des "landes". Le parcellaire changea peu entre les deux dates mais chaque parcelle disposa d'une nouvelle identification culturelle.

Sur le cadastre actuel, la plupart des parcelles existent encore. Rares sont celles qui sont répertoriées comme étant boisées, toutes sont encore en landes. Or, la reconnaissance de terrain et l'observation des photographies aériennes confirment en fait l'existence d'un lit majeur fortement boisé (fig. 25). Le cadastre est erroné car le secteur est aujourd'hui principalement occupé par un taillis. L'interprétation des photographies de 1947 et de 1991, effectuée après une reconnaissance du site, permet de proposer deux images du lit majeur levées au 1/10 000°. Chaque série est exploitée et représente alors un état de l'espace étudié à une date donnée, qui est interprété, scanné, redessiné et rastérisé à l'aide d'un Système d'Information Géographique. La superposition de ces deux états permet de présenter une carte de synthèse des changements survenus dans la mosaïque fluviale au cours de la période. Elle permet d'affiner la démarche précédente, de visualiser l'évolution conjointe et la succession spatio-temporelle des différentes unités à plus grande échelle. L'analyse

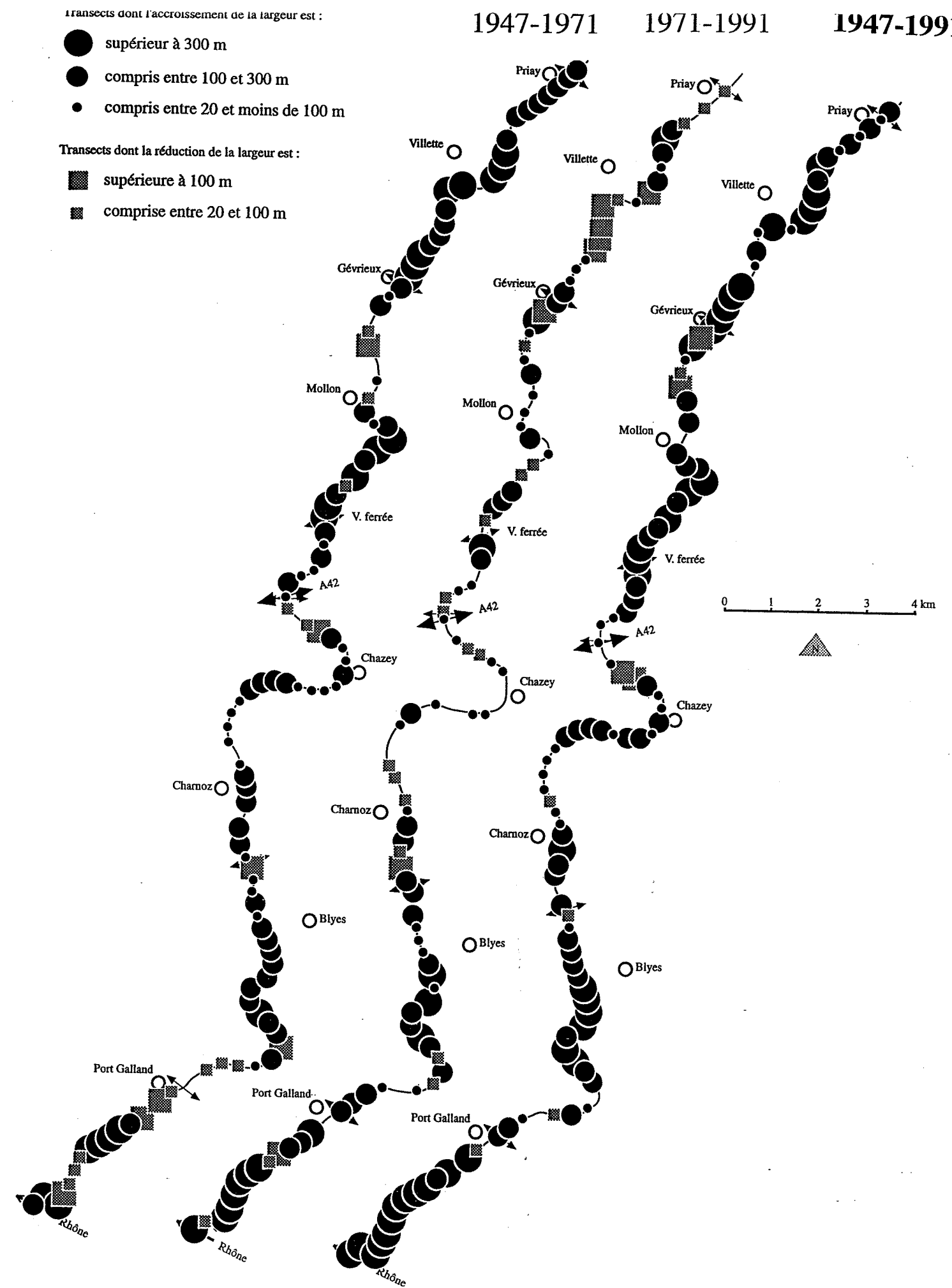


Figure 21 - Evolution de la superficie boisée de la bande naturelle de la rivière d'Ain entre Gévrioux et le Rhône au cours des périodes 1947-1971 et 1971-1991 (largeurs estimées sur des photographies aériennes tous les 250m).

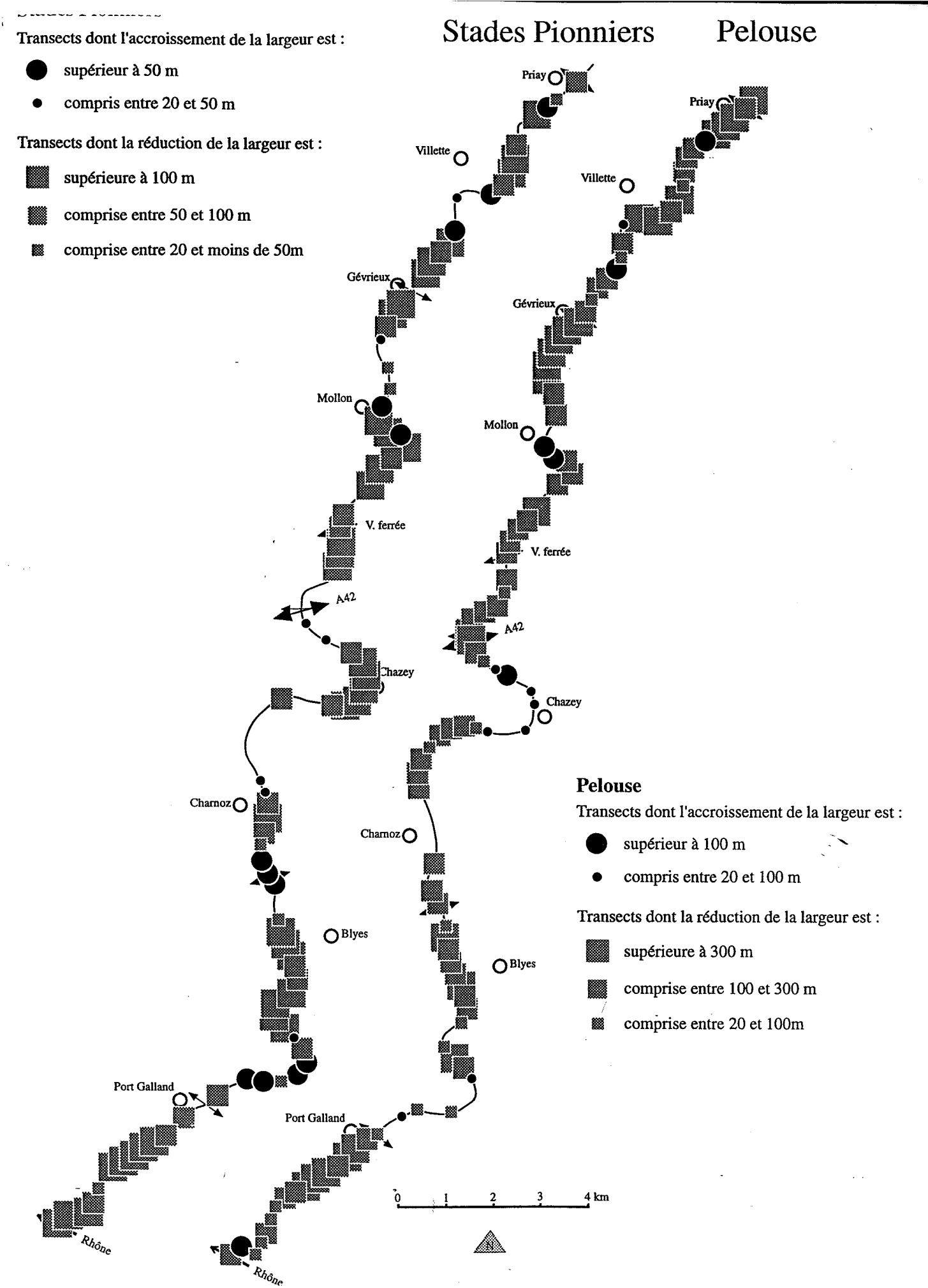


Figure 22 - Evolution de la superficie de la bande naturelle de la rivière d'Ain occupée par les stades pionniers et la pelouse sèche entre Gévrioux et le Rhône entre 1947 et 1991 (largeurs estimées sur des photographies aériennes tous les 250m).

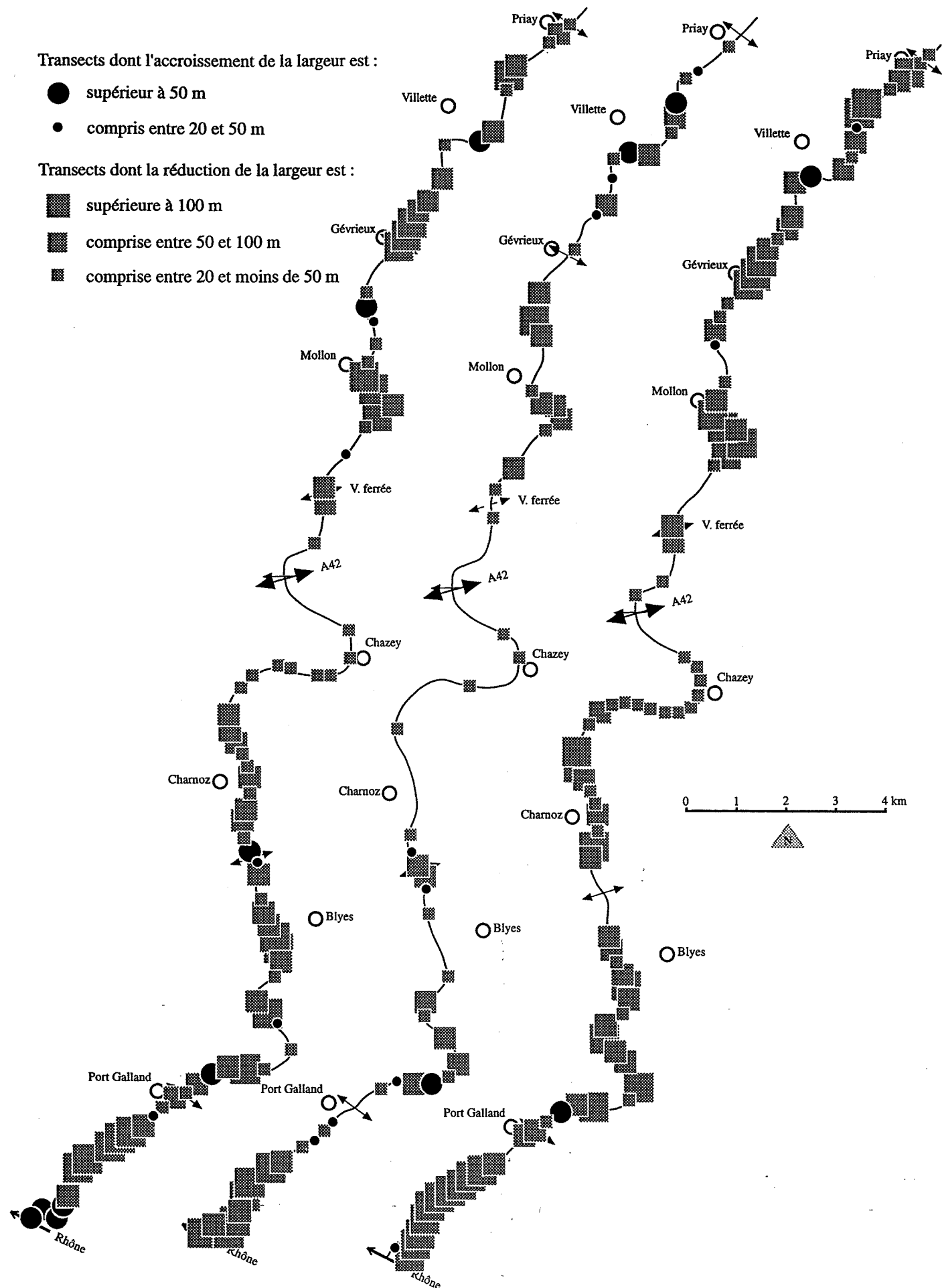


Figure 23 - Evolution de la superficie de la bande active de la rivière d'Ain entre Gévrioux et le Rhône au cours des périodes 1947-1971 et 1971-1991 (largeurs estimées sur des photographies aériennes tous les 250m).

est aussi quantitative, la superficie de chacune des unités étant estimée. En 1947, cet espace est dominé par la pelouse sèche et la forêt n'est présente que sur les berges du chenal principal et des bras-morts. Au cours de la période 1947-1990, la superficie forestière est passée de 23,4% à 59% de l'espace alluvial. Cette progression s'est effectuée aux dépens du lit majeur et du lit mineur. Les unités actuellement boisées mais occupées en 1947 par la pelouse sèche ou la bande active représentent respectivement 30 et 10% de l'espace alluvial actuel.

### 2.2.2 Le tronçon de la moyenne Ardèche, 1833 - 1993

La description de l'évolution de la couverture végétale à l'échelle du tronçon ne peut pas être conduite avant 1950. Malgré tout, la superficie de la bande active a été étudiée sur le tronçon Aubenas-Pradons à partir des plans d'assemblage cadastraux anciens et de la méthode des transects. Un amenuisement très important de la bande active a été observé entre 1830 et 1947. Sa superficie, estimée à près de 334,5 ha en 1830, ne représentait plus que 240,1 ha en 1947. La réduction atteint ainsi 28,2%.

Entre 1950 et 1989, une très forte colonisation forestière a été observée (fig. 17B). La progression est de 160%, la forêt passant de 145 ha en 1947 à 379 ha en 1989.

Cette explosion végétale a touché toute la vallée (fig. 26). Les secteurs épargnés correspondent aux gorges (Balazuc, Pradons-Ruoms) et aux espaces les plus convoités par l'agriculture (aval de Saint-Didier), le tourisme (Sampzon, Vallon-Pont-d'Arc) ou les extractions (Lanas). En revanche, les plaines alluviales et notamment les secteurs situés à l'amont et à l'aval de Vogüé, le secteur de Chauzon et le secteur entre les confluences de la Beaume et du Chassezac, ont été soumis à une forte recolonisation.

Si les stades pionniers sont secondairement atteints, les pelouses sèches et les landes, qui dominaient le lit majeur en 1947, ont subi un recul important (fig. 26). Le rapport d'occupation forêt/pelouse décrit bien l'explosion arborée puisqu'il passe de 0,37 à 4,08 au cours de la période. En 40 ans, le lit majeur à formations herbacées dominantes devient forestier. L'évolution semble continue car les surfaces boisées passent de 393 ha en 1947 à 215 et 93 ha en 1969 et 1989.

Si les surfaces pionnières se réduisent globalement, il existe deux périodes d'évolution. La première (1947-1969) est marquée par une rupture de tendance, les surfaces en pionniers passent ainsi de 200 à 87 ha. Au cours de la seconde période (1969 à 1989), la superficie des surfaces serait plutôt stable, voire en légère progression.

La colonisation forestière semble par contre peu toucher la bande active depuis 1947, sa superficie ne s'étant réduite que de 16% depuis cette date, passant de 402 à 338 ha.

Sur la figure 27, beaucoup de transects ne sont pas représentés. Néanmoins, la plupart des tronçons alluviaux sur lesquels la colonisation arborée est forte en lit majeur disposent d'une bande active qui se réduit nettement. Il y a donc bien eu un ajustement de la végétation (ou bioajustement) dans les secteurs à géométrie variable mais celle-ci a été inégale au cours de la période. De 1947 à 1969, la recolonisation a été très forte et s'est inscrite sans doute dans le mouvement observé dès la période précédente. De 1969 à 1989, l'évolution a été plus floue avec une nette colonisation à l'amont de Vogüé mais des tronçons sur lesquels la largeur du lit s'est aussi réduite. Au cours de cette dernière période, la forêt aurait ainsi reculé de 12 ha.

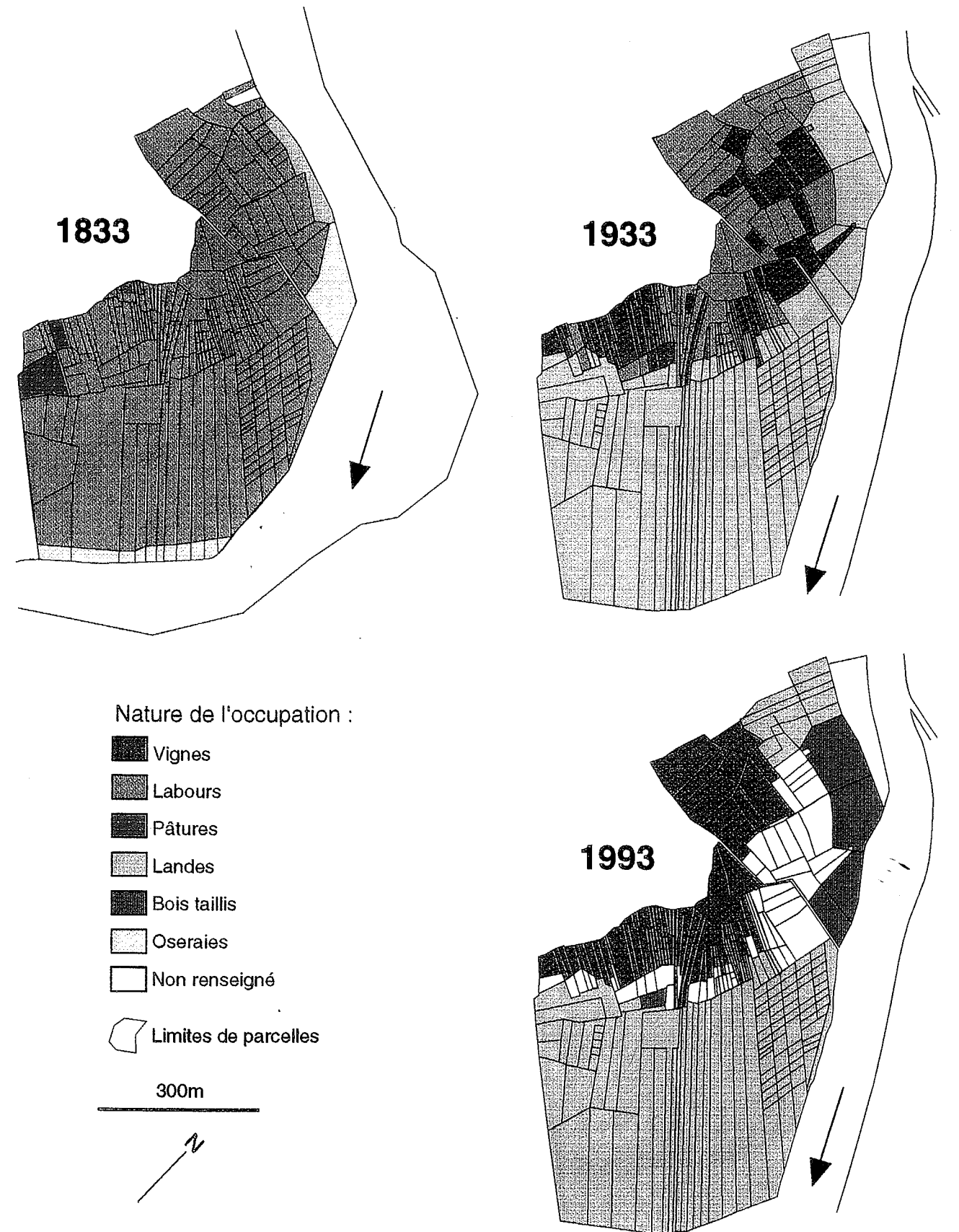


Figure 24 - Evolution de l'usage du sol dans le lit majeur de l'Ardèche, exemple de la commune de Chauzon en 1833, 1933 et 1993 (d'après les plans cadastraux, Service du Cadastre, Privas).

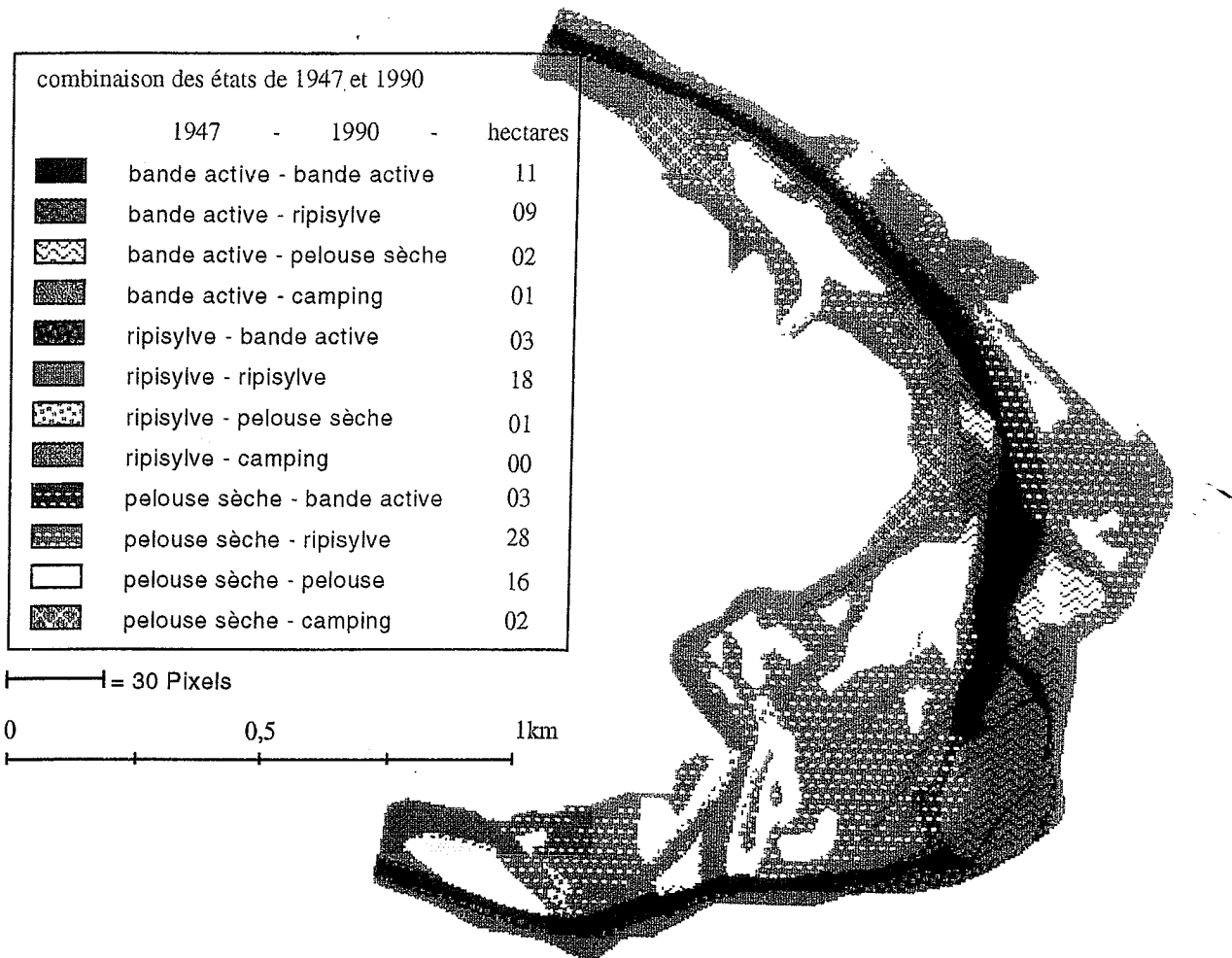
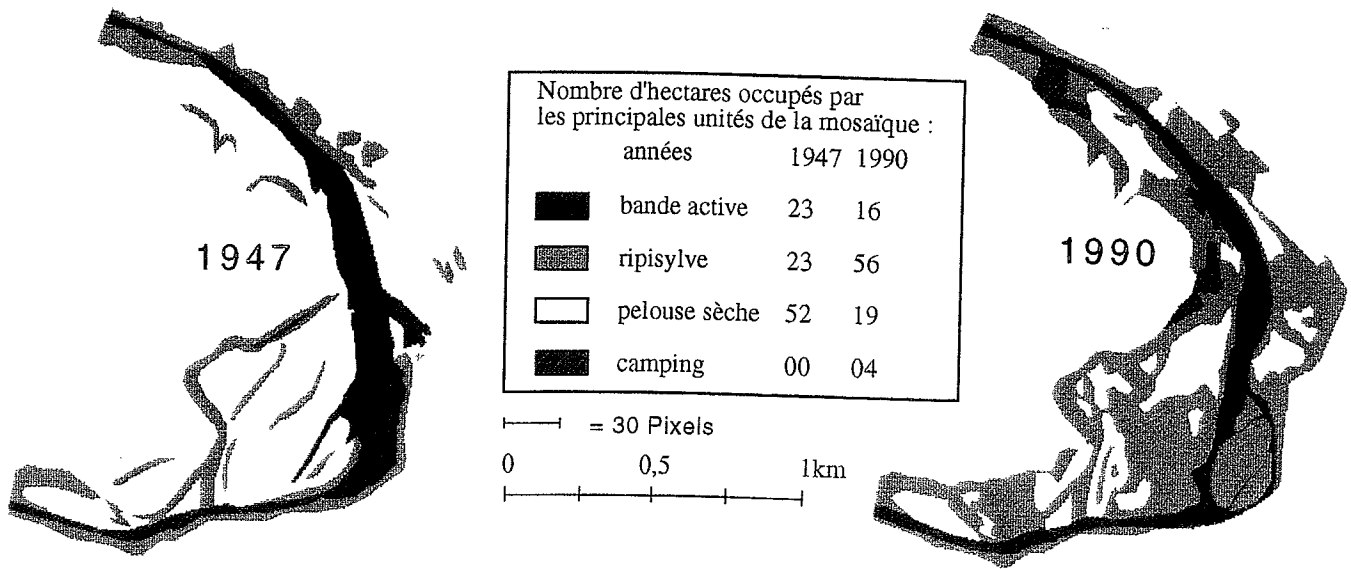


Figure 25 - La bande naturelle du méandre de Chauzon entre 1947 et 1991, évolution de la superficie occupée par différentes unités de végétation (d'après des photographies aériennes et une analyse spatio-quantitative par SIG).

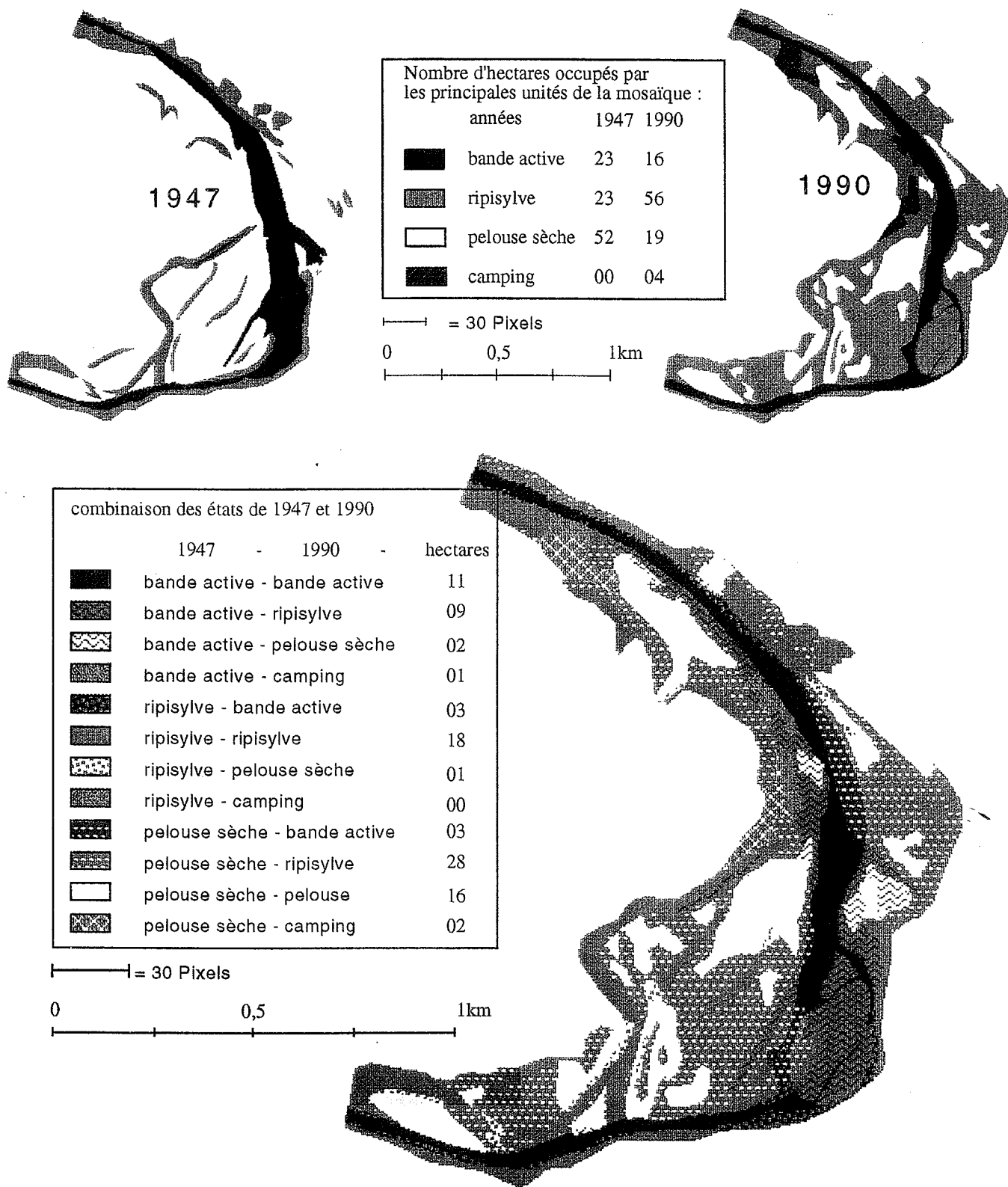
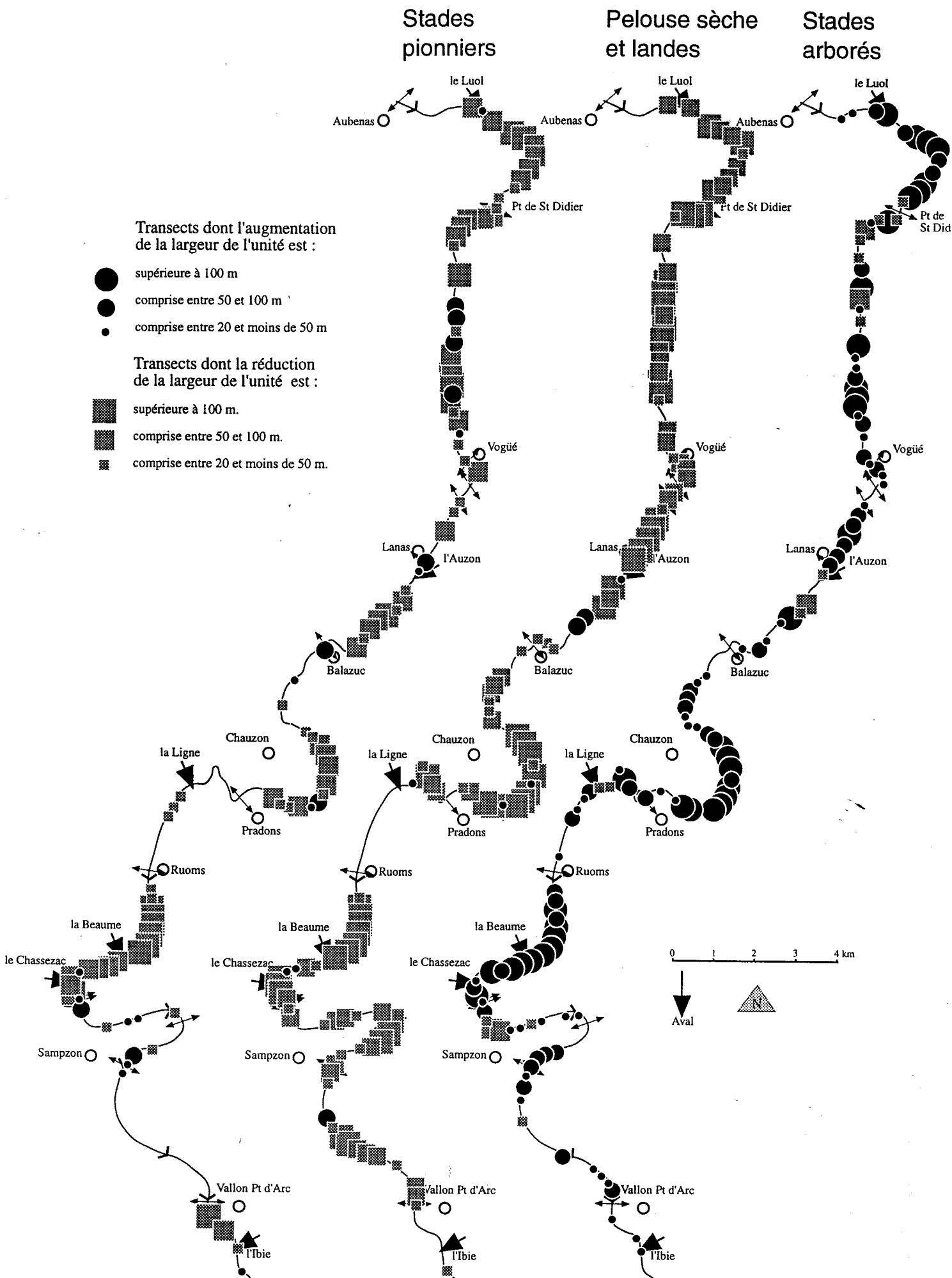


Figure 25 - La bande naturelle du méandre de Chauzon entre 1947 et 1991, évolution de la superficie occupée par différentes unités de végétation (d'après des photographies aériennes et une analyse spatio-quantitative par SIG).



**Figure 26 - Evolution de la superficie de la forêt (A), des stades pionniers (B) et de la pelouse sèche (C) dans la bande naturelle de l'Ardèche entre Aubenas et le Pont d'Arc entre 1947 et 1989 (largeurs estimées sur des photographies aériennes tous les 250m).**

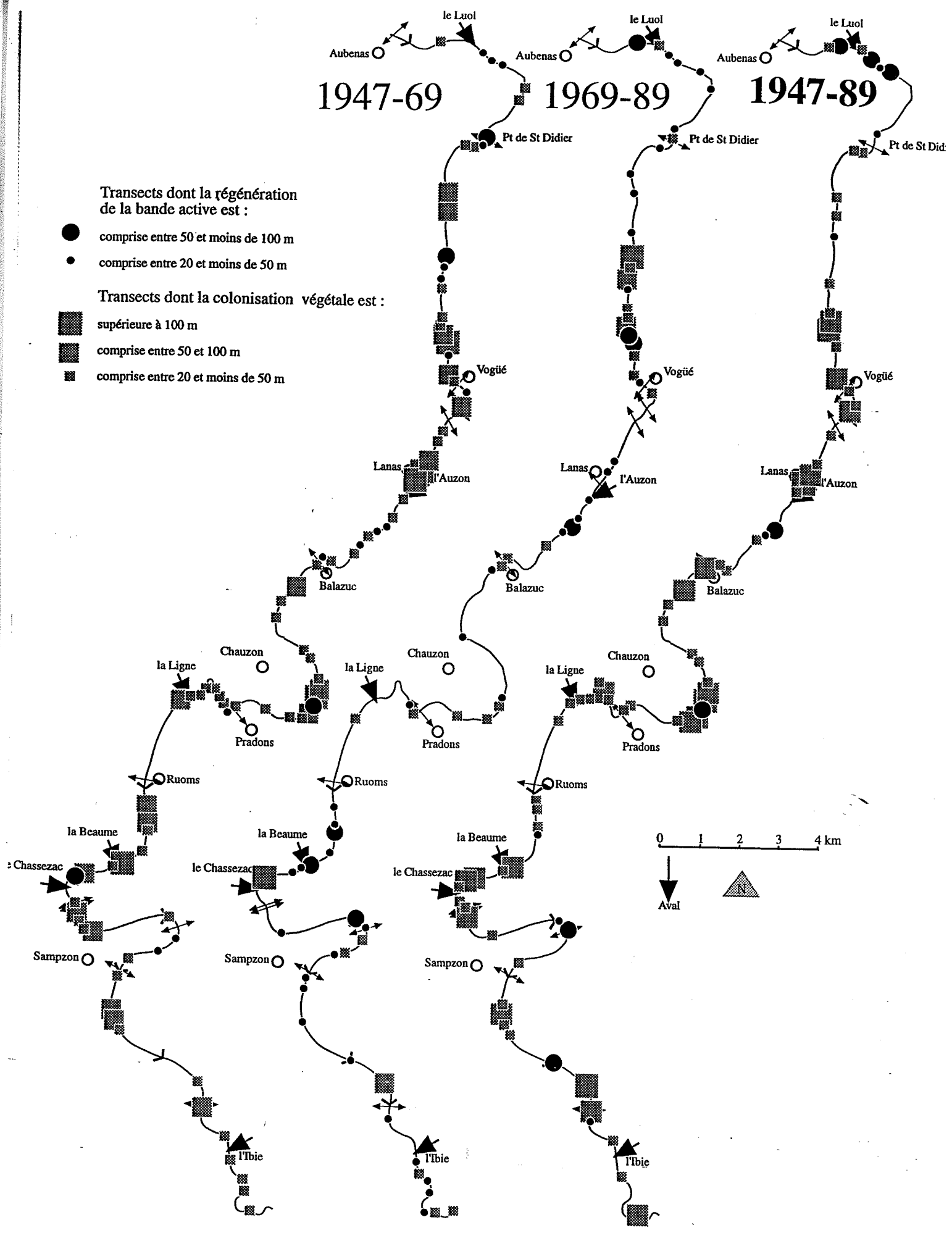


Figure 27 - Evolution de la colonisation forestière de la bande active de l'Ardèche entre Aubenas et le Pont d'Arc durant les périodes 1947-1969 et 1969-1989 (largeurs estimées tous les 250 m sur des photographies aériennes).



## 2.3 Le Giffre:

### 2.3.1 La source cadastrale : 1734-1993

Les sources disponibles, plus anciennes et plus précises que dans d'autres régions, sont riches d'enseignement. La Mapped sarde de 1734 et les plans d'assemblage au 1/10 000<sup>e</sup> du cadastre français de la fin du XIX<sup>e</sup> siècle permettent de bien observer l'évolution contemporaine de la végétation du lit majeur et de la superficie de la bande active. Une analyse qualitative du type d'occupation a été conduite sur la commune de Morillon, au XVIII<sup>e</sup> siècle (Mappe sarde), au début du XX<sup>e</sup> siècle (cadastre ancien) et aujourd'hui (cadastre actuel) afin de confirmer les observations effectuées à l'échelle du tronçon.

La Mappe sarde est conservée aux Archives Départementales de Haute-Savoie mais actuellement, aucune copie, même partielle, n'est possible; seule la photographie, à partir de laquelle une carte peut être levée (Peiry, 1989), est parfois autorisée. Sur les plans observés (Photographie 9), la bande active ne semble pas endiguée sur la totalité du tronçon et la bande naturelle concédée actuellement au cours d'eau l'était déjà en 1734. Néanmoins, elle était occupée par une formation pionnière arbustive très étendue. Sur la feuille de Morillon (secteur non endigué), le chenal est large, à tresses et comporte de nombreux îlots en 1733. Un relevé qualitatif du type d'occupation des parcelles a été effectué dans le chenal (îlots) et sur la première et la deuxième lignes de parcelles qui le bordent sur une largeur de 100 à 200 m (fig. 28). 82% et 14% des possessions dans le chenal sont respectivement des bancs de galets et des broussailles (îlots). La première ligne de parcelle est d'abord constituée de broussailles (40,5%) mais aussi de champs (30%). Sur la deuxième ligne, les champs deviennent prépondérants (58,5%).

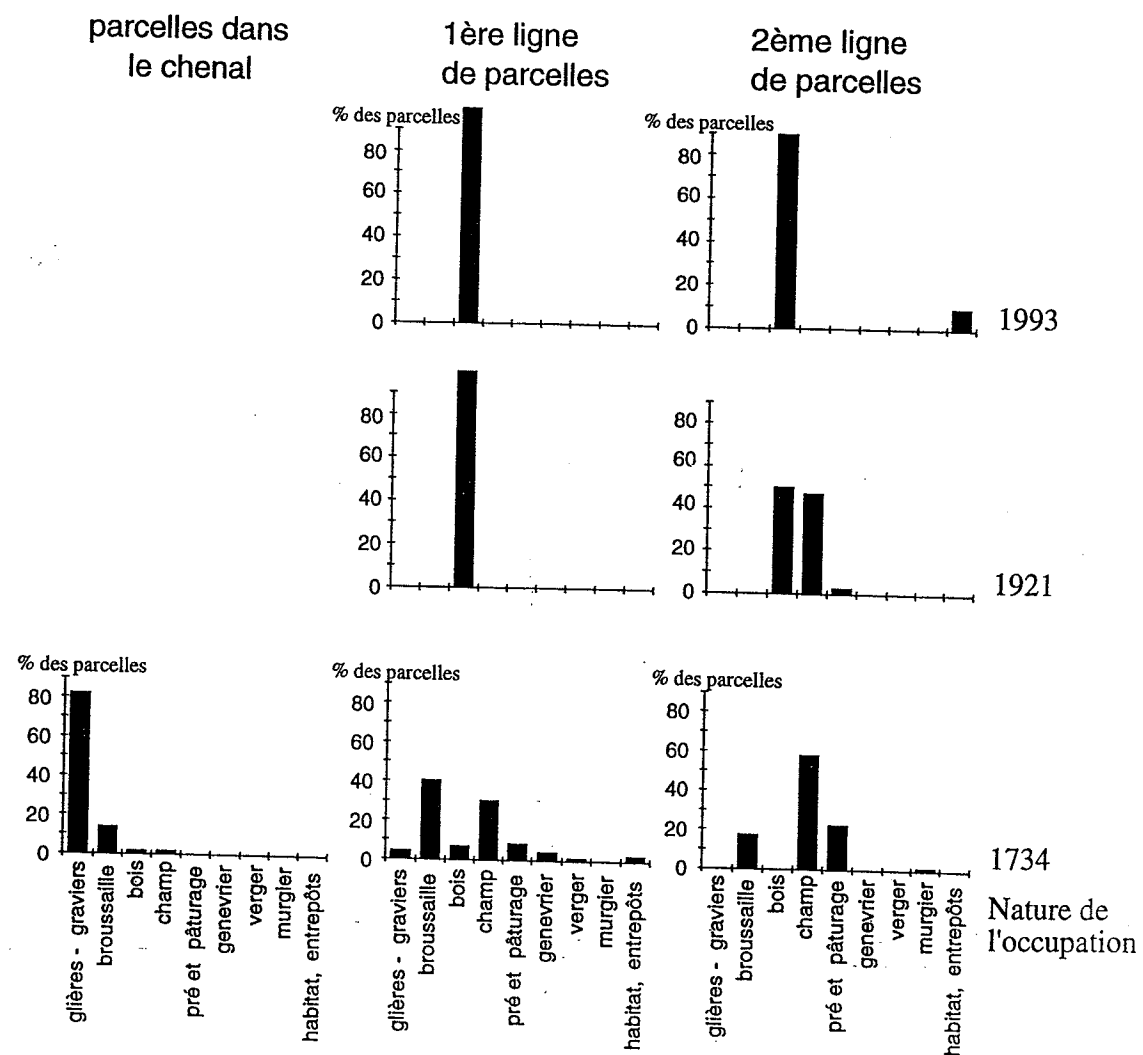


Figure 28 - Relevé qualitatif de la nature de l'occupation des parcelles cadastrées situées dans le lit majeur du Giffre en 1734, 1921 et 1993, commune de Morillon (d'après les plans cadastraux, Archives Départementales de Haute-Savoie, Annecy et Service du Cadastre, Bonneville).

L'observation de ce même espace est possible à la fin du XIX<sup>e</sup> ou au début du XX<sup>e</sup> siècle. La figure 29 montre que le lit majeur était totalement boisé de la gorge des Tines à Taninges. La bande active était localement plus étroite, des endiguements ayant été réalisés depuis 1733. Néanmoins, cet espace était encore très vaste (120,3 ha) mais va se réduire de 10,3% entre 1903-1920 et 1934. La qualité du travail cadastral a permis de construire une carte à partir du seul plan d'assemblage sur lequel figurent les types d'occupation. Les auteurs ont même précisé la nature de la forêt qualifiée tantôt de "bois" tantôt de "sap." (sapins). L'implantation d'une sapinière sur cet espace semble une volonté humaine car sa présence est discontinue, le plus souvent en arrière des digues et la série climacique est plutôt composée de feuillus (*Ulmus montana*, *Fagus sylvatica*). L'étude qualitative des documents cadastraux de Morillon (1921) montre que 100% des parcelles sont en "Bois", leur nombre étant par ailleurs passé de 69 à 6.

En 1993, les parcelles riveraines du Giffre sont constituées de bois mais leur nombre s'est encore réduit. Ce constat pourrait être interprété comme une appropriation progressive des terrains par la collectivité afin de mieux lutter contre les crues de la rivière. Ceci est surtout vrai dans les zones endiguées; il y a en effet une forte correspondance spatiale entre les tronçons en digues et la sapinière de protection. Dans les secteurs non endigués en revanche, la propriété est restée très parcellisée. Néanmoins, la lutte contre le cours d'eau n'a pas été conduite que par l'Etat, les communautés rurales locales y ont également participé en favorisant et en maintenant une forêt sur leur possession (Mougin, 1914).

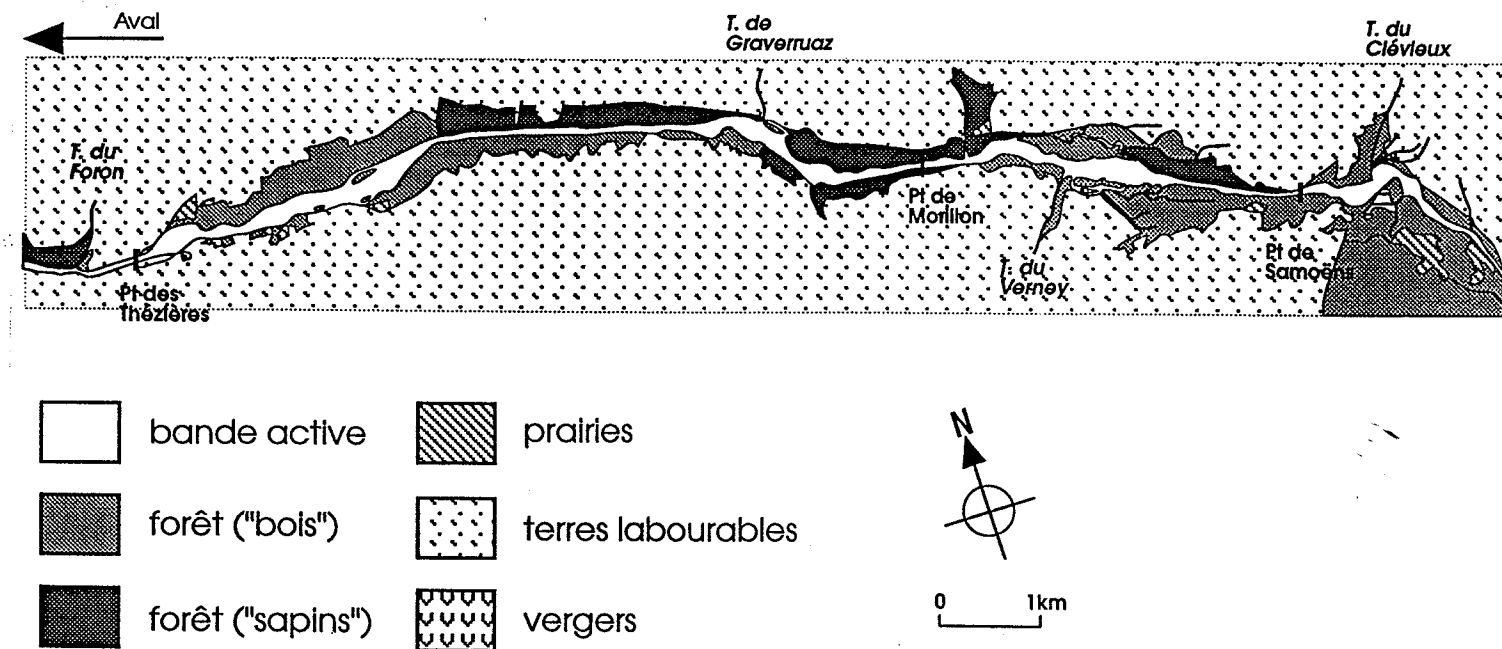


Figure 29 - Le Giffre et la bande naturelle concédée au cours d'eau par les riverains à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle (d'après le cadastre ancien, Service du Cadastre, Bonneville).

### 2.3.2 La période 1934 - 1984

L'espace de la forêt est resté globalement stable entre 1934 et 1984 (fig. 17C). Seuls 12 ha, soit 4% de la surface boisée de 1934, ont été perdus entre cette date et 1974. La baisse a été plus nette après 1974, notamment entre Samoëns et Morillon (fig. 30), la surface boisée passant de 265 à 238 ha.

Cette modeste réduction de l'espace forestier ne s'est fait ni aux dépens des stades pionniers ni aux dépens de la bande active. C'est plus une anthropisation ponctuelle et progressive du lit majeur qui a été à l'origine de cette réduction récente.

D'ailleurs, les stades pionniers, peu présents dans la vallée (rares sont les transects représentés sur la figure 31A), ont également vu leur surface se réduire très fortement, celle-ci passant de 22 à 12 ha entre 1934 et 1984. La plus forte réduction a été enregistrée au cours de la période 1974 -1984. Or, la bande active est restée stable (fig. 31B) et n'a perdu que 4 ha entre 1934 (91 ha) et 1984 (87 ha).

Par conséquent, la surface occupée par la forêt, les stades pionniers et la bande active a enregistré une faible baisse qui prouve qu'il n'y a pas eu ici de bioajustement des unités naturelles les unes par rapport aux autres. Aussi, il paraît difficile de parler d'une explosion des formations arborées postérieure à 1950.

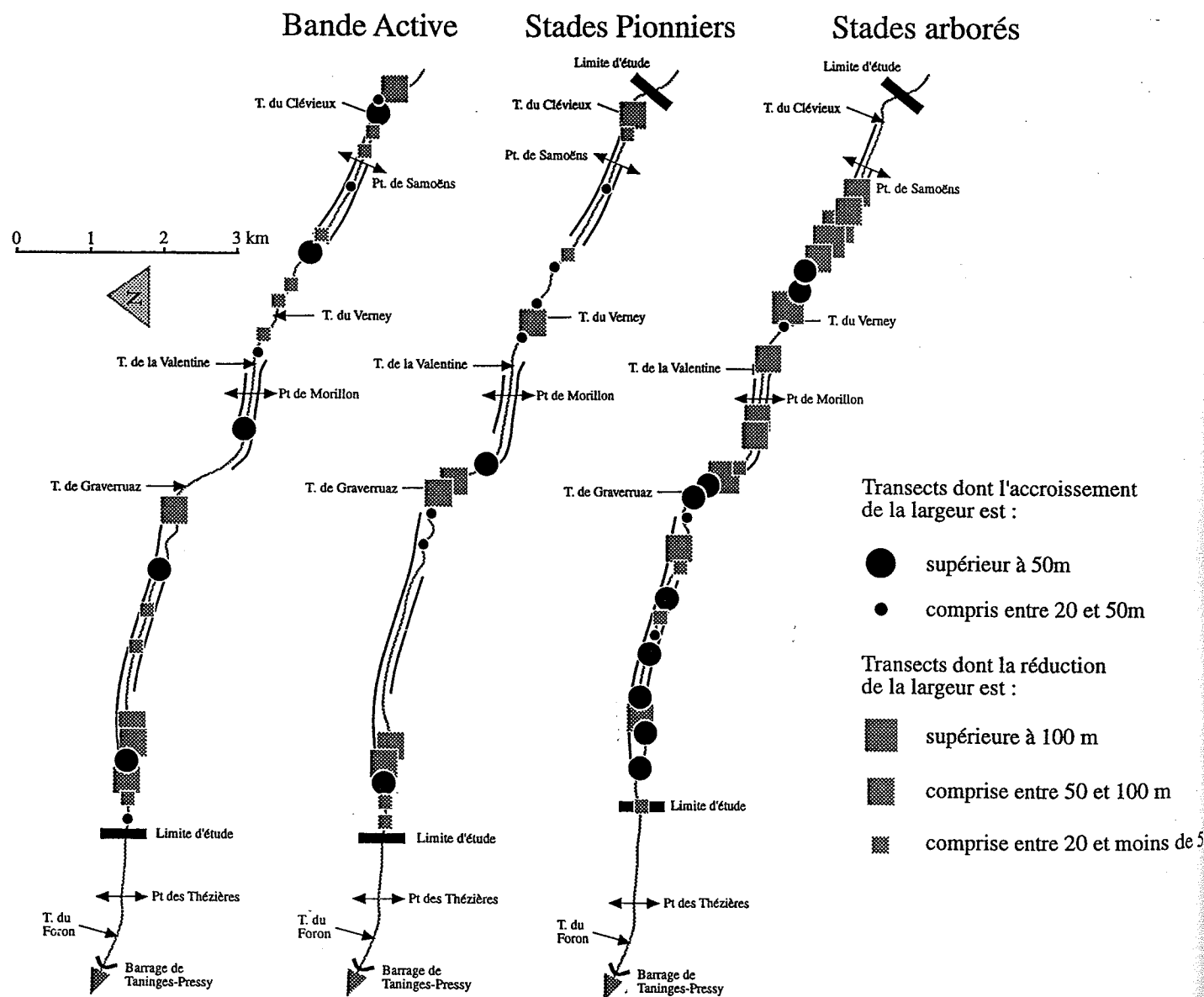


Figure 30 - Evolution de la bande active, de la forêt et des stades pionniers du Giffre moyen entre 1934 et 1984 (largeurs estimées tous les 250m sur des photographies aériennes).

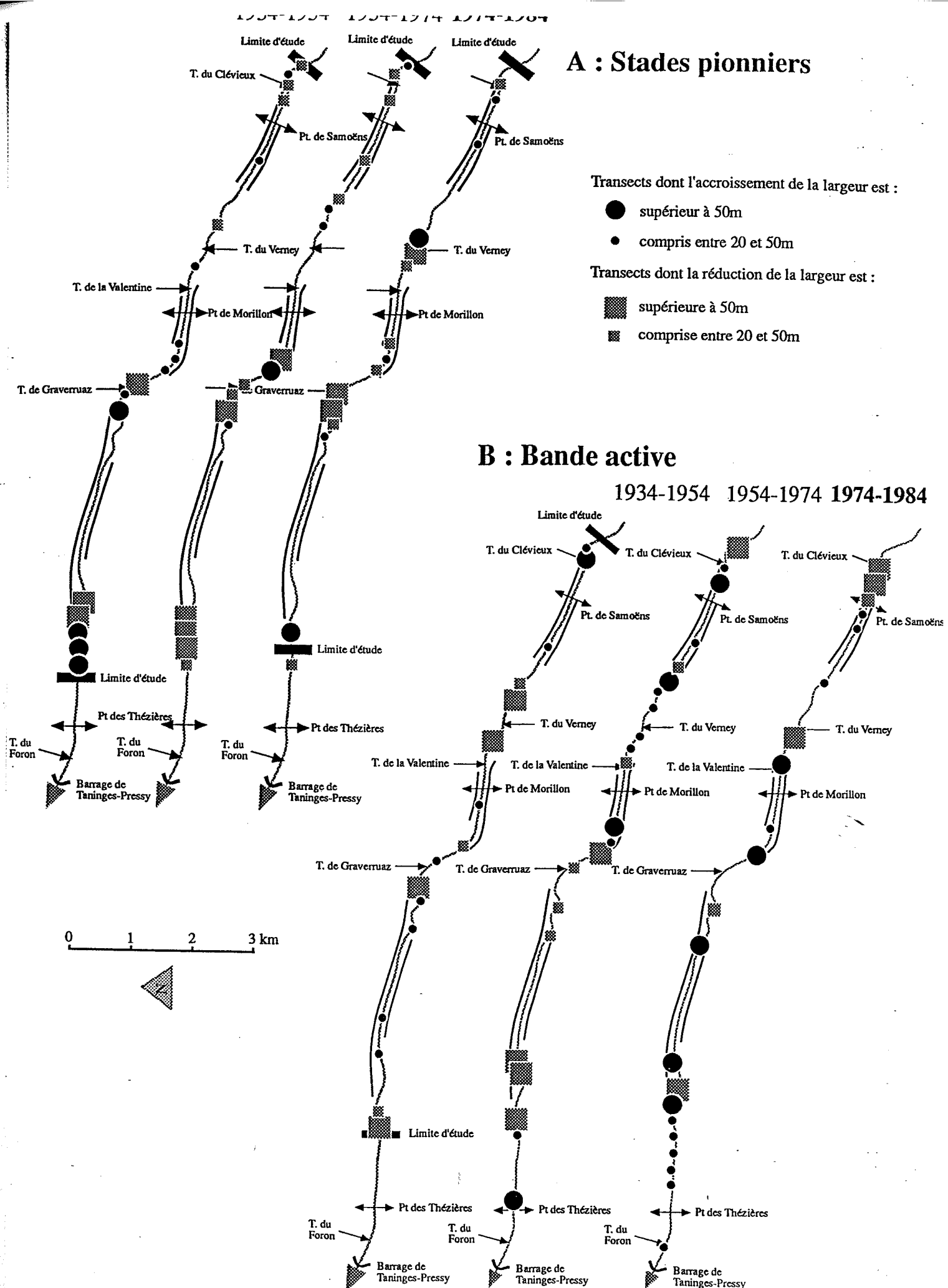


Figure 31 - Evolution des stades pionniers (A) et de la bande active (B) du Giffre moyen durant les périodes 1934-1954, 1954-1974 et 1974-1984 (largeurs estimées tous les 250m sur des photographies aériennes).

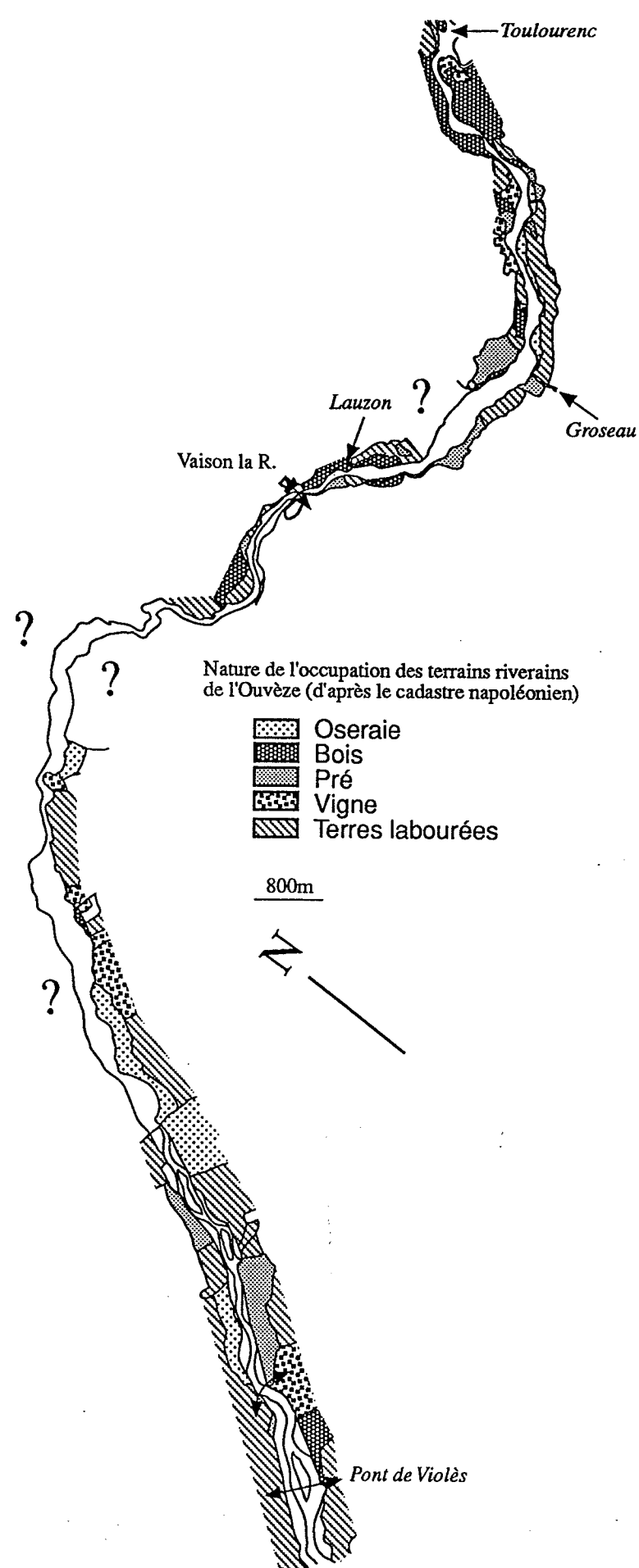


Figure 32 - L'occupation des parcelles riveraines du lit mineur de l'Ouveze entre la confluence avec le Toulourenc et la commune de Violès au milieu du XIX<sup>e</sup> siècle (d'après les plans d'assemblage de l'ancien cadastre, Service du Cadastre, Orange).

## 2.4 L'Ouveze :

### 2.4.1 La période 1830-1950

L'étude historique a été globalement abordée à l'échelle du tronçon grâce à deux documents : le cadastre datant de 1830 environ et une "carte topographique du canton de Vaison formant la troisième de l'Atlas cadastral de Vaucluse dressée sous les Auspices du Conseil Général et de Mr O. de Bréville" en 1857 (échelle 1/40 000<sup>e</sup>). Une étude qualitative du type d'occupation des parcelles a été enfin proposée sur le tronçon de la commune de Mollans-sur-Ouveze (Drôme) à partir du cadastre de 1836.

Le cours de l'Ouveze entre la confluence avec le Toulourenc et la commune de Violès a été étudié sur les plans d'assemblage de l'ancien cadastre (fig. 32). La bande active a été clairement identifiée et sa surface estimée à 351 ha sur ce tronçon, soit 2 fois plus que la bande active de 1947 estimée à 171 ha. Le type d'occupation du lit majeur a également été reporté. Cette information, collectée sur les plans d'assemblage, n'existait pas pour toutes les communes ce qui explique qu'elle ne soit pas cartographiée sur l'ensemble du linéaire d'étude. Néanmoins, 42% des berges sont occupées par des terres labourées ou des vignes en contact direct avec la bande active. Ceci est confirmé par la carte de 1857 (fig. 33) sur laquelle 67%, 10% et 5% des surfaces riveraines de la bande active sont respectivement occupées par des terres labourées, des vignes et des prés alors que seulement 16% d'entre elles, sont boisées.

De plus, l'étude qualitative de l'occupation des parcelles sur la commune de Mollans-sur-Ouveze montre qu'en 1836, seules 29% de celles qui sont situées en bordure de la bande active, sont colonisées par des formations pionnières. En revanche, 15% et 22% de ces parcelles sont occupées par des terres labourables et des prés. Sur la deuxième ligne de parcelles, les oseraies ont disparu et les prés représentent 62% des parcelles contre 23% pour les terres labourables (fig. 34). Cette étude est assez représentative de l'occupation

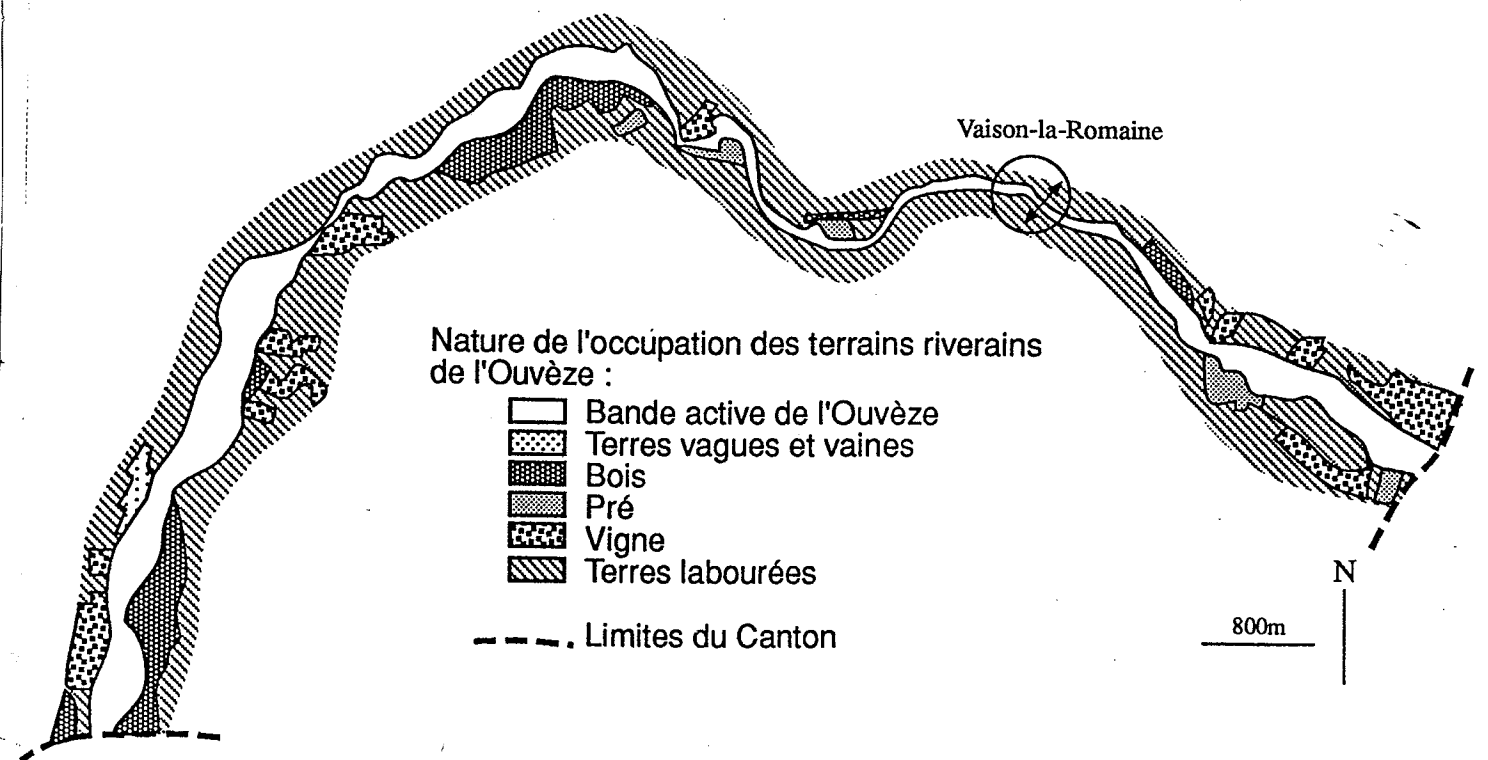


Figure 33 - L'occupation des parcelles riveraines de la bande active de l'Ouveze dans le canton de Vaison en 1857 (d'après la carte topographique de l'Atlas cadastral de Vaucluse dressée sous les Auspices du Conseil Général et de Mr O. de Bréville", échelle 1/40 000<sup>e</sup>, Service du Cadastre, Orange).

réelle dans la mesure où les parcelles observées ont des surfaces extrêmement homogènes. La prise en compte des oseraies dans le recensement laisse penser que la surface qui n'est pas prise en compte correspond effectivement à la seule bande de tressage. Aussi, l'espace cultivé est souvent en contact direct avec la bande de tressage. Les parcelles boisées n'existent ni sur la première ligne ni sur la seconde ligne de parcelles et les prés forment sans doute l'armature paysagère du lit majeur.

L'ensemble de ces remarques permet de décrire le système Ouvèze au milieu du XIX<sup>e</sup> siècle. L'homme est assez fortement implanté en lit majeur où il dispose de prés mais aussi de terres labourables et de vignes; la bande active est large et la forêt est inexistante.

### 2.4.2 La période 1950-1991

Une très forte colonisation de l'hydrosystème Ouvèze par des formations arborées caractérise la période 1947-1991 (fig. 17D). Entre ces deux dates, la forêt progressa en effet de 120 % passant de 156 ha à 287 ha.

Cette colonisation ne touche pas l'ensemble du tronçon étudié (fig. 35). Elle n'a été réellement observée qu'à l'aval de Roaix. La présence de la zone urbaine de Vaison-la-Romaine et d'un tronçon en gorge à l'amont du Pont Saint-Michel n'explique que partiellement cela car entre ces deux secteurs un tronçon situé en plaine n'a lui-même pas été touché par l'explosion des formations arborées.

Cette évolution s'est effectuée aux dépens de la bande active et du lit majeur occupé par des formations pionnières et des landes sèches. Ces dernières, ayant une superficie peu importante, sont faiblement représentées sur la carte. Pourtant leur surface s'est fortement réduite passant de 19 à 9.5 ha entre 1947 et 1991 (fig. 36 et 37).

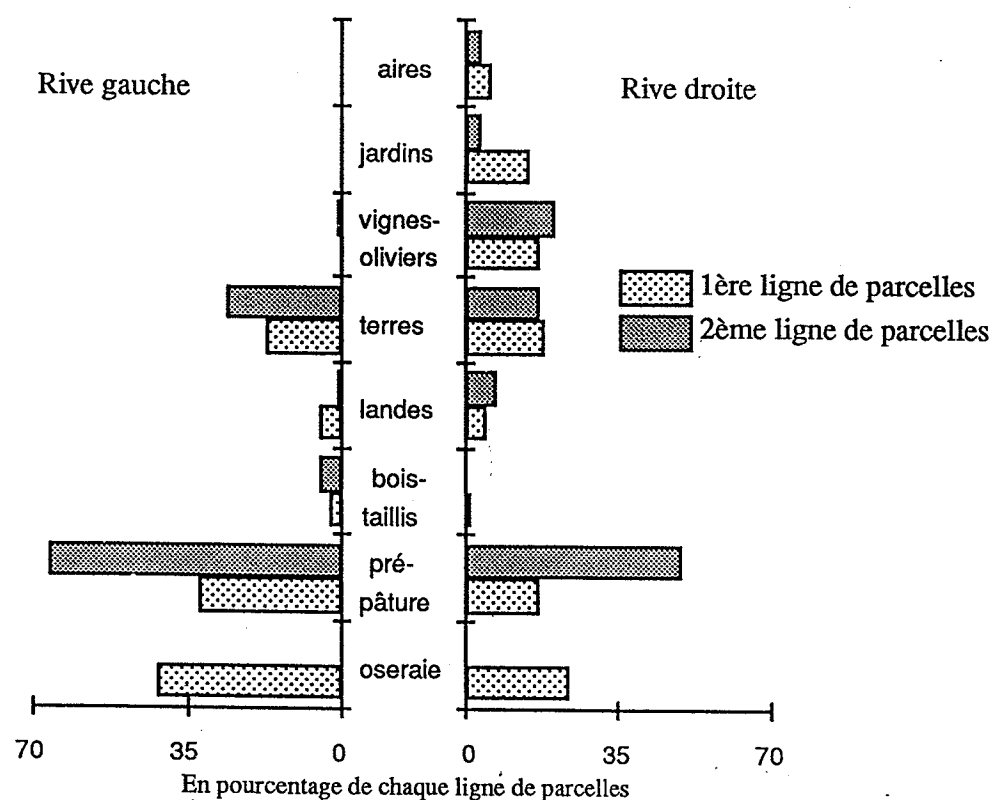


Figure 34 - Relevé qualitatif de l'occupation des sols de parcelles cadastrées situées dans le lit majeur de l'Ouvèze en 1836, commune de Mollans-sur-Ouvèze (d'après les sections cadastrales, Archives Départementales de la Drôme, Valence).

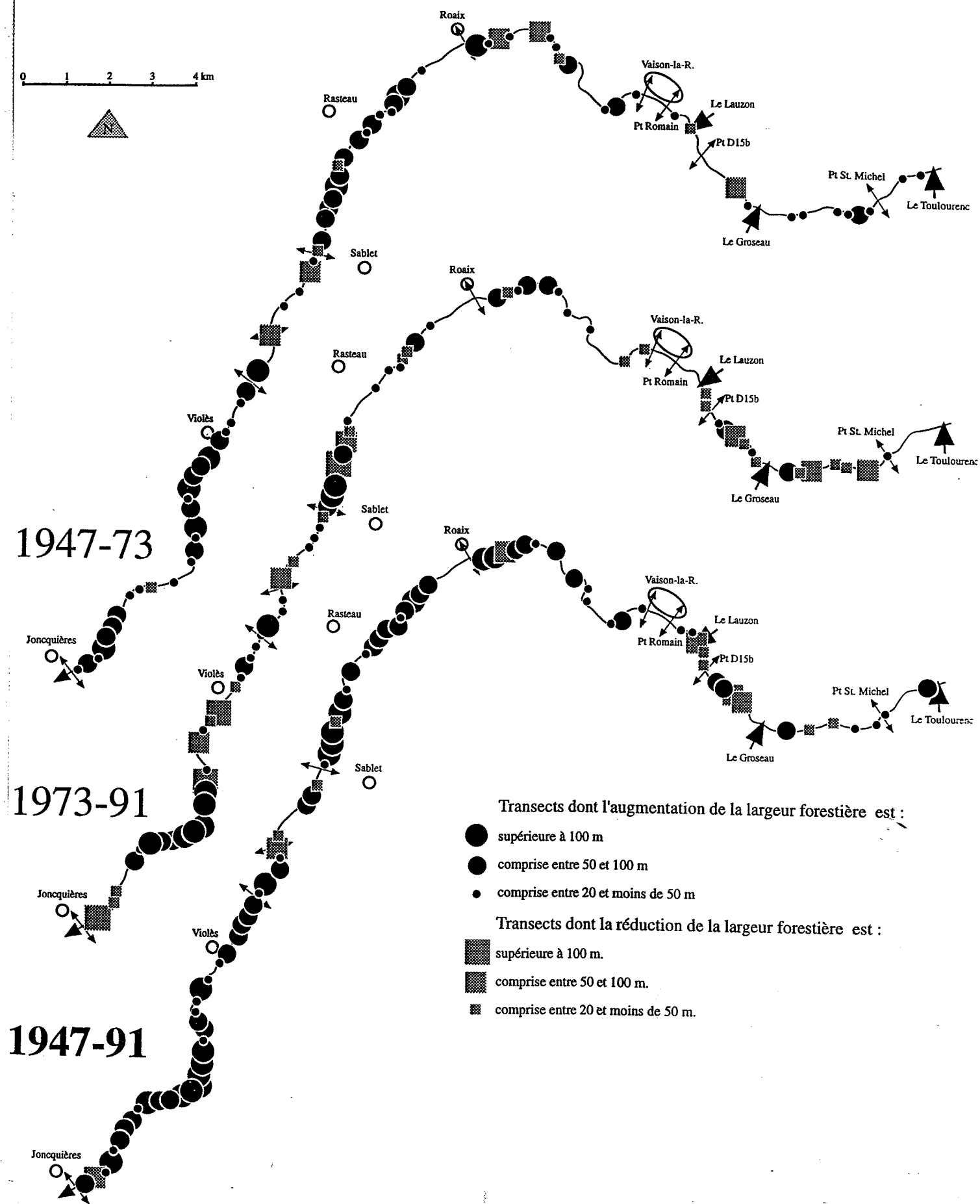


Figure 35 - Evolution de la largeur de la forêt alluviale de l'Ouvèze moyenne durant les périodes 1947-1973 et 1973-1991 (largeurs estimées tous les 250m sur des photographies aériennes).

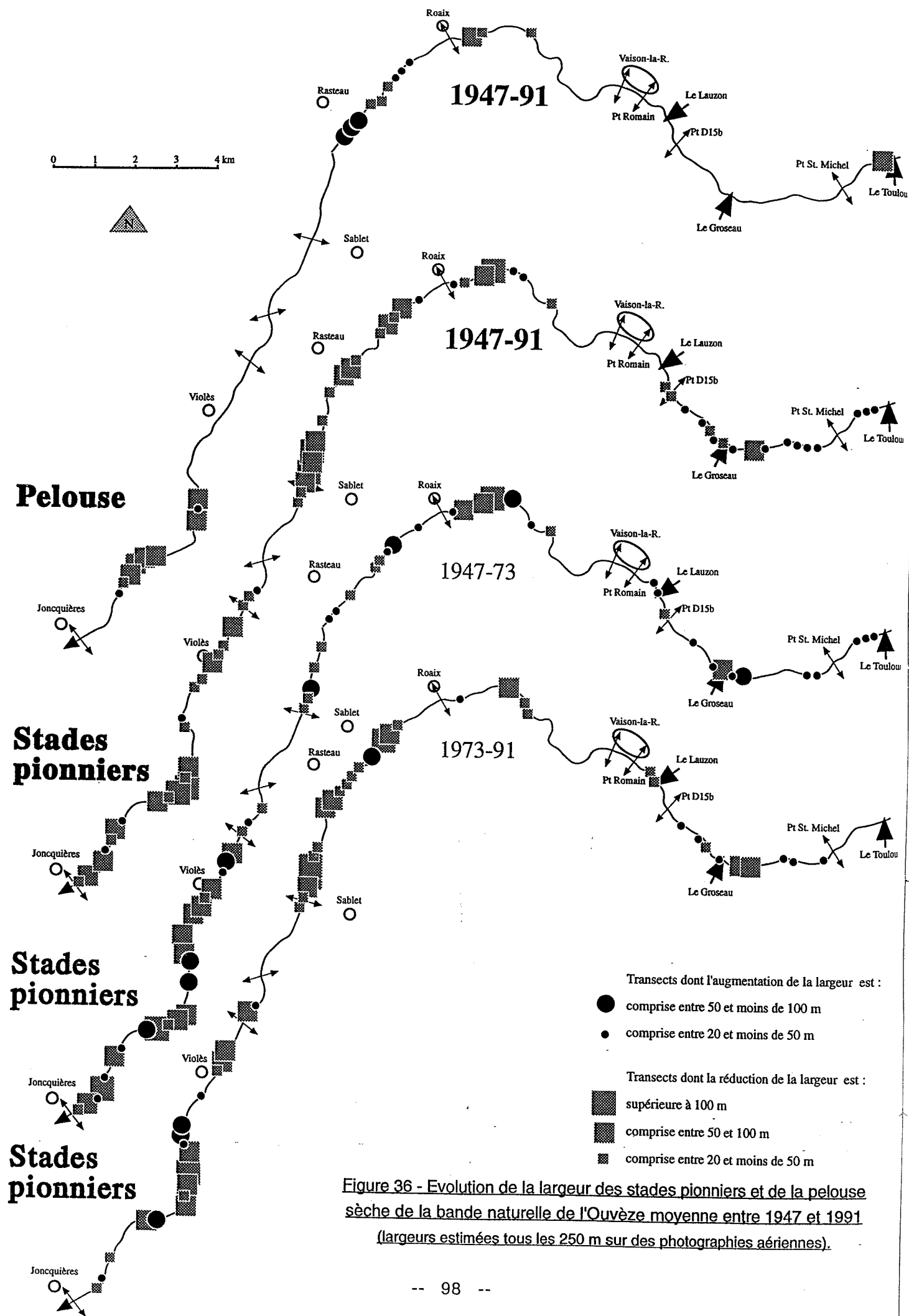


Figure 36 - Evolution de la largeur des stades pionniers et de la pelouse sèche de la bande naturelle de l'Ouveze moyenne entre 1947 et 1991 (largeurs estimées tous les 250 m sur des photographies aériennes).

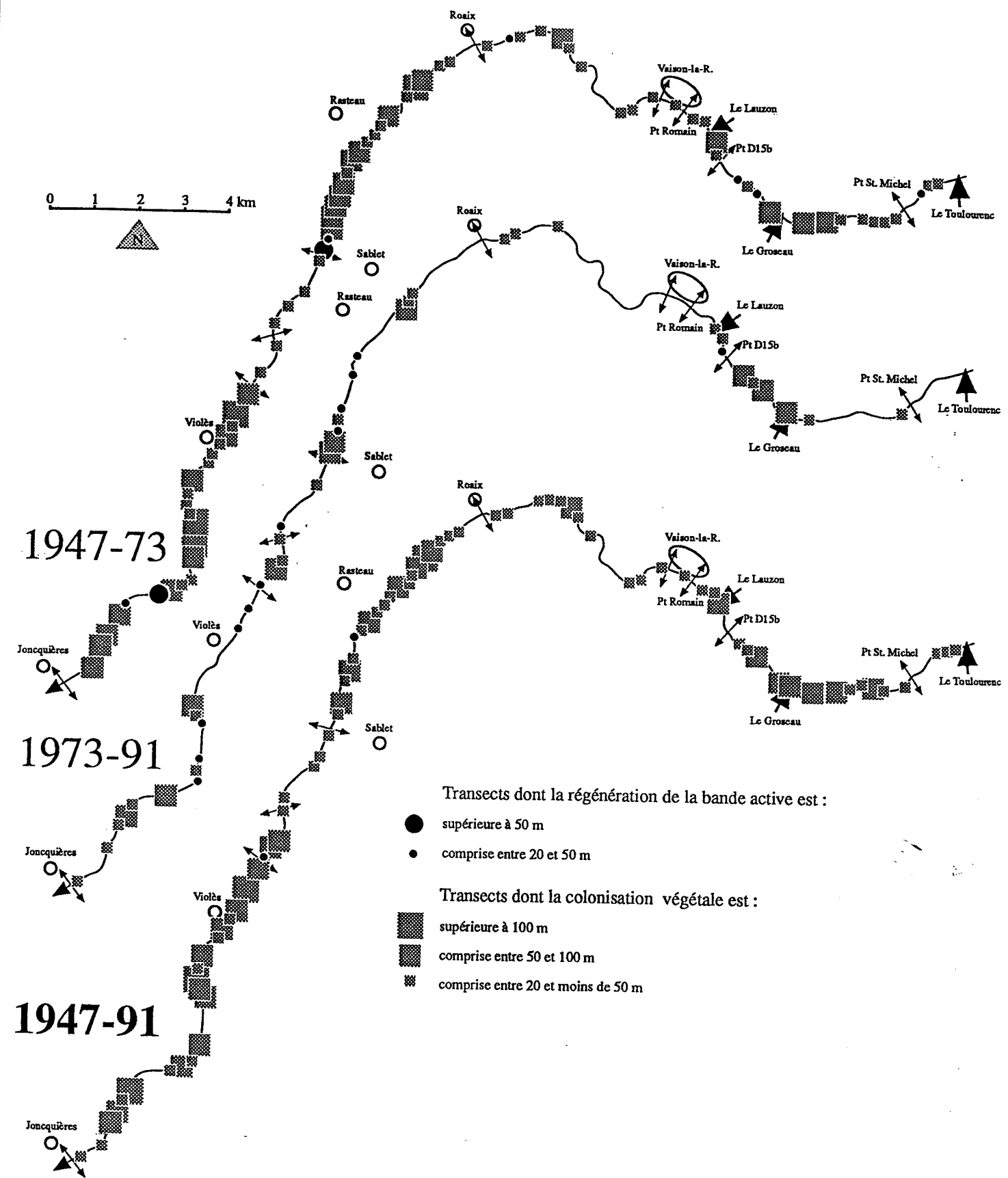


Figure 37 - Recolonisation forestière de la bande active de l'Ouveze moyenne durant les périodes 1947-1973 et 1973-1991 (largeurs estimées tous les 250 m sur des photographies aériennes).

Deux périodes d'évolution se distinguent : 1947-1973 et 1973-1991. L'explosion arborée est davantage observée au cours de la première à l'exception de la zone amont de Violès et de la zone médiane du secteur Violès-Joncquières qui seront touchés plus tard.

Le développement des formations arborées au cours des années 1950-70 s'est effectuée sur l'ensemble de l'espace fluvial aux dépens non seulement des stades pionniers à l'aval de Violès mais également de la bande active sur l'ensemble du tronçon aval et surtout dans le secteur de Rasteau. La surface de la bande active est donc passée de 259 ha en 1947 à 176 ha en 1973. Le terme d'"explosion" est ainsi approprié puisqu'en 25 ans, un stade forestier a succédé à un stade abiotique. La régression des formations pionnières, observée sur la carte, est mal identifiée, les surfaces occupées passant seulement de 106,5 à 100 ha entre 1947 et 1973. Ceci conduit à penser que le passage de la bande active à la forêt s'est effectué très rapidement. La comparaison des séries photographiques de 1947 et 1973 nous a permis de constater une réduction de la bande active mais une stabilité des unités pionnières alors que la forêt augmentait considérablement. En fait, il y a ponctuellement, comme dans les secteurs de Violès et de Sablet, une succession dans le temps de la colonisation forestière et de la réduction des pionniers, une substitution dans le temps des unités les unes aux autres. La surface colonisée par les stades pionniers en 1973 était à peu près égale à la surface qu'ils occupaient en 1947. 83 ha de bande active ont été perdus entre 1947 et 1973 alors que l'ensemble des formations pionnières ne représentait que 100 ha en 1947.

Entre 1973 et 1991, quelques rares secteurs ont été le siège d'un reboisement qui s'est effectué presque uniquement aux dépens des stades pionniers (fig. 36). Un recul de ceux-ci a été observé au cours de la seconde période; les surfaces occupées passant de 100 à 56,3 ha entre 1973 et 1991. En revanche, la brutale explosion des formations arborées observée dans la bande active au cours de la première période s'est ralentie entre 1973 et 1991, les surfaces passant de 176 ha à 151 ha.

## 2.5 L'Ubaye :

### 2.5.1 La période 1830-1950

L'étude de l'occupation du lit majeur de l'Ubaye a été centrée sur l'exploitation des plans cadastraux napoléoniens. Dans cette région, ces documents sont d'une précision médiocre. Les plans d'assemblage ne donnent aucun renseignement en dehors de la largeur de la bande active. Aussi, une étude productive exigerait-elle l'examen des plans de section à très grande échelle (1/5 000<sup>e</sup>) mais ceux-ci sont également assez sobres. Le type d'occupation n'y figure pas, ce qui nécessite pour chacune des parcelles une recherche sur la nature de l'occupation dans les Etats de section.

A partir des plans d'assemblage par commune, la bande active a malgré tout été cartographiée. Cette démarche, effectuée après un recalage et une remise à l'échelle de tous les plans des communes riveraines du secteur d'étude, a permis de montrer une nette réduction de la surface occupée par la bande active de la rivière entre 1830 environ et 1948. La bande active a été estimée à 246-252 ha dans le premier tiers du XIX<sup>e</sup> siècle contre 174 ha en 1948, soit une réduction de 30%.

Sur le tronçon Les Thuiles - Torrent du Rioclar, une étude de la bande active et surtout du parcellaire riverain a également été effectuée à partir des plans de section (fig. 38). La bande de terrains séparant le lit mouillé des parcelles n'a pas été identifiée et constitue sans doute l'espace de remaniement à substrat graveleux et non végétalisé. En effet, même les terrains de faible valeur économique ont été représentés (terminologie de "terres vagues"). La bande active était donc plus large que celle observée en 1948 puisqu'elle est passée de 53 ha à 19 ha entre les deux dates. Cette superficie correspond en grande partie (64%) à celle de la bande naturelle de 1948 estimée à 87 ha. Ce secteur est ainsi tout à fait typique, l'espace alluvial abandonné appartient aujourd'hui à la commune des Thuiles et est colonisé par une formation arborée monospécifique à *Pinus sylvestris*. Une

brève étude dendrochronologique a révélé que ces pins avaient un âge relativement avancé (65-70 ans). Une recolonisation par les formations arborées aurait donc eu lieu aux dépens de la bande active dans les années 1920 - 1925 en même temps qu'une métamorphose physique caractérisée par le passage d'un style à tresses à un style à sinuosités marquées. Par ailleurs, la nature de l'occupation des parcelles riveraines est assez variée; les termes de "terres vagues", "bois", "terres labourables" et plus rarement "pâtures" ont été observés. Si les terres cultivées sont parfois séparées de la bande active par un mince liseré de terres vaines, le contact est le plus souvent direct. La forêt est présente mais elle reste très morcelée et les secteurs boisés de grande superficie font exception.

f. le Rioclar

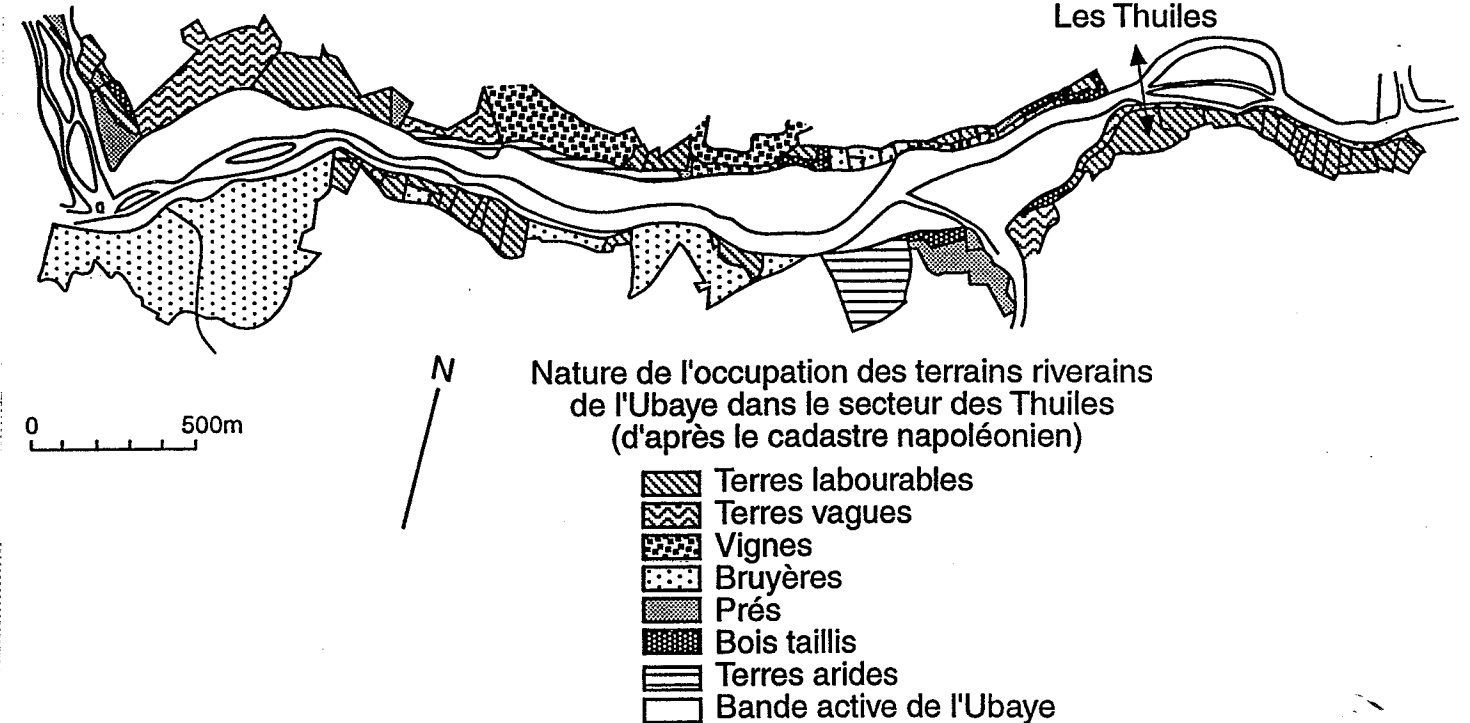
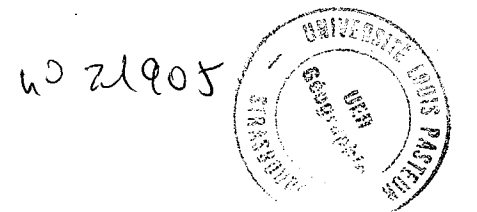


Figure 38 - L'occupation des parcelles riveraines de la bande active de l'Ubaye entre Les Thuiles et le torrent du Rioclar en 1833 (d'après les plans de sections de l'ancien cadastre, Service du Cadastre, Digne).

### 2.5.2 La période 1950-1990

La figure 17E permet de préciser l'évolution des unités de la mosaïque végétale de l'Ubaye depuis 1950. L'explosion des formations arborées ne caractérise pas cet hydrosystème puisque la forêt a perdu 13 ha, soit 6% de sa surface de 1948, entre cette date et 1991 passant de 209 à 196 ha. Cette évolution globale est plus complexe car deux phases se distinguent. La période 1948-1956 (c'est-à-dire avant la crue millénale de 1957) est caractérisée par une réduction de la surface forestière qui se prolonge plus modérément jusqu'en 1973. La période 1973-1991 est en revanche marquée par une faible progression de la forêt.

Cette évolution semble se caler assez exactement sur l'évolution de la bande active. Celle-ci a augmenté de 1948 à 1956 et s'est réduite fortement après 1973. Si entre 1973 et 1991, la forêt a gagné 9 ha, la bande active en a perdu 41, soit 20 % de sa superficie de 1973. Les stades pionniers suivent partiellement la même



évolution, la réponse étant décalée dans le temps. Au cours de la période 1973-1990, leur réponse n'a été perceptible qu'après 1982 mais elle explique presque à elle seule la réduction de la bande active, le gain étant de 19 ha entre 1982 et 1990, soit une augmentation de 35%. Globalement, la réduction des surfaces colonisées par des formations pionnières entre 1956 et 1973 peut surprendre car elle n'est calée ni sur l'évolution de la forêt ni sur l'évolution de la bande active.

L'analyse conduite secteur par secteur entre 1948 et 1990 (fig. 39) a mis en évidence trois principaux mouvements :

- une progression de la forêt et des stades pionniers à l'amont de Barcelonnette aux dépens de la bande active,
- une nette réduction de la forêt et des stades pionniers à l'aval du tronçon endigué à la suite d'une implantation de l'homme,
- une réduction de la bande active à l'aval de Thuiles au profit des stades pionniers.

L'évolution de la superficie occupée par la forêt entre 1948 et 1990 est difficile à décrire (fig. 40). Si entre 1948 et 1956, l'espace forestier riverain s'est nettement réduit, aucun mouvement dominant n'a été identifié au cours des phases postérieures. Deux principaux secteurs, situés respectivement à l'amont et à l'aval de Barcelonnette, ont néanmoins été individualisés. Le premier a enregistré un développement progressif de la forêt aux dépens de la bande active (fig. 41). Le mouvement, né entre 1956-1973, s'est étendu de manière continue vers l'amont et l'aval et a atteint une extension maximale entre 1982 et 1990. Le second secteur présente une évolution complexe. Entre 1956 à 1973, la forêt semble avoir progresser à l'amont de Méolans mais régresser à l'aval, la résultante de cette évolution contraire indiquant globalement une stabilité. Entre 1973 et 1982, l'espace forestier ne semble pas avoir bouger alors que la bande active s'est nettement réduite. Entre 1982 et 1990, aucun mouvement réel n'a été observé si ce n'est une réduction de la forêt à l'aval, dans le secteur les Thuiles - Champanastais. La largeur de la bande active a si peu varié que les transects représentant un quelconque mouvement au cours du temps sont rares.

Globalement (fig.17E), il semble difficile de parler d'une explosion des formations arborées entre 1948 et aujourd'hui, tant les mouvements sont faibles. Seuls deux secteurs semblent s'être réellement transformés : le tronçon amont de Barcelonnette soumis à un reboisement naturel modéré et le secteur du Riou Bourdoux sur lequel s'est installé la zone industrielle de Barcelonnette. La bande active s'est réduite à la suite d'une recolonisation végétale assez peu visible dans la mesure où sa superficie a également régressé lors d'implantations humaines en lit majeur.

### 3. Synthèse et typologie

Les principales évolutions observées sur chacune des rivières seront brièvement récapitulées avant d'aborder la démarche explicative.

Il semble qu'il y ait eu sur l'Ain une première phase de végétalisation du lit majeur entre 1830 et 1930 avec l'apparition d'un stade pionnier (vorigine) plus important en superficie, cet espace étant utilisé comme une pâture commune. Parallèlement, la bande active a eu tendance à se réduire. Cette évolution lente et continue contraste nettement avec la période charnière de 1945-1971. Durant le XIX<sup>e</sup> siècle et le début du XX<sup>e</sup> siècle, le lit majeur disposait d'une bande active large et mouvante et de brotteaux colonisés par des stades pionniers jeunes et discontinus ou par une pelouse. En 1971, le lit majeur était boisé et plus étendu alors que la bande active s'était fortement réduite.

Sur l'Arèche, deux modifications majeures du couvert végétal ont été observées au cours de l'époque contemporaine. Les terres labourées situées en lit majeur ont été remplacées, sans doute au cours de la deuxième moitié du XIX<sup>e</sup> siècle, par une pelouse sèche. Entre 1945 et 1970, celle-ci a cédé la place à la forêt. La

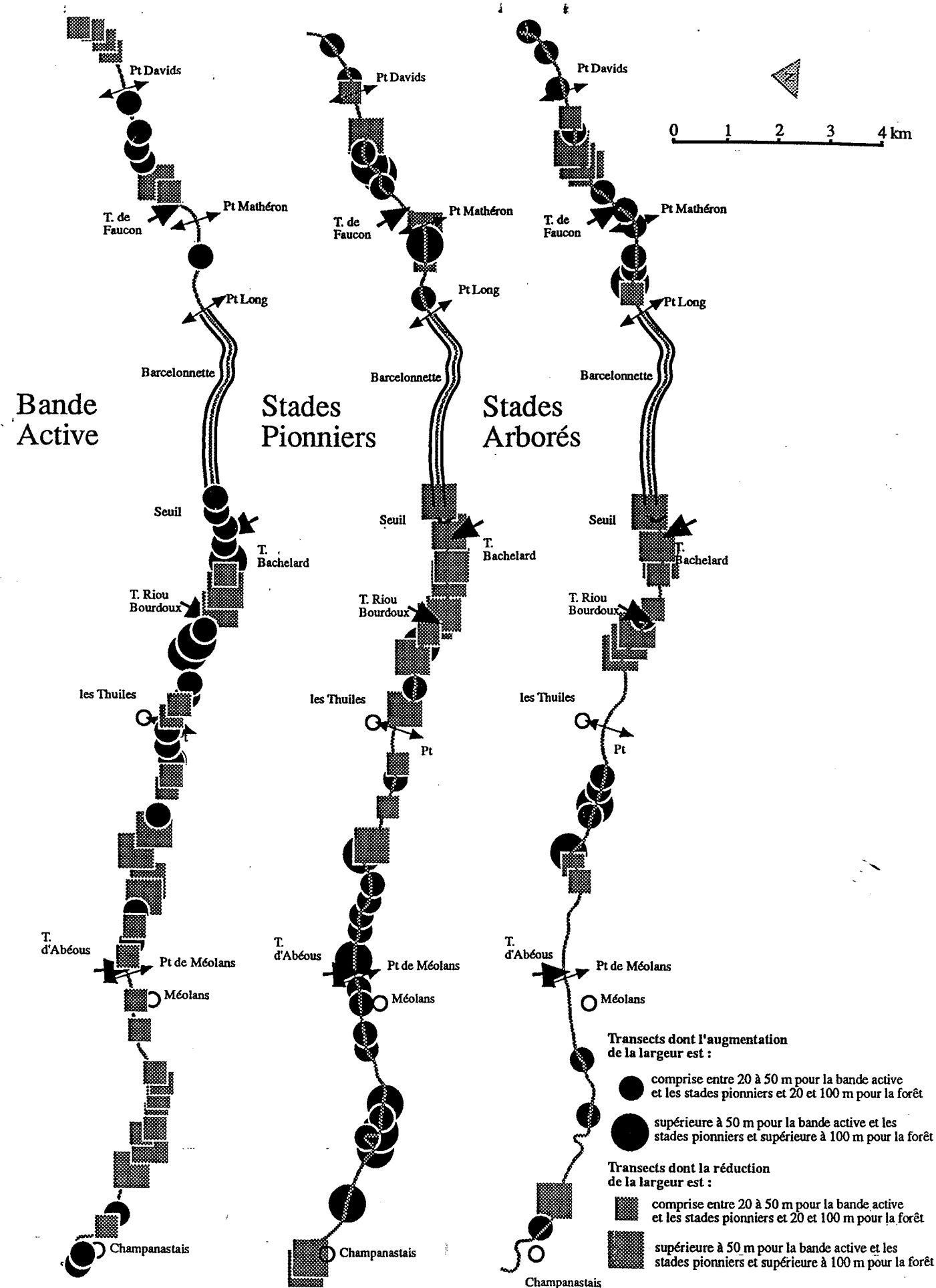


Figure 39 - Evolution de la largeur de la bande active, de la forêt et des stades pionniers de la bande naturelle de l'Ubaye moyenne entre 1948 et 1991 (largeurs estimées tous les 250m sur des photographies aériennes).

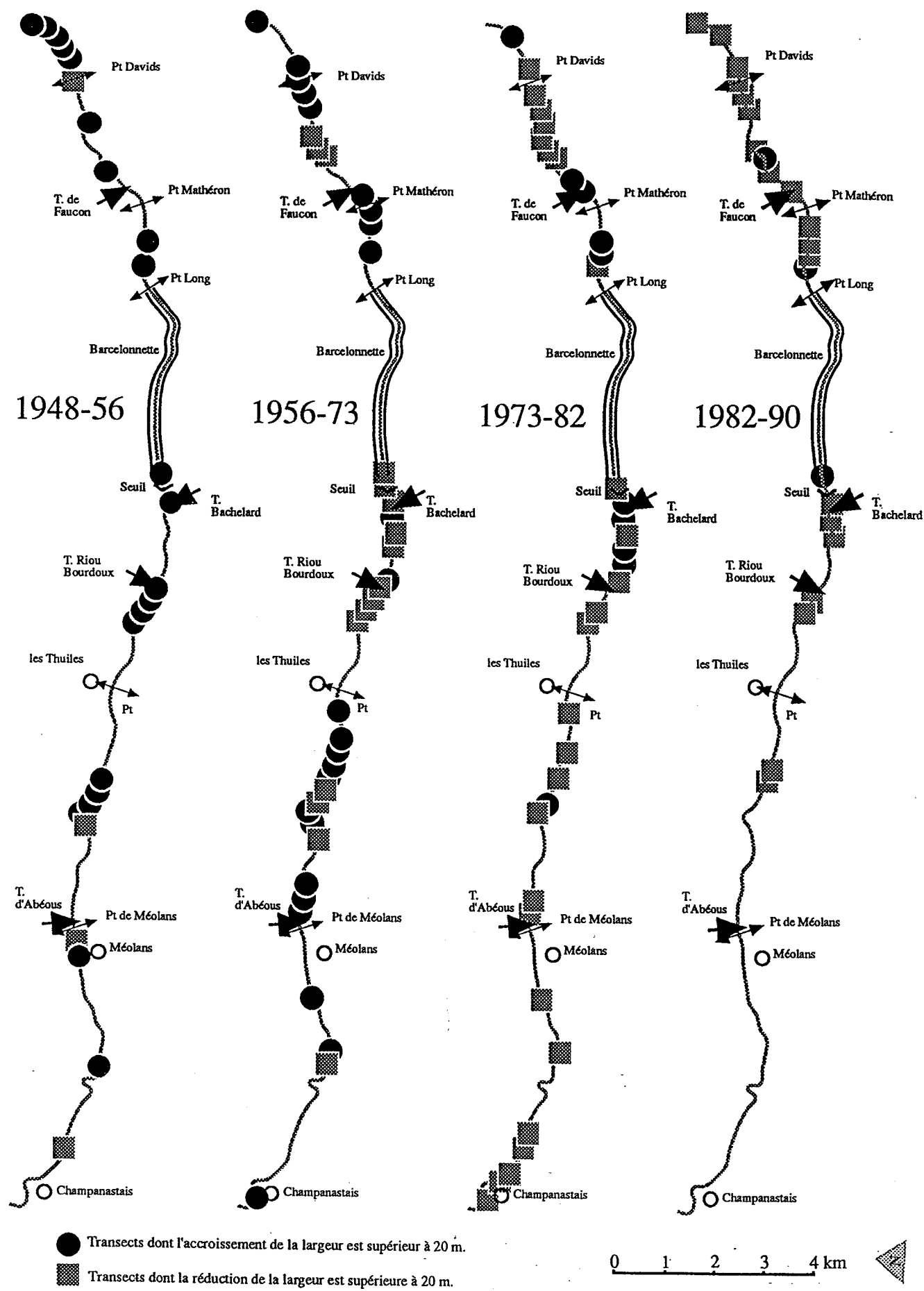


Figure 40 - Evolution de la largeur de la forêt alluviale de l'Ubaye moyenne durant les périodes 1948-1956, 1956-1973, 1973-1982 et 1982-1990 (largeurs estimées tous les 250m sur des photographies aériennes).

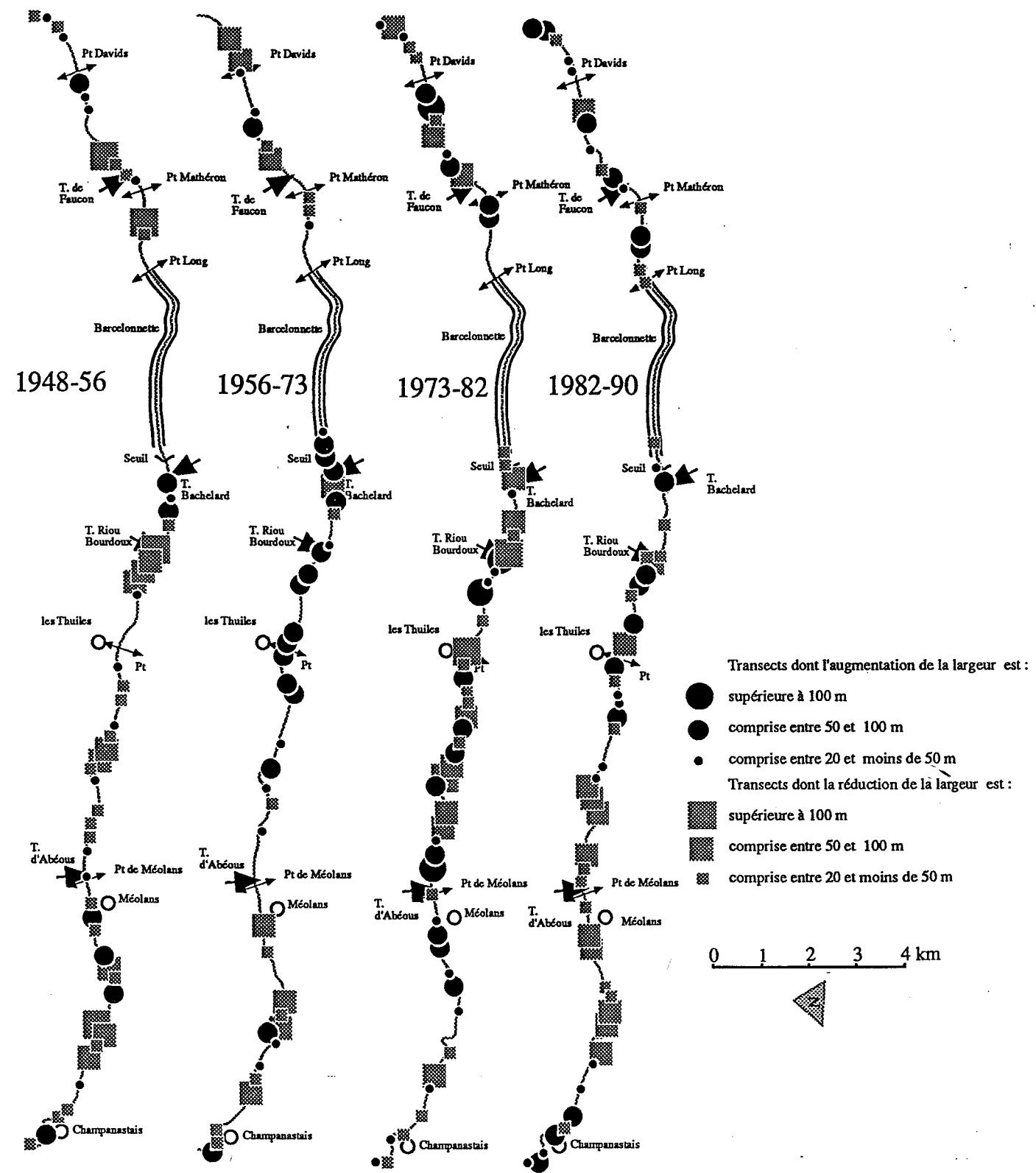


Figure 41 - Recolonisation forestière de la bande active de l'Ubaye moyenne durant les périodes 1948-1956, 1956-1973, 1973-1982 et 1982-1990 (largeurs estimées tous les 250m sur des photographies aériennes).



bande active était beaucoup plus importante au XIX<sup>e</sup> siècle qu'en 1950. Elle s'est peu réduite au moment de la forte colonisation du lit majeur par les formations arborées.

Sur le Giffre, la métamorphose végétale est ancienne. La forêt actuelle a remplacé une zone pionnière entre 1734 et 1890. Parallèlement, la bande active s'est fortement réduite, notamment entre les années 1890-1910 et 1934. Depuis les années 1930, l'espace forestier et la bande active sont restés relativement stables.

Sur l'Ouvèze, une double transformation du couvert végétal semble avoir eu lieu au cours de l'époque contemporaine. Alors qu'au milieu du XIX<sup>e</sup> siècle, le lit majeur était largement intégré au système agro-pastoral de la région (il s'agit d'un espace en prés ou en cultures dans lequel les oseraies et les forêts sont rares), le lit majeur de 1947 était plutôt naturel et colonisé par une végétation pionnière, discontinue mais omniprésente. Il semble qu'il y ait donc eu une première revégétalisation entre 1850 et 1950 avec un retrait progressif de l'homme hors du lit majeur et parallèlement, une réduction de la largeur de la bande active. Si cette dynamique est assez mal calée dans le temps (un siècle d'incertitude), une réelle et intense explosion végétale a en revanche été observée entre 1947 et 1973. Elle s'est ensuite considérablement ralentie mais en 1991, la mosaïque est assez peu diversifiée et caractérisée par une juxtaposition de deux principales unités, une forêt riveraine âgée et une bande active étroite.

En 1830, l'Ubaye occupe l'essentiel du fond de la vallée et l'espace agricole cultivé s'est étendu jusqu'au bord de la bande active. Entre 1830 et 1948, l'espace alluvial est colonisé par une pinède relativement homogène. Dans ce secteur, l'explosion des formations arborées est ancienne et ne semble pas s'être effectuée aux dépens de l'oekoumène mais de l'espace occupé par la rivière. Cette métamorphose végétale ancienne a laissé ensuite place à une période de relative stabilité spatiale des unités de la mosaïque. Entre 1948 et 1991, aucun mouvement réel de la forêt, progressif ou régressif, n'a été observé.

Deux séquences temporelles sont néanmoins identifiées :

- la période 1948 - 1973 est caractérisée sur l'Ubaye par un recul de la végétation au profit de la bande active alors que d'autres rivières sont soumises à un intense mouvement inverse,
- la période 1973 - 1990 est en revanche marquée par une colonisation végétale qui pourrait être le début d'une réelle métamorphose biologique, tous les indicateurs allant dans le même sens. Ce mouvement est net à l'amont où il s'est développé très progressivement. Plus flou à l'aval, il a atteint son paroxysme entre 1973 et 1982. La bande active n'a pas été soumise à un reboisement brutal mais l'espace pionnier tendrait plutôt à se substituer lentement à la bande active.

**Une forêt alluviale est née entre 1945 et 1990 sur les rivières de piémont telles que l'Ain, l'Ardèche et l'Ouvèze. Une phase très intense de recolonisation par des formations arborées marque la période 1945-1970. La croissance se poursuit (Ain), s'arrête (Ardèche), voire diminue (Ouvèze) au cours de la période suivante.**

Parallèlement, la bande active s'est réduite. L'Ain et l'Ouvèze font figure de cas typiques mais l'Ardèche par contre est atypique puisque la réduction de la bande active est faible, y compris dans les secteurs de plaine alluviale. L'Ouvèze est elle-même un cas original puisque la métamorphose végétale s'est produite d'abord aux dépens de la bande active, contrairement à l'Ain et à l'Ardèche où le reboisement a d'abord touché les unités du lit majeur. Sur l'Ain et l'Ardèche, le reboisement concerne respectivement 600 et 230 ha alors que la bande active ne perd que 200 et 60 ha. Cette différence semble simplement liée à la largeur de la bande naturelle concédée à la rivière par les populations riveraines. Elle est plus importante sur l'Ain (largeur moyenne de 750m) et l'Ardèche (250m) que sur l'Ouvèze (170m) et la bande active représente alors respectivement 23, 35 et 50% de cette largeur.

**Une explosion forestière existe également sur le Giffre et l'Ubaye mais elle est beaucoup plus précoce que sur les rivières de piémont et ses causes diffèrent sans doute également. Sur ces rivières intra-alpines, la forêt existait en 1950 et ne s'est pas étendue depuis.**

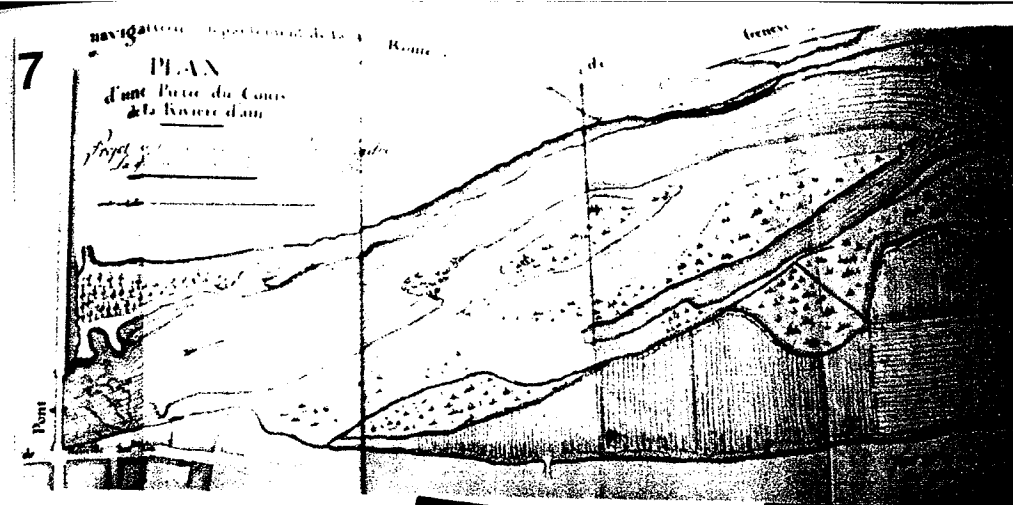
Une réduction importante de la bande active a été observée lors de l'explosion forestière du lit majeur du Giffre au XIX<sup>e</sup> siècle et de l'Ubaye au début du XX<sup>e</sup> siècle. Depuis un demi siècle, la largeur de la bande active est restée constante sur le Giffre alors que sur l'Ubaye, elle est mobile et présente une périodicité originale. La forêt est caractérisée par de légers mouvements tantôt progressifs (1973-1982) tantôt régressifs (1948-1956).

**Ainsi, les cinq rivières étudiées, actuellement boisées, ont été le siège d'une intense biométamorphose, c'est-à-dire une transformation brutale de la couverture végétale, au cours des deux derniers siècles. Une périodicité distincte permet d'isoler les rivières intra-alpines des rivières de piémont. Ce mouvement s'accompagne toujours d'une réduction très nette de la bande active, le cas le plus spectaculaire étant sans doute l'Ubaye alors que l'Ardèche pourrait être considérée comme un type plus modéré.**

De nombreux auteurs ont déjà souligné l'absence de végétation ligneuse dans les plaines alluviales de cours d'eau de forte énergie du Sud-Est de la France à la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle et au cours du XIX<sup>e</sup> siècle. Une grande partie des marges de l'Isère est alors occupée par des terres vaines, des prairies, ou des cultures mais rarement par des bois, la plaine étant en fait utilisée dans son intégralité (Pautou et Girel, 1994). De semblables observations ont également été faites sur le Haut-Rhône (Bravard, 1981) ou encore sur le Buech (Gautier, 1992), les marges de ce dernier étant le plus souvent marécageuses.

L'explosion des formations arborées entre 1945 et 1970 a également été soulignée par ces deux derniers auteurs, J.P. Bravard expliquant ce phénomène par l'abandon du chauffage au bois.

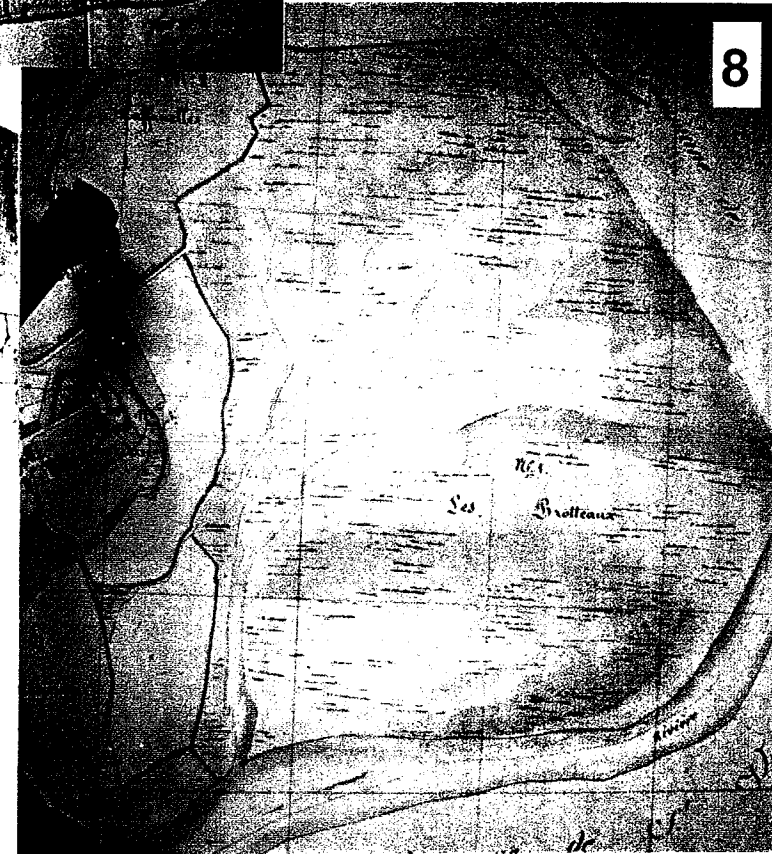
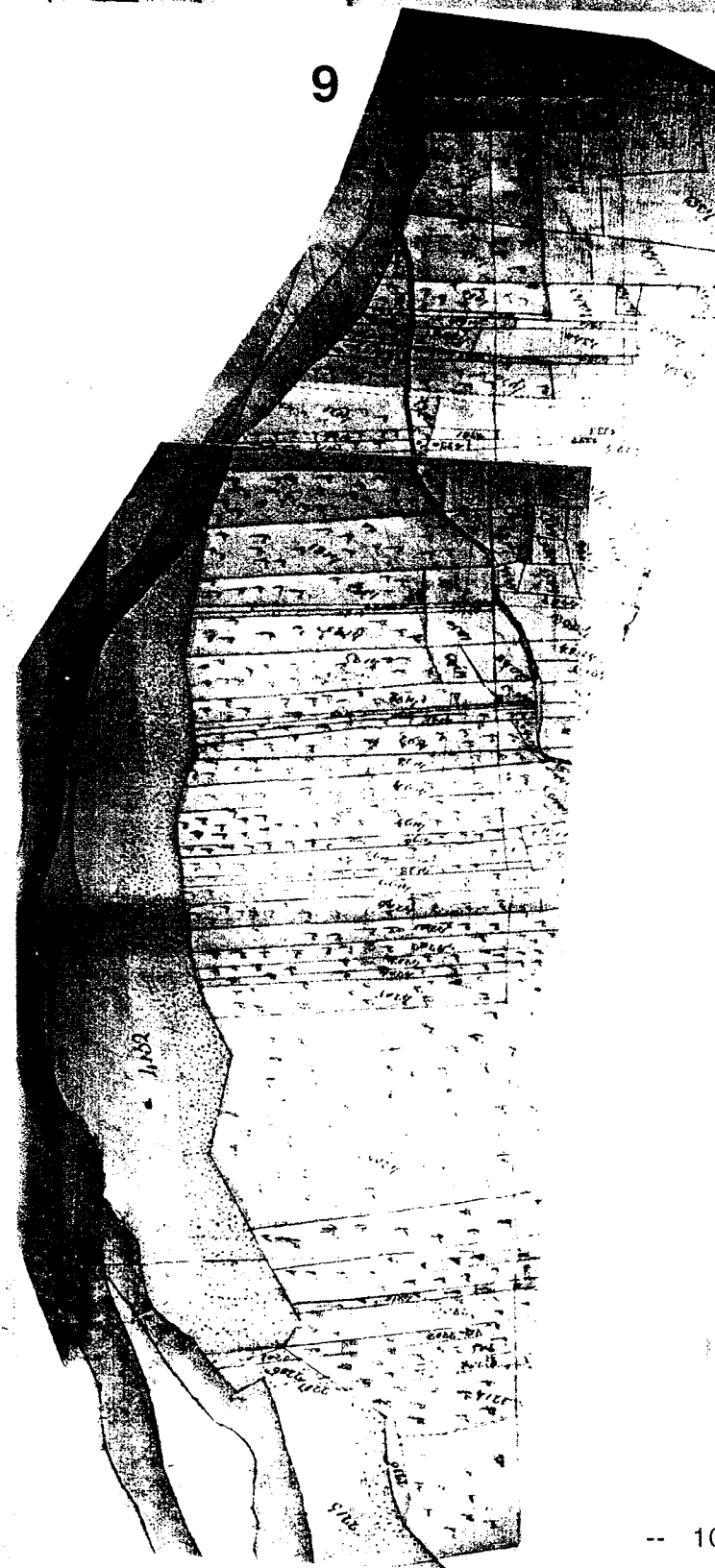
En outre, l'évolution des marges végétales du Giffre est assez proche de celle de l'Arve située également en Haute-Savoie. J.L. Peiry (1988) a montré en effet que le fond de vallée de cette rivière n'était pas cultivé en 1730 mais occupé par des formations naturelles pionnières ("Broussailles"), des marécages et parfois des taillis. Néanmoins, en 1856 dans le bassin de Cluses, la broussaille est encore très présente et les formations boisées ne se substitueront à elle qu'entre 1856 et 1936. Le développement des formations arborées sur les marges du Giffre présente ainsi une originalité chronologique puisqu'il est plus précoce que sur l'Arve.



Photographie 7 - Le lit majeur de l'Ain en 1810 à l'aval du Pont de Neuville-sur-Ain (d'après le plan d'un projet d'enrochement, Archives Départementales de l'Ain, Bourg-en-Bresse).

Photographie 8 - Les "vorgines" du lit majeur de l'Ain en 1839, exemple d'un pédoncule de méandre situé sur la commune de St-Jean-de-Niost (d'après le plan cadastral, Service du Cadastre, Trévoux).

Photographie 9 - La végétation pionnière du lit majeur du Giffre en 1734 : exemple de parcelles situées en rive droite de la rivière à hauteur de Jutteninges sur la commune de la Rivière-Enverse (d'après la Mapped sarde, Archives Départementales de Haute-Savoie, Annecy).



## II. Les causes de la biométamorphose : approche systémique

En proposant la notion d'hydrosystème, un concept multidimensionnel, certains auteurs (Amoros *et al.*, 1988; Amoros et Petts, 1993) reconnaissent, au-delà de la dimension longitudinale, l'importance de la dimension latérale dans l'analyse du fonctionnement des systèmes-rivières. Or, la biométamorphose est un phénomène étroitement dépendant de cette dimension. La recolonisation végétale touche le lit majeur, le lit mineur ou les deux en même temps. En fonction de multiples causes, ce phénomène ne revêt pas sur ces deux espaces la même ampleur, la même durée, voire la même chronologie. Le nombre, la nature, l'ampleur, la fréquence et la durée de chacune des causes diffèrent d'une rivière à l'autre.

Par conséquent, l'analyse explicative étudiera successivement le lit majeur et la bande active. Ces deux espaces disposent en effet de caractères propres. Leur vitesse d'évolution et leur degré d'occupation par l'homme relèvent de deux échelles de temps. Le lit majeur, plus ou moins érodable, est l'espace de la rivière le plus évolué, le plus terrestre. Les mécanismes endogènes de régénération l'emportent largement sur les mécanismes exogènes alors que la bande active est l'espace habituel des eaux superficielles. Ainsi, dans la bande active des cours d'eau étudiés, les formes évoluent rapidement et les mécanismes exogènes l'emportent sur la dynamique endogène.

La recolonisation végétale, selon qu'elle se situe dans la bande active ou le lit majeur, peut avoir une origine différente. L'analyse causale, simple dans le cadre du lit majeur (analyse des processus internes), devient fort complexe au niveau de la bande active dans la mesure où un faisceau de causes potentielles internes et externes, anthropiques et naturelles, intervient.

La rivière se conçoit comme un système évolutif et ouvert dans lequel transitent des flux. Le dessin en plan du cours d'eau (style fluvial) et la géométrie de son lit sont des paramètres ajustés à ces flux (Schumm, 1968). Chaque élément de ce système est dépendant des autres. Aussi, une modification significative des flux provoque un rééquilibrage de la géométrie de la rivière (largeur non végétalisée, profil en long..) dont les caractères sont eux-mêmes interdépendants (Schumm, 1977). Les facteurs agissant sur les éléments physiques sont nombreux et difficiles à quantifier et à dissocier les uns aux autres. Ils agissent à deux échelles, celle du bassin versant (variables externes modifiant les conditions de débit et de charge) et celle du tronçon (variables internes déterminant la géométrie du lit).

Comme les changements physiques sont le plus souvent liés à un complexe de processus-relais, l'analyse causale devra s'efforcer souvent de décrire un enchaînement de causes. Si les relations endiguement - incision (Brookes, 1988) et extraction - incision (Larinier, 1980; Ramez et Gilard, 1992) sont assez bien connues, les relations incision - recolonisation végétale ou extraction - recolonisation végétale le sont moins. Les modifications de l'occupation du bassin versant ou du lit majeur, voire de l'hydrologie, peuvent théoriquement influencer la recolonisation végétale de la bande active. R.D. Hey et C.R. Thorne (1986) montrent par exemple que la largeur d'un cours d'eau varie en fonction du type de végétation de berge. La politique de reboisement du bassin versant est également reconnue comme étant un élément favorisant la modification des flux. Une revue bibliographique (Agence Financière de Bassin Seine-Normandie, 1979) a ainsi mis en évidence la capacité de la forêt à réduire les débits liquides et solides. Des études récentes sur des bassins versants expérimentaux confirment que la forêt réduit les pointes de crue ou le volume écoulé et augmente la capacité de rétention du sol (Combes *et al.*, 1994).

Compte-tenu de la complexité des phénomènes, un modèle interactif (fig. 42) est proposé afin de guider la recherche causale. Il synthétise les causes et les chaînes de causes possibles de la biométamorphose. Il fait office d'hypothèse de travail et repose sur les résultats acquis récemment en géomorphologie et qui concernent la métamorphose physique des cours d'eau français (Bravard, 1986b, Bravard, 1991 et 1994, Peiry, 1988; Salvador, 1991; Gautier, 1992...). La démarche est analytique et l'objectif est de mettre en évidence la part respective et l'efficacité réelle de tel ou tel facteur sur telle ou telle rivière. Ce modèle théorique global et l'analyse qu'il induit doivent permettre de dissocier les causes et de proposer des modèles régionaux spécifiques à partir desquels il sera possible de reconnaître la valeur respective de chacune des causes. Cette démarche sera conduite en trois temps.

Il importera d'analyser successivement la variabilité diachronique :

- de l'occupation humaine du lit majeur qui est un facteur prédominant de la recolonisation végétale,
- de la géométrie du lit mineur qui est susceptible de modifier les limites internes de la ripisylve,
- des flux liquides et solides qui peut influencer directement ou indirectement (chaîne de causes physiques) sur la recolonisation en lit mineur.

Cette triple approche analytique devrait permettre de mieux connaître les différentes causes et leur importance respective. A l'issue de ce travail, une synthèse sera proposée.

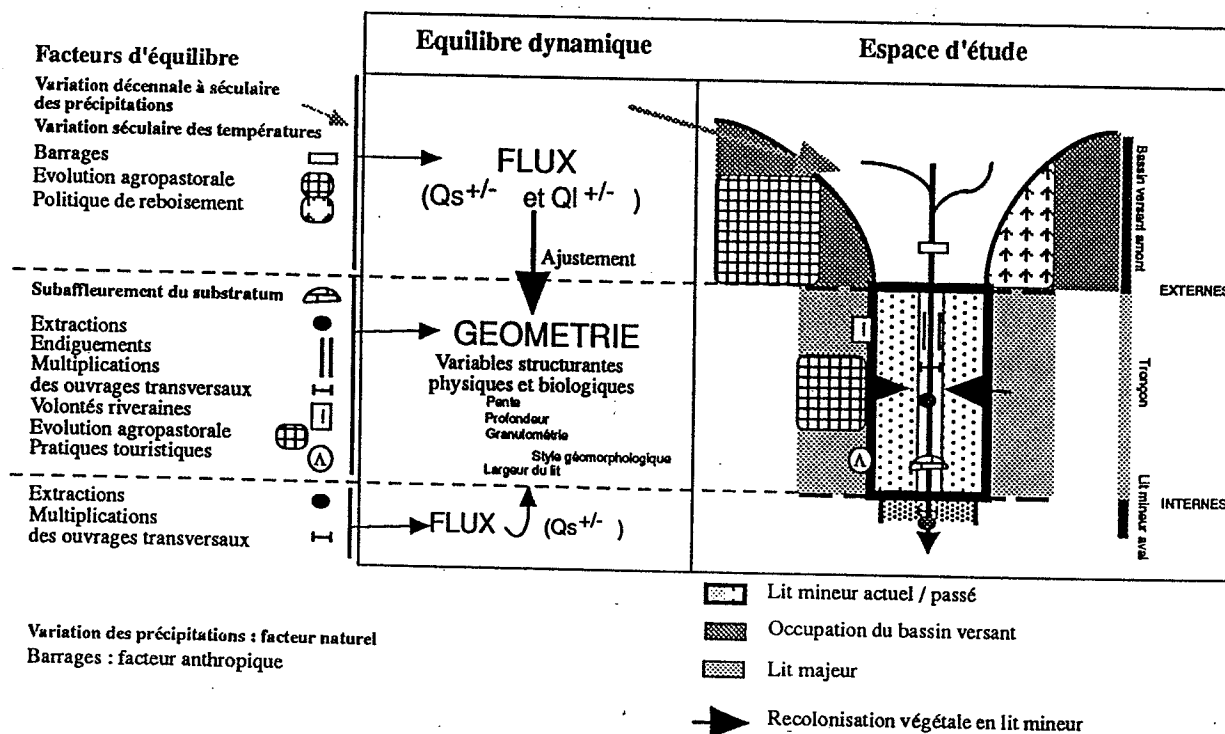


Figure 42 - La biométamorphose et ses causes, esquisse d'un modèle théorique de synthèse

## 1. La recolonisation en lit majeur : une dynamique anthropique

L'anthrosystème en lit majeur et son évolution dans le temps seront étudiés dans cette première partie. Les rivières françaises, voire européennes, sont des hydrosystèmes anthropisés depuis des siècles (Petts et al., 1989). Aussi, l'homme étant au cœur de leur évolution historique, étudier en quoi l'occupation humaine du lit majeur et son évolution peuvent intervenir dans la métamorphose végétale et la modification de la géométrie de l'hydrosystème serait un axe de recherche à prospecter.

C'est pourquoi ce court chapitre présentera la dynamique spatiale d'occupation et de mise en valeur du lit majeur des cinq rivières d'étude. Celle-ci peut agir sur la géométrie et le paysage d'un tronçon de cours d'eau à la suite de transformations successives de l'organisation des sociétés riveraines au cours de l'époque contemporaine. Les interventions humaines, plus ponctuelles et plus récentes, susceptibles de modifier la géométrie de la bande active seront traitées dans le chapitre 3. Avant d'influer sur la métamorphose végétale, elles agissent en effet sur les variables physiques.

### 1.1. Agrosystème d'hier et d'aujourd'hui : étude bibliographique

L'analyse historique de l'intervention de l'homme sur la rivière est un axe de recherche déjà largement prospecté. L'étude de la Chautagne est un exemple aujourd'hui bien connu (Bravard, 1981). En 1860, les îles du Rhône étaient cultivées et portaient des formations basses comme les oseraies. La mise en valeur agricole était évidente; à côté des labours et des pâturages, l'exploitation intensive des bois bloquait la végétation au stade de l'île jeune. En 1902, les cultures avaient disparu et les vourgines étaient plus évoluées puisque le qualificatif de "bois" était utilisé sur les documents.

De 1860 à 1898, l'administration française est intervenue dans la gestion des communaux des bords du fleuve afin d'interdire le jardinage des coupes de bois. En 1897, un texte précisait le nouveau cahier des charges des îles par le service du Rhône. L'administration était hostile au développement végétal dans le lit du cours d'eau car depuis la loi de 1858 elle était chargée de la protection de Lyon. Un tournant décisif a été pris sur le Rhône après la crue de 1856 par l'administration française. Suite aux dégâts enregistrés dans les villes rhodaniennes, la priorité a été donnée à la lutte contre l'inondation et, de ce fait, à l'évacuation des eaux. L'administration s'appuyait sur le Code rural qui, suite à une Instruction de 1790, avait érigé en principe le libre écoulement des eaux (Benoit, 1993). De fait, le Service de la Navigation du Rhône donna un fondement réglementaire à la coupe systématique des forêts riveraines du Haut-Rhône et assit cette politique sur la reconquête du foncier dans le lit fluvial occupé par les collectivités. Cette politique était d'autant mieux acceptée qu'elle rejoignait les intérêts des riverains qui ne demandaient alors qu'à tirer un maximum de profit des taillis alluviaux. L'Etat procéda dès lors par amodiation de lots, à charge pour l'adjudicataire de laisser le terrain parfaitement dégagé. Dans les années 1950, l'abandon du chauffage au bois s'est accompagné d'une intense recolonisation végétale. Aussi, en Chautagne, le boisement est un fait récent, neuf à l'échelle historique car le fleuve a toujours été un espace de cueillette, un saltus.

Sur le Giffre, la stratégie d'occupation du lit majeur a été différente. Les Royales Constitutions Sardes de 1729 affirmaient qu'"...il ne sera permis à qui que ce soit de déraciner ou brûler les troncs des arbres qui soutiennent les rives des fleuves et des torrents à une distance de 18 pieds communs (environ 20m) et l'on ne pourra plus couper les susdits arbres". L'article V ordonnait "aux communautés et aux particuliers à qui appartiennent les susdites rives des fleuves et torrents d'y planter tout au long des arbres qui ne soient pas éloignés l'un de l'autre d'une distance de plus de 18 pieds". Toute la charge de plantation était laissée aux riverains. Jusqu'en 1860, l'Etat sarde leur laissera donc le soin de se défendre contre les incursions des

torrents (Mougin, 1914). A partir des années 1860-1880, l'administration française changea cette stratégie et s'efforça d'atteindre les causes supposées du mal : la déforestation du bassin versant.

La législation sarde relevait d'une autre démarche : une protection immédiate des intérêts agricoles et des agglomérations dans les plaines et les vallées principales. Durant cette période, une importante action de défense des rives a été entreprise. En revanche, aucune action n'a été envisagée pour modifier le régime des cours d'eau alors que la charge solide était si abondante que les débordements latéraux étaient fréquents (Mougin, 1914).

La stratégie sarde de protection a permis la genèse de corridors forestiers très anciens, datant des XVIII<sup>e</sup>-XIX<sup>e</sup> siècles, uniques à l'échelle de la France.

## 1.2 L'évolution de la population et des activités riveraines depuis deux siècles

### 1.2.1 Problématique et méthodologie

La pression humaine sur l'espace rural et notamment sur le lit majeur a beaucoup varié depuis le début du XIX<sup>e</sup> siècle. Les communautés traditionnelles ont longtemps disposé d'une agriculture de subsistance, à faible rendement. Afin de se nourrir, elles ont dû à un moment donné de leur histoire mettre en valeur à des fins agricoles l'ensemble du finage. Or, le lit majeur souvent proche du village, facile d'accès, a ainsi été utilisé comme un terroir supplémentaire malgré les risques encourus d'inondation et d'érosion.

Mettre en évidence cette évolution est conditionné par la richesse des sources disponibles et le temps que l'on peut y consacrer. Dans l'étude proposée, nous nous sommes efforcés de recueillir les informations bibliographiques les plus pertinentes et de mettre en évidence l'évolution de la pression démographique de plusieurs finages. L'étude de l'évolution historique de la population a été possible car des statistiques étaient disponibles sur le long terme (Bardet et Dupâquier, 1980). Sur une période d'un siècle à un siècle et demi, aucune donnée statistique n'existe malheureusement concernant la population active agricole ou le nombre de têtes de bétail qui seraient des indicateurs beaucoup plus intéressants de l'emprise ou de la déprise de l'homme sur le lit majeur. Néanmoins, cette information est un indicateur supplémentaire de la pression potentielle de l'homme sur le lit majeur et de sa chronologie.

Si l'évolution de la population a été observée sur plusieurs communes du bassin versant des rivières d'étude (fig. 43 et tab. 5), les communes du tronçon étudié et du bassin amont ont été distinguées. Aucune commune amont n'a été retenue sur la rivière d'Ain, car la taille du bassin ne permet pas d'avoir une idée précise de l'évolution de sa population à partir de l'analyse d'une ou deux communes. Le nombre de recensements diffère d'une région à l'autre et une évolution précise de la population, reposant sur plus de 30 années de référence, ne peut être observée entre 1790 et 1990 que sur les communes de la région Rhône-Alpes. Sur l'Ubaye ou les communes de Vaucluse sur l'Ouvèze, l'information est plus pauvre, la période étudiée ne débute qu'en 1876 et seules 9 années de référence sont disponibles. Le choix des communes s'est donc établi comme suit :

- deux communes rurales assez typiques du tronçon d'étude, Priay et Chazey-sur-l'Ain sur l'Ain, Vogüé et Chauzon sur l'Ardèche, Morillon et Rivière-Enverse sur le Giffre (Samoëns est un cas particulier, la forte croissance des années 1810 et la très forte décroissance des années 1860 sont liées à l'arrivée puis au départ de la section de Verchaix), Séguret et Violès sur l'Ouvèze et Les Thuiles et Faucon-de-Barcelonnette sur l'Ubaye.

- une à deux communes rurales du bassin versant amont. Elles décrivent une évolution qui peut être très différente du tronçon d'étude dans la mesure où elles ne se situent pas dans un secteur alluvial mais dans des

zones de montagne. Il s'agit de Genestelle et la Souche sur l'Ardèche, de Mévouillon et Montauban sur l'Ouvèze, de Sixt sur le Giffre et de Saint-Paul sur l'Ubaye.

Tableau 5 - La densité d'habitants au km<sup>2</sup> :

| Communes           | Période de référence | Seuil maximal |               | Seuil minimal |              |
|--------------------|----------------------|---------------|---------------|---------------|--------------|
|                    |                      | année         | densité*      | année         | densité*     |
| <b>Chazey</b>      | <b>1790-1990</b>     | <b>1856</b>   | <b>57,22</b>  | <b>1962</b>   | <b>19,58</b> |
| <b>Priay</b>       | <b>1790-1990</b>     | <b>1851</b>   | <b>69,56</b>  | <b>1946</b>   | <b>40,9</b>  |
| <b>Chauzon</b>     | <b>1790-1990</b>     | <b>1840</b>   | <b>57,49</b>  | <b>1962</b>   | <b>15,07</b> |
| <b>Vogüé</b>       | <b>1806-1990</b>     | <b>1876</b>   | <b>86,86</b>  | <b>1820</b>   | <b>46,16</b> |
| La Souche          | 1790-1990            | 1851          | 58,41         | 1990          | 9,14         |
| Genestelle         | 1806-1990            | 1846          | 106,68        | 1990          | 11,81        |
| <b>Séguret</b>     | <b>1876-1990</b>     | <b>1876</b>   | <b>75,05</b>  | <b>1946</b>   | <b>44,07</b> |
| <b>Violès</b>      | <b>1876-1990</b>     | <b>1990</b>   | <b>64,16</b>  | <b>1936</b>   | <b>44,08</b> |
| Mévouillon         | 1790-1990            | 1851          | 27,64         | 1990          | 7,08         |
| Montauban          | 1790-1990            | 1820          | 17,22         | 1990          | 2,51         |
| <b>Morillon</b>    | <b>1801-1990</b>     | <b>1848</b>   | <b>60,51</b>  | <b>1962</b>   | <b>19,37</b> |
| <b>Riv-Enverse</b> | <b>1801-1990</b>     | <b>1848</b>   | <b>108,52</b> | <b>1982</b>   | <b>31,82</b> |
| <b>Samoëns</b>     | <b>1801-1990</b>     | <b>1822</b>   | <b>40,38</b>  | <b>1954</b>   | <b>16,79</b> |
| Sixt               | 1801-1990            | 1838          | 13,93         | 1962          | 5,08         |
| <b>Faucon</b>      | <b>1876-1990</b>     | <b>1876</b>   | <b>23,22</b>  | <b>1982</b>   | <b>6,69</b>  |
| <b>Les Thuiles</b> | <b>1876-1990</b>     | <b>1990</b>   | <b>8,38</b>   | <b>1936</b>   | <b>5,05</b>  |
| St Paul            | 1876-1990            | 1876          | 6,09          | 1990          | 0,96         |

\* densité d'habitants au km<sup>2</sup>.

NB : Les communes des tronçons d'étude sont en caractère gras.

### 1.2.2 Les rivières de piémont (Ain, Ardèche et Ouvèze)

Sur la basse vallée de l'Ain, le maximum démographique fut atteint au cours des années 1850. La densité d'habitants était alors voisine de 60-70 hab./km<sup>2</sup>. Une déprise rurale plus ou moins brutale marqua les années 1850-1920. La période 1920-1960 fut caractérisée par un palier démographique bas et des densités de l'ordre de 20 à 40 hab./km<sup>2</sup>. Une croissance nouvelle s'amorça ensuite.

Il est remarquable de constater l'ajustement étroit des périodes de minimum démographique et de biométamorphose.

Sur l'Ardèche, l'évolution démographique diffère entre les communes du tronçon et les communes amont situées en zone de montagne. Sur le piémont, le recul démographique est plutôt continu au cours de la période étudiée. Les maxima et les minima ont été atteints respectivement dans les années 1840-1870 et 1960. La perte de population est également plus faible sur le piémont où elle a été divisée par 5 contre 8 sur le bassin amont. Les communes de montagne ont ainsi été marquées par un recul très brutal de la population dès les années 1850. Ce recul, très prononcé au début de la période (Genestelle a perdu 41% de sa population entre 1850 et 1860), s'est poursuivi plus lentement jusqu'à aujourd'hui, la densité passant de 60-100 à 10

hab./km<sup>2</sup>. Comme sur l'Ain, la période de métamorphose végétale correspond à la période de plus faible densité démographique. Le long de l'Ardèche, le maximum est atteint en 1861; à la faveur de l'économie traditionnelle, les communes dépassaient les 150 hab./km<sup>2</sup> (Bozon, 1961). Les communes de montagne disposaient alors d'un avantage démographique car leurs ressources étaient plus variées. P Bozon (1961) estimait que la population s'était réduite de moitié en un siècle.

Ce dernier précise que la société rurale en Vivarais au XIX<sup>e</sup> siècle était autarcique et fondée sur la culture du pain. Les rendements étaient faibles et au début du XIX<sup>e</sup>, le canton d'Aubenas par exemple produisait à peine 17% des grains nécessaires. On comprend ainsi pourquoi le lit majeur était cultivé au XIX<sup>e</sup> siècle malgré les contraintes physiques. Après 1890, une série de chocs toucha les populations. La déprise rurale du XIX<sup>e</sup> siècle serait liée à l'ouverture de la région à la suite de la révolution des communications, aux crises multiples de la soie (1850 : maladie du ver à soie, 1870 chute des prix liée à la concurrence de l'Extrême-Orient), de la châtaigneraie (maladie de l'encre dans les années 1875) et de la vigne (phylloxéra en 1879).

Après 1945, le bas-vivarais s'ouvrit à une spécialisation de l'agriculture avec une monoculture de la vigne et une arboriculture irriguée et mécanisée. La polyculture vivrière recula progressivement et définitivement. La faible population et la stratégie agricole concoururent ainsi à sélectionner les espaces les plus productifs, ce qui provoqua l'abandon du lit majeur.

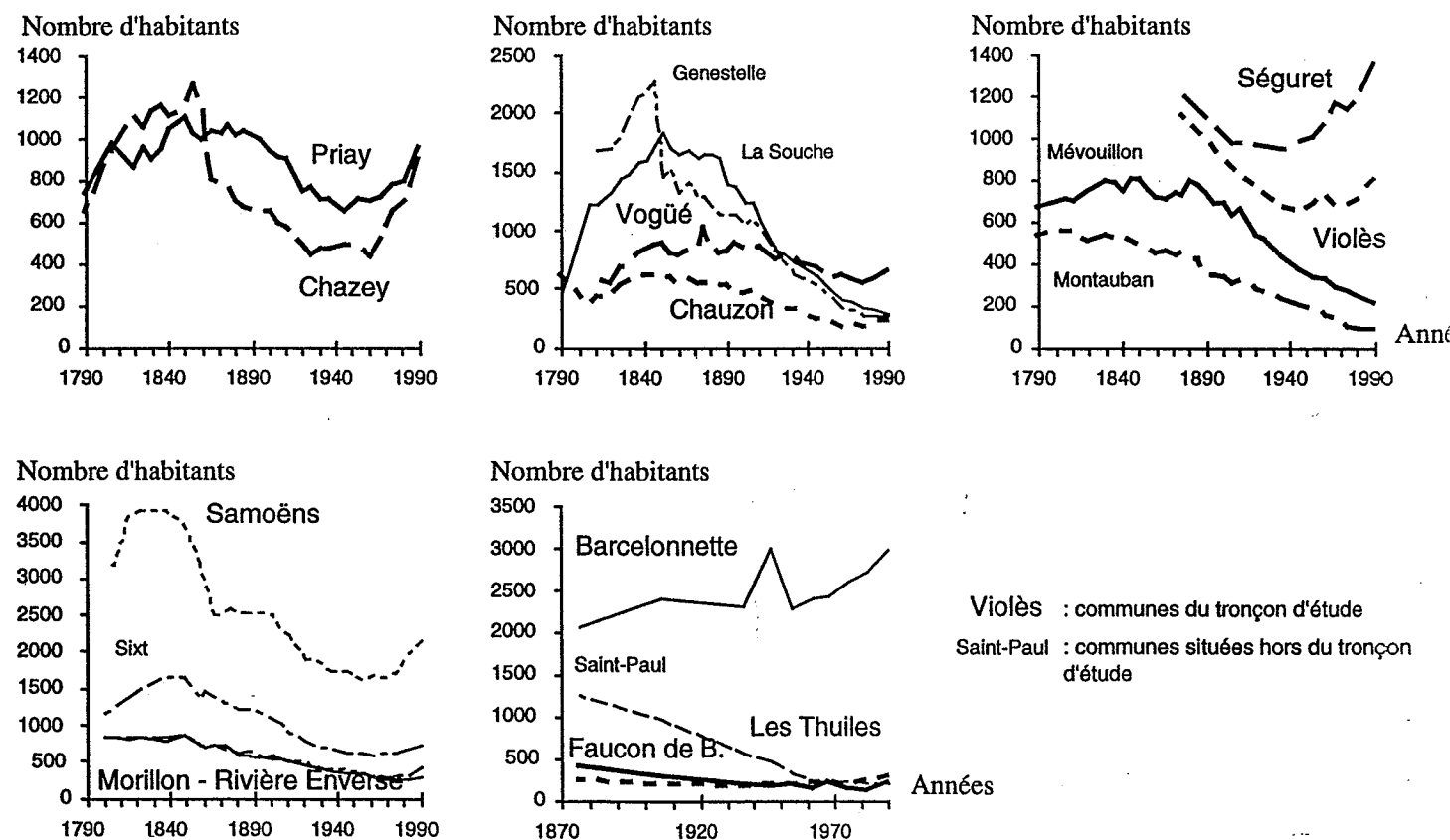


Figure 43 - Deux siècles d'évolution de la population (exemple de quelques communes des tronçons d'étude et des bassins versants, 1790-1990)

Sur l'Ouvèze, les finages de plaine ont été beaucoup plus peuplés que ceux de la montagne. A la différence du Vivarais, la dépopulation du bassin amont n'est pas ici un mouvement brutal. La déprise a été continue des années 1820-30 à aujourd'hui. Par ailleurs, la densité démographique était faible au moment du

maximum puisqu'elle atteignait seulement 20-30 hab./km<sup>2</sup> contre 3 à 7 hab./km<sup>2</sup> en 1990. C. Meyzenc (1984) note que la moyenne montagne du Sud de la Drôme (haut bassin de l'Ouvèze) est désertée. L'émigration était en effet définitive après 1850 et le pays se vida d'au moins 60% de ses habitants en moyenne depuis de cette période.

Cette évolution contraste avec celle des plaines. En 1876, la densité démographique était la même qu'en 1990 : 65-75 hab./km<sup>2</sup>. Le maximum de population au XIX<sup>e</sup> siècle a été atteint avant 1876, a période 1940-1950 étant caractérisée par les plus faibles densités démographiques du siècle : 45 hab./km<sup>2</sup>. Néanmoins, un repeuplement a été observé par la suite. Il s'explique sans doute par un faible exode rural correspondant à l'essor d'une monoculture viticole rémunératrice (Appellation d'Origine Contrôlée Côtes-du-Rhône Villages). Ce phénomène est marqué par une spécialisation agricole et une sélection des terroirs les plus productifs. La rentabilité est telle, qu'aujourd'hui la ripisylve est à nouveau convoitée et en danger.

Dans ces régions de plaines, l'évolution de la population diffère nettement des zones de montagne amont. Généralement, il n'y a pas de réelle rupture entre les XIX<sup>e</sup> et XX<sup>e</sup> siècles. La dépopulation s'est faite lentement et a atteint son apogée entre 1940 et 1960.

Il est difficile de ne pas faire de relation entre la période de faibles densités de populations et la période de l'abandon du lit majeur. Lorsque la pression démographique se relâche, l'activité agricole, par ailleurs pourvue de moyens nouveaux (engrais, outils...), se reconcentre sur les terroirs les plus intéressants.

Après 1960, la population augmenta de nouveau sur l'Ouvèze et l'Ain, voire sur l'Ardèche. Cette pression relative récente confirma l'abandon du lit majeur. En effet, ceci marqua un renouveau d'une agriculture caractérisée par une spécialisation culturelle (arboriculture, viticulture...). Or, la spécialisation sélectionne les terroirs et accélère l'abandon de ceux qui sont les moins productifs et qui étaient hier complémentaires. La croissance démographique, notamment sur l'Ain, est également le signe d'une rurbanisation dont l'influence sur l'évolution de ces espaces est sans doute moins accusée.

### 1.2.3 Les rivières de plaines intramontagnardes (Giffre, Ubaye)

Sur ces rivières, l'évolution de la population semble assez identique à celle des rivières de piémont alors que la biométamorphose est plus récente. Il n'y a donc pas ici de relation étroite entre ces deux mouvements.

Sur le Giffre, Les communes ont atteint une densité démographique maximale au cours des années 1830-40. La densité était très importante dans la plaine et dépassait les 100 hab./km<sup>2</sup> à la Rivière-Enverse. Après 1850, le nombre d'habitants a décru de manière continue jusqu'en 1850-60. La réduction de la population de Samoëns et de Sixt s'amplifia notamment au moment de la première guerre mondiale.

Aujourd'hui, les densités sont réduites, ne dépassant pas 30 hab./km<sup>2</sup> dans la plaine et 5 hab./km<sup>2</sup> dans la haute vallée. Depuis 1970-80, un renouveau a été observé à la suite de l'essor très important du tourisme d'hiver et d'été. Ce phénomène remet en question la place de la forêt dans la plaine et pose avec acuité le problème de la gestion de cet espace.

Cet exemple est original. Une forêt existe et peut être même est née au moment du maximum démographique. Quelques raisons peuvent être avancées pour expliquer ce phénomène paradoxal. Il est possible que la législation sarde ait été appliquée avec efficacité. P. Mougin (1914) discuta cette efficacité et affirma que des coupes de bois avaient lieu dans toute la Savoie jusqu'en 1914 sans que les autorités, conscientes du problème, ne puissent agir. Malgré tout, l'absolue nécessité de conserver un filtre efficace entre la rivière et les terres était-elle vraiment suffisante? Sur l'Ardèche, le labour a été effectué au bord de la

rivière alors qu'elle disposait d'un régime torrentielle tout aussi préjudiciable. La communauté rurale du Giffre était-elle plus soudée, plus consciente de l'efficacité protectrice de la forêt lors des crues?

Sur l'Ubaye, la densité communale était déjà relativement faible (6-8 hab./km<sup>2</sup>) au XIX<sup>e</sup> siècle, le cadre naturel étant plus favorable à l'isolement qu'à l'ouverture (Avocat, 1979). Un siècle avant le maximum démographique, autour des années 1680-1700, toutes les terres étaient occupées pour le seigle, l'orge et l'avoine et l'essentiel de la ressource était lié à l'activité pastorale. Au début du XIX<sup>e</sup> siècle, il y a 28 hab./km<sup>2</sup> de SAU mais cette valeur augmente avant 1850 puis se réduit ensuite. La civilisation agro-sylvo-pastorale traditionnelle est une société de versant; les déplacements sur les pentes sont nombreux et l'agriculture est archaïque et routinière. C'est une agriculture de subsistance associée à l'élevage et à une émigration temporaire.

De 1876 à 1990, la population a été divisée par 1,6 à 3,5 dans le secteur de Barcelonnette et par 6,3 dans la haute vallée, les densités actuelles n'excèdent pas 30 hab./km<sup>2</sup> avec seulement 0,96 hab./km<sup>2</sup> sur la commune de Saint Paul. L'abandon de la montagne a été maximal entre 1914 et 1945 et la vallée a atteint le record du vieillissement des Alpes du Sud en 1968. Le relâchement de la pression humaine sur l'espace fossilise le paysage (Avocat, 1979). Les pertes de population, liées en partie à l'aventure mexicaine, seraient de l'ordre de 66% en un siècle. La population passa de 18 783 habitants en 1831 à 6 350 en 1968 (valeur la plus faible) (Meyzenc, 1984). Ce recul majeur a été tempéré par la commune de Barcelonnette qui a retenu une partie de l'exode; sa population passa de 2082 habitants en 1876 à 2969 en 1990, soit une augmentation de 42.6%.

Dans cette vallée, la déprise agricole ne se marque pas directement par une explosion de la végétation en lit majeur. En effet, la rivière occupe la totalité du fond de vallée, reléguant la communauté sur le versant. Par ailleurs, la société est avant tout pastorale et utilise les potentialités de l'ensemble des terroirs du versant. Elle est, par son organisation, détournée du fond de vallée où par ailleurs vie un torrent extrêmement fougueux. Par conséquent, le lien rivière - communautés n'est pas très étroit. La recolonisation végétale du fond de vallée correspond chronologiquement à la déprise rurale mais ne répond pourtant pas directement à un recul spatial de l'agriculture et à une sélection des espaces les plus productifs.

### 1.3 Les données de l'enquête

L'enquête auprès des propriétaires fonciers, réalisée au cours de l'été 1992 sur 4 des 5 rivières sélectionnées, s'est intéressée à la perception des changements perçus depuis les dernières décennies par les personnes interrogées. Compte-tenu de leur hétérogénéité (lieu d'habitation, âge...) et de la période de temps retenue mentalement par chacune d'entre elles, les réponses ne contribuent que très partiellement à expliquer la biométamorphose de certains des systèmes. Malgré tout, l'enquête auprès des personnes âgées locales semble être une démarche tout à fait complémentaire de l'analyse diachronique de photographies aériennes afin de comprendre l'évolution historique des paysages anthropisés.

Selon les personnes interrogées, la forêt aurait toujours existé (90% des réponses) (fig. 44). Néanmoins, si la réponse est claire sur le Giffre, voire l'Ubaye, l'Ain, et surtout l'Ardèche, ont un pourcentage de réponses négatives plus important. Ceci représente ainsi 16% des réponses sur l'Ardèche. Par ailleurs, ces valeurs sont à corréler avec la description des photographies aériennes qui a montré l'apparition de la forêt sur les seuls cours d'eau de piémont entre 1945 et 1970. Le paysage actuel des rives de l'Ain ou de l'Ardèche est très différent de celui de 1950. A la "lande" ou aux "stades pionniers ouverts" a succédé une forêt.

Pourquoi les personnes n'ont-elles pas réellement perçu le changement? La transformation du paysage est rapide et ancienne. Le reboisement marque avant tout la période 1945-1965. D'autre part, la question posée

était sans doute maladroite. La forêt est une définition plus ou moins large, physionomique et descriptive d'une unité de végétation. Ce constat repose sur le fait que certains ont signalé que la forêt a toujours existé mais qu'elle était différente.

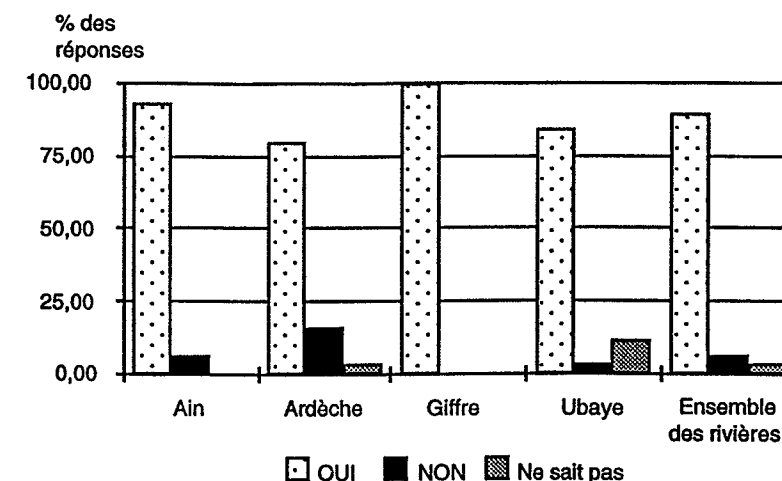


Figure 44 : La forêt a-t-elle toujours existé?

D'autres questions ont permis de mettre en lumière une modification des comportements et de la mise en valeur du lit majeur depuis 1945. En effet, les causes de la biométamorphose en lit majeur seraient liées à une transformation récente des pratiques agro-pastorales.

Le bétail était présent dans le lit majeur (tab. 6); des chèvres sur l'Ardèche, des moutons sur l'Ubaye et des vaches sur l'Ain pâturaient en bordure de rivière. La date des changements est difficile à préciser; le mode statistique est 20-30 ans sur l'Ain et 30-40 ans sur l'Ardèche mais le nombre d'individus ayant donné une réponse est trop faible pour valider ces valeurs. En outre P. Bozon (1961) estimait le nombre de têtes d'ovins dans la vallée de l'Ardèche à 10 654 en 1836 contre 1 226 en 1950.

Tableau 6 - Quel type de bétail était sur ces espaces?

| Nombre de réponses | Ain | Ardèche | Giffre | Ubaye |
|--------------------|-----|---------|--------|-------|
| Vaches             | 19  | 1       | 3      | 3     |
| Moutons            | 0   | 5       | 0      | 9     |
| Chèvres            | 4   | 18      | 1      | 4     |

Différentes questions ont également porté sur les usages passés et présents du lit majeur. Elles ont permis de mettre en valeur l'évolution au cours du temps de la domestication et le type d'occupation du lit majeur. Il existe une typologie des paysages de rivières allant des plus transformés (Ardèche et partiellement Ain) aux plus permanents (Giffre).

Le tableau 7 montre que 80% des propriétaires considèrent leurs parcelles comme naturelles, c'est-à-dire non-exploitées. Ils sont seulement 30% à affirmer qu'elles l'étaient aussi dans le passé. Beaucoup de propriétaires ont oublié l'état antérieur réel des parcelles et ont donné la même réponse aux questions "quel est l'état actuel de votre parcelle?" et "quel était son état passé?". Aussi, le test du  $\chi^2$  montre qu'il existe une dépendance entre ces deux variables; le  $\chi^2$  est égal à 77.2 pour un degré de liberté de 24 ( $\chi^2 > \chi^2$  obs. avec

$\alpha = 0.01$ ). 80% de cette dépendance s'explique par les associations qui décrivent une pérennité de l'état de la parcelle. Les associations "exploitation extensive actuelle / exploitation extensive passée" et "exploitation intensive actuelle / exploitation intensive passée" représentent respectivement 52% et 16% du  $\chi^2$ . Aussi, la positivité du test est à nuancer pour deux raisons : l'état ancien n'est pas très bien connu et il existe une forte implication d'associations faiblement représentées.

L'espace fluvial semble néanmoins avoir été davantage occupé dans la mesure où 18% des personnes ont affirmé que leur parcelle était en labour ou en pré dans le passé. Même si l'état des parcelles est globalement stable dans le temps, un paysage hier partiellement occupé cède place aujourd'hui à un paysage forestier.

Sur l'Ain et l'Ardèche, les personnes interrogées ont noté en outre qu'il y avait davantage de coupes de bois dans le passé. Il s'agissait de peupliers et de saules au printemps sur l'Ain (tous les 10 à 30 ans), de saules et de vernes sur l'Ardèche en hiver (bois de chauffe et entretien).

Tableau 7 - Tableaux de contingence N et N' associant les variables "quel est l'état actuel de votre parcelle?" et "quel est l'état passé de votre parcelle?".

|                           |                    | Etat actuel de la parcelle |                 |                        |                        |                   | Totaux |
|---------------------------|--------------------|----------------------------|-----------------|------------------------|------------------------|-------------------|--------|
|                           |                    | naturel entretenu          | naturel sauvage | exploité extensivement | exploité intensivement | ne sait pas (NSP) |        |
| Etat passé de la parcelle | nat. entr.         | 8                          | 7               | 0                      | 0                      | 0                 | 15     |
|                           | nat. sauv.         | 5                          | 10              | 0                      | 2                      | 0                 | 17     |
|                           | expl. ext.         | 0                          | 1               | 2                      | 0                      | 0                 | 3      |
|                           | expl. inten.       | 4                          | 7               | 0                      | 10                     | 0                 | 21     |
|                           | NSP                | 7                          | 15              | 1                      | 3                      | 3                 | 29     |
|                           | pré pour l'élevage | 2                          | 7               | 0                      | 1                      | 0                 | 10     |
|                           | cultures           | 4                          | 3               | 0                      | 1                      | 0                 | 8      |
| Totaux                    | 30                 | 50                         | 3               | 17                     | 3                      | 103               |        |

Tableau de contingence N

|                           |                    | Etat actuel de la parcelle |                 |                        |                        |                   | Totaux |
|---------------------------|--------------------|----------------------------|-----------------|------------------------|------------------------|-------------------|--------|
|                           |                    | naturel entretenu          | naturel sauvage | exploité extensivement | exploité intensivement | ne sait pas (NSP) |        |
| Etat passé de la parcelle | nat. entr.         | 4.37                       | 7.28            | .44                    | 2.48                   | .44               | 15     |
|                           | nat. sauv.         | 4.95                       | 8.25            | .5                     | 2.81                   | .5                | 17     |
|                           | expl. ext.         | .87                        | 1.46            | .09                    | .5                     | .09               | 3      |
|                           | expl. inten.       | 6.12                       | 10.19           | .61                    | 3.47                   | .61               | 21     |
|                           | NSP                | 8.45                       | 14.08           | .84                    | 4.79                   | .84               | 29     |
|                           | pré pour l'élevage | 2.91                       | 4.85            | .29                    | 1.65                   | .29               | 10     |
|                           | cultures           | 2.33                       | 3.88            | .23                    | 1.32                   | .23               | 8      |
| Totaux                    | 30                 | 50                         | 3               | 17                     | 3                      | 103               |        |

Tableau de contingence N' (effectifs n' ij en cas d'indépendance entre X et Y)

## 1.4 Synthèse

L'enquête, l'étude de l'évolution de la population et l'analyse des documents disponibles, notamment historiques, ont permis de proposer plusieurs schémas d'évolution de l'occupation du lit majeur.

Sur les cours d'eau de piémont, une succession de mutations interdépendantes a été observée. Celles-ci sont d'ordre agricole, pastoral et sylvicultural.

La disparition des cultures en lit majeur a été constatée sur l'Ardèche avant 1914. Elle est une réponse à l'exode rural. Il y a une reconcentration des labours sur les meilleures terres. Les terroirs les moins productifs sont ouverts aux troupeaux et permettent de développer une production supplémentaire. Souvent, les terroirs de lit majeur sont d'ailleurs d'anciens communaux (cas de l'Ain par exemple).

Après 1945, le déficit démographique atteint son maximum et le système agro-pastoral traditionnel devint agonisant. Celui-ci cèda place à une agriculture spécialisée, mécanisée et peu avide de main d'oeuvre. La polyculture vivrière et ses multiples terroirs complémentaires disparurent.

Une forêt alluviale est née entre 1945 et 1970 sur le lit majeur des rivières de piémont. Elle constitue une réponse à la modification des relations de l'homme avec la nature. L'agriculture se concentre sur les meilleures terres et abandonne l'élevage et les terroirs associés à cette activité pour la céréaliculture (Ain), la viticulture (Ouvèze) ou l'arboriculture (Ardèche). Par ailleurs, le faible coût de l'énergie fossile accentue encore cette évolution et conduit les habitants à abandonner le bois de chauffe que les communaux fournissaient aussi.

Ces mutations successives ont conduit à une transformation paysagère marquée par le passage d'un espace agricole, pastoral et/ou à boisement arbustif ouvert à un espace forestier à sous-bois dense. Cette "renaturation" par abandon est parfaitement reconnue sur l'Ardèche où l'on a une triple mutation fonctionnelle et paysagère d'ordre agricole, pastoral (chèvre) et sylvicultural (abandon de la forêt). Elle est plus floue sur l'Ain et l'Ouvèze où seule une double mutation fonctionnelle d'ordre sylvicultural et pastoral (vaches) est observée. Elle est accompagnée de changements paysagers de faible ampleur (passage de l'arbuste pionnier, épars à l'arbre).

En revanche sur les cours d'eau des plaines intramontagnardes tels que le Giffre et l'Ubaye, les mutations paysagères et fonctionnelles (sylviculture) sont très faibles voire inexistantes au cours du XX<sup>e</sup> siècle.

Seul un abandon relatif de la forêt peut être décelé. Une imperceptible mutation paysagère se marque depuis 1945 par une densification du sous-bois. Sur ces rivières, la biométamorphose est plus ancienne et ne s'explique pas de la même manière sur l'une ou l'autre. Sur le Giffre au XVIII<sup>e</sup> siècle, la stratégie sarde de lutte contre les destructions agricoles dans la plaine par une reforestation des rives a été le moteur d'une biométamorphose précoce. En revanche sur l'Ubaye, la relation entre une modification de l'occupation du lit majeur et la biométamorphose n'a pas été mise en évidence. L'observation du cadastre ancien a permis de penser que cette rivière ne disposait pas réellement de lit majeur au XIX<sup>e</sup> siècle. Les rares secteurs qu'elle ne remaniait pas dans le fond de vallée étaient les cônes de déjection des torrents actifs. Par ailleurs, l'homme s'est installé sur les versants.

La biométamorphose en lit majeur est un phénomène avant tout lié à l'homme. De sa stratégie d'occupation et de mise en valeur de l'espace dépendent les paysages alluviaux. L'existence actuelle d'une forêt alluviale relève donc de causes endogènes et anthropiques sur l'Ain, l'Ardèche, le Giffre et l'Ouvèze. Sur l'Ubaye en revanche, la recolonisation par les formations arborées est sans doute anthropique mais d'origine exogène.



## 2. La variabilité diachronique de la géométrie de la bande active : le rôle des ajustements biologiques et physiques

L'introduction de cette première partie a montré que la dynamique végétale riveraine s'inscrit dans un équilibre global au même titre que les processus physiques.

Comprendre les mécanismes régissant la mobilité des marges boisées implique de comprendre l'ensemble des éléments interactifs. L'explication de la régression ou de la progression de la végétation peut en effet dépendre d'une chaîne de causes physiques. Aussi, aborder dans ce chapitre un second point concernant la variabilité diachronique de la géométrie de la bande active ne relève pas du hors sujet. Il peut permettre d'éclairer les relations diachroniques que tissent les végétaux avec le milieu physique sous l'impulsion de mécanismes exogènes liés à la variabilité des flux ou endogènes liés à l'action de l'homme. L'approche sera méthodologique et bibliographique et abordera successivement le jeu des variables biologiques et physiques.

### 2.1 Le jeu des variables biologiques

La question est de savoir l'explosion des formations arborées est toujours conditionnée par une modification des flux. La modification de la couverture forestière n'agit-elle pas directement sur la largeur du lit mineur et par conséquent sur le style indépendamment d'une quelconque variation séculaire des flux? Si un tel cas existait, la dynamique endogène serait aussi importante que la dynamique exogène.

L'organisation des successions végétales riveraines des cours d'eau est contrôlée par l'hydrodynamique. Indépendamment des actions humaines exercées directement sur ces formations, toute perturbation hydrologique ou sédimentaire se répercute rapidement sur l'organisation des successions végétales, donc sur la nature des ligneux et sur la structure des peuplements présents sur les berges et, par voie de conséquence, sur la capacité du chenal de crue. Inversement, la rugosité hydraulique exercée par la végétation sur les écoulements hydriques et minéraux intervient dans la genèse des géoformes fluviales. En effet, la végétation est un facteur de rugosité. C'est pourquoi W.L. Cowan l'a intégré dans son équation comme un facteur de correction afin d'estimer la grandeur  $n$  de Manning (Hickin, 1984). De même, N. Kouwen et L. Rhu-Ming (1980) utilisent la végétation de berge pour déterminer la capacité d'écoulement d'un chenal et étudient ainsi les propriétés biomécaniques de la végétation qui sont régies par la flexibilité et la densité de végétaux.

Il est en effet admis que la végétation rivulaire influence la géométrie des chenaux. Les résultats actuels ont porté essentiellement sur de petites rivières. La dynamique de sédimentation (Dahlskog, 1966; Nanson et Beach, 1977; Lynch et al., 1977; Witt, 1985) et la morphologie des chenaux (Hadley, 1961; Gregory et Gurnell, 1988; Clifton, 1989) dans les cours d'eau forestiers sont largement dépendantes des structures biologiques. Les racines ont un rôle stabilisateur (Smith, 1976; Hickin et Nanson, 1984; Meehan et al., 1977; Bergeron et Roy, 1985) et l'existence, la hauteur et la position de la berge peuvent ainsi dépendre de la végétation de rive (Lisle, 1989).

Plusieurs études suggèrent que les chenaux dont les rives sont végétalisées sont plus étroits (Ferguson, 1986). Ainsi, il a été démontré que la largeur du chenal ( $W$ ) était en relation avec le débit à plein bord ( $Q$ ), l'équation la plus communément utilisée étant  $W = a Q^{0.5}$ .

En 1981, R.I. Ferguson note que sur les rivières anglaises,  $W = 3.15 Q^{0.5}$ . En fait, la variabilité de "a" dépend notamment du type de végétation des berges. R.D. Hey et C.R. Thorne (1986) proposent ainsi les équations suivantes pour  $r^2 = 0.9577$  et  $F = 322$  :

$$W = 4.33 Q^{0.5} \text{ pour une berge enherbée,}$$

$$W = 3.33 Q^{0.5} \text{ pour une berge dont le couvert arboré/arbustif est estimé de 1 à 5\%,}$$

$$W = 2.73 Q^{0.5} \text{ pour une berge dont le couvert arboré/arbustif est estimé de 5 à 50\%,}$$

$$W = 2.34 Q^{0.5} \text{ pour une berge dont le couvert arboré/arbustif dépasse 50\%.}$$

Cette étude montre que "a" se réduit quand le pourcentage de berge occupé par les ligneux augmente. De même, F.G. Charlton *et al.* (1978) montrent, sur des rivières britanniques à fond graveleux, que la largeur de la bande active, pour un débit donné, est moins importante sur les cours d'eau à berges arborées que sur ceux disposant de berges sans arbres (fig. 45). Ils proposent l'équation suivante :

$$W = 3.74 Q^{0.45}$$

La droite, ainsi tracée, marque une limite importante entre les rivières selon que leurs berges sont ou non boisées.

L'équation  $W = a Q^{0.5}$  a été utilisée afin de définir la valeur de "a" et sa variabilité diachronique sur les rivières étudiées. Néanmoins, étudier "a" revient à étudier la largeur de la bande active car le débit à plein bord que nous avons retenu est un débit théorique ( $Q_{1.5}$ ). Il est donc considéré comme constant au cours du temps. Or, en milieu naturel, la modification de  $W$  devrait s'accompagner d'une modification de la section d'écoulement et donc de  $Q_{1.5}$ . La question serait de savoir dans quelle mesure  $Q$  et  $W$  varient car la valeur de "a" en dépend. Nous ne disposons malheureusement pas des données nécessaires pour répondre à cette question qui constitue en elle-même un véritable axe de recherche

Malgré la constance du débit à plein bord, "a" varie considérablement d'une rivière à l'autre et d'une année à l'autre sur une même rivière. La valeur de "a" pour l'année 1947 sur l'Ain correspond assez exactement à celle définie par R.D. Hey et C.R. Thorne (1986) sur les cours d'eau dont la berge est enherbée alors que celle de 1991 correspond à la valeur que ces mêmes auteurs ont calculée sur les rivières à berges arborées. Si les valeurs de "a" sur l'Ain et l'Ardèche sont proches de celles observées sur les rivières anglaises, elle sont en revanche beaucoup plus élevées sur les autres cours d'eau étudiés (tab. 8).

Tableau 8 - Variation diachronique de la valeur "a" sur les cinq rivières étudiées :

|                | Ain         | Ardèche     | Giffre      | Ouvèze      | Ubaye        |
|----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| <b>a</b>       | 4,22 (1947) | 3,05 (1947) | 8,88 (1934) | 7,39 (1947) | 9,6 (1948)   |
| (année         | 2,55 (1971) | 2,85 (1969) | 8,60 (1954) | 4,99 (1973) | 10,77 (1956) |
| d'observation) | 2,23 (1991) | 2,92 (1989) | 8,04 (1974) | 4,28 (1991) | 10,82 (1973) |
|                |             |             | 8,50 (1984) |             | 9,32 (1982)  |
|                |             |             |             |             | 8,67 (1990)  |

NB : Seule la largeur varie d'une année à l'autre dans le calcul de l'équation  $a = W / Q^{0.5}$ .  $W$  est la largeur moyenne de la bande active estimée sur les transects et  $Q$ , le débit de fréquence 1,5 an présenté dans le tableau 3.

La variation diachronique de la constante "a" entre les années 1950 et aujourd'hui n'est observée que sur deux cours d'eau, l'Ain et l'Ouvèze. Sur le Giffre et l'Ubaye, la variation n'est que de l'ordre de +/- 10-20%.

Si la variation diachronique de la valeur "a" s'explique surtout par la présence ou l'absence de la végétation arborée en berge, la variabilité synchronique d'une rivière à l'autre peut s'expliquer notamment par la pente ( $S$ ). Une relation étroite ( $r = 0.962$ ) et assez représentative compte tenu de la faible fréquence des individus ( $p = 0.0087$ ), est constatée entre la valeur moyenne de la pente et la valeur moyenne de "a". Plus la pente est forte, plus la largeur est étroite (fig. 46). Pour les cinq rivières d'étude, l'équation suivante peut donc être proposée :

$$S = 0.794 a + 0.772 \text{ soit } S = 0.794 W / Q^{0.5} + 0.772$$

Lorsque la végétation arborée se développe en lit majeur, elle modifie la géométrie et notamment la largeur de la bande active. La largeur moyenne de cette dernière et la part du lit majeur occupée par la forêt à différentes dates sont mises en relation sur les cours d'eau de piémont soumis récemment à une explosion des formations arborées (fig. 47). Dans les 3 cas, la relation est étroite ( $r > 0,9$ ). Par ailleurs, comme ces évolutions sont comparables, il est possible d'associer sur un même graphique les données concernant ces trois cours d'eau. Le résultat est représentatif ( $p = 0,049$ ) et la réduction de la largeur de la bande active semble ainsi dépendre de l'augmentation de la superficie du lit majeur occupée par les formations arborées. La bande active se réduit de 100 à 50m quand la superficie forestière passe de 10 à 65% du lit majeur. Inversement sur l'Ubaye et le Giffre, où la variation de la superficie forestière est inférieure à 10%, la variabilité de la largeur de la bande active est indépendante de la part du lit majeur occupée par la forêt.

L'ajustement de la géométrie du lit à la biométamorphose semble ainsi être mis en évidence sur les rivières de piémont. La recolonisation végétale de la bande active pourrait donc être indépendante d'une quelconque variation des flux. Ce phénomène est cependant transitoire car l'augmentation de la rugosité et la réduction de la vitesse des écoulements en lit majeur entraînent une concentration de l'eau dans la bande active qui finit par stopper le mécanisme d'ajustement biologique, un nouvel équilibre ayant été trouvé.

Ce mécanisme, lié dans le cas présent à une modification des pratiques culturales, doit être rarissime en milieu naturel dans la mesure où il nécessite une transformation majeure de la couverture végétale.

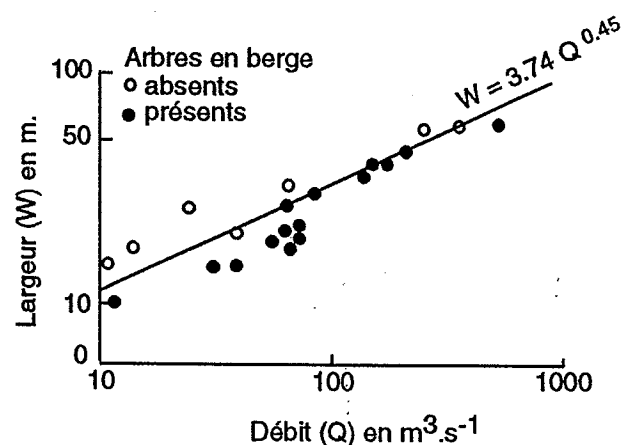


Figure 45 - Effet de la stabilité de berge par végétalisation pour des rivières à fond graveleux de Grande Bretagne (d'après Charlton *et al.*, 1978)

Ces résultats permettent de formuler plusieurs remarques :

1. La recolonisation végétale de la bande active peut être principalement liée à une recolonisation végétale initiale en lit majeur.
2. Une recolonisation végétale peut donc dépendre de causes endogènes.
3. Il est possible qu'une telle dynamique puisse conduire dans certains cas à une métamorphose fluviale.

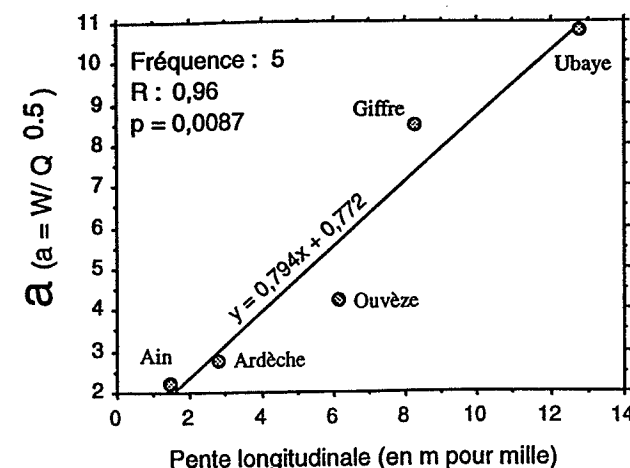


Figure 46 - Relation entre la valeur moyenne de la pente et la valeur moyenne de "a" sur les cinq rivières d'études

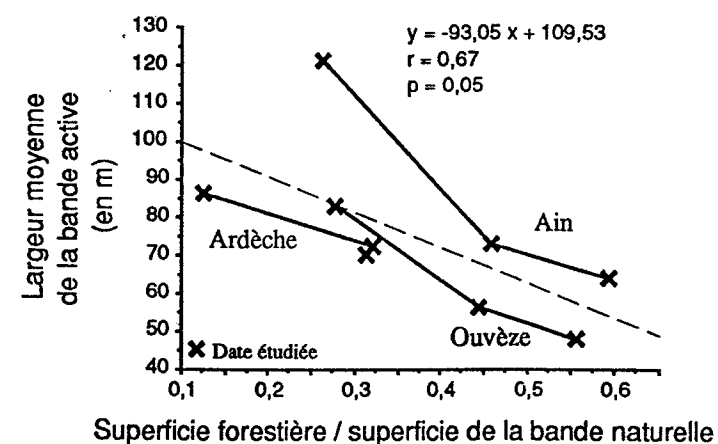


Figure 47 - Largeur moyenne de la bande active et part de la superficie du lit majeur occupée par les formations arborées, une relation étroite sur les rivières de piémont soumises à une biométamorphose récente

## 2.2 Le jeu des variables physiques

Les modifications contemporaines des variables physiques (style, altitude du lit, puissance hydraulique) seront brièvement étudiées. Leurs causes et leurs influences sur la variation de l'extension spatiale de la végétation seront ensuite discutées. Une approche bibliographique et méthodologique présentera auparavant la démarche.

### 2.2.1 Bibliographie et méthodologie

Des phénomènes physiques peuvent intervenir pour expliquer la réduction de la bande active sans qu'il y ait une modification quelconque de la couverture végétale du lit majeur. La transformation d'un style fluvial peut par exemple conduire à un ajustement de la végétation.

Le style géomorphologique est une réponse de la rivière aux flux liquides et solides. Il décrit une forme de dissipation de l'énergie excédentaire. Le méandrage est ainsi un ajustement en plan à des conditions hydromorphologiques particulières. L'allongement du chenal principal permet une baisse de la valeur de la pente et donc une baisse de la vitesse d'écoulement dissipant, par frottement, l'énergie en excès. De profondes modifications des conditions d'équilibre peuvent conduire à un changement de style, à une métamorphose dans laquelle le couvert végétal peut intervenir également.

Cette étude méthodologique présentera successivement les descripteurs de l'évolution :

- du tracé en plan,
- du profil en long,
- et des puissances hydrauliques des cinq rivières d'étude.

### 2.2.1.1 Les descripteurs de l'évolution en plan

Des descripteurs ont été retenus afin de mettre en évidence la variation dans le temps du tracé du chenal et de la connexion spatiale entre la bande active et le lit majeur.

Des indices morphodynamiques semi-quantitatifs ont été calculés à partir des photographies aériennes pour la période 1950 - 1990. La période antérieure n'a pas été étudiée faute d'une méthode efficace et rapide pour une étude de 5 rivières. Les plans d'assemblage cadastraux se sont révélés imprécis, les chenaux actifs étant rarement représentés dans la bande de divagation. Compte tenu de la faible largeur des cours d'eau étudiés, à l'exception de l'Ain, les cartes antérieures à 1950 n'ont pas pu être exploitées.

Trois paramètres ont été analysés sur chacun des cours d'eau :

- Le taux de sinuosité du chenal est le plus souvent défini comme le rapport de la longueur du chenal sur la longueur de l'axe de la bande de méandrage (Brice, 1964) et peut être calculé sur l'ensemble d'un cours d'eau ou par unité de longueur (500m) afin de permettre une analyse synchronique de son évolution amont - aval. Un problème de calcul se pose sur les lits à chenaux multiples et J.P. Bravard (1987) détermine dans ce cas le taux de sinuosité du bras principal. Ce "taux de sinuosité du chenal principal" (Peiry, 1988) est estimé au curvimètre sur l'ensemble des tronçons d'étude. Sur l'Ardèche, l'Ouvèze et l'Ubaye, le style varie beaucoup de l'amont vers l'aval et le taux a donc été calculé sur plusieurs tronçons homogènes.
- Le taux de tressage. Proposé par L.W Leopold et M.G. Wolman (1957), il peut être calculé de multiples manières (Peiry, 1988; Gautier, 1992). Nous ne retiendrons qu'un indice simplifié, le nombre de chenaux observé sur chacun des transects équidistants de 250m. Il permet d'obtenir un indice moyen de multiplicité des chenaux, le nombre moyen de chenaux observé sur l'ensemble des transects, ainsi qu'une rapide sectorisation du tronçon selon la variabilité de la multiplicité des chenaux.
- Le nombre d'îlots boisés dans la bande active est également un indice semi-quantitatif utile et complémentaire de ceux proposés ci-dessus (Bravard *et al.*, 1990). Il permet d'évaluer le degré de connexion entre la bande active et le lit majeur ainsi que la complexité de la mosaïque fluviale.

Sur l'Ardèche et le Giffre, les largeurs du chenal et des bancs de galets ont été distinguées lors de l'exploitation des photographies aériennes. Aussi, l'évolution diachronique et synchronique du rapport largeur du chenal / largeur totale de la bande active a pu être également appréciée. Ce rapport est un bon indicateur de la chenalisation progressive de la rivière.

### 2.2.1.2 L'analyse diachronique des profils en long

L'enfoncement des lits fluviaux observé aujourd'hui sur de nombreux cours d'eau du Centre-Est de la France tels que l'Arve (Peiry, 1987a; Blanc *et al.*, 1989) ou l'Herbasse (Landon *et al.*, 1993) est un phénomène qui peut expliquer la mobilité de la limite entre la forêt et la bande active dans la mesure où il peut modifier les conditions d'écoulement.

L'étude de l'évolution historique du profil en long s'est fondée sur une analyse comparative et diachronique des profils de la ligne d'eau ou du fond du lit (Landon et Piégay, 1994). Les valeurs synthétiques d'enfoncement correspondent aux écarts altitudinaux existants entre les lignes d'eau. Elles sont calculées pour des sections de 250, 500 ou 1000 m de longueur à partir d'un graphique sur lequel figurent toutes les lignes d'eau de la rivière. Afin de faciliter l'interprétation des résultats, l'évolution a été représentée sur une série de documents cartographiques. Cette analyse est délicate et peut être discutable lorsque la position et la longueur du chenal varient d'une période à l'autre ou que la ligne d'eau choisie ne se réfère à aucune valeur de débit.

L'estimation d'un budget sédimentaire a également été proposée au cours des périodes étudiées, mais l'absence de profils en travers ne permettant pas un calcul précis, les pertes en sédiments ont été estimées sur les transects à partir de la formule suivante :

$$V = I L W$$

V est le volume de sédiment (en m<sup>3</sup>) estimé sur une section donnée de rivière, I, la valeur de l'enfoncement entre les deux dates de référence, L, la longueur du tronçon entre deux transects (250 m, 500 ou 1000 m) et W, la largeur moyenne de la bande active.

Sur la rivière d'Ain, quatre profils en long sont disponibles pour une étude diachronique.

- Le premier a été levé en mars 1857 par le Service des inondations dépendant des Ponts et chaussées du département de l'Ain; il est conservé à la DDE de Bourg-en-Bresse. Les côtes altitudinales du fond du lit, de la ligne des hautes eaux de 1840 et de 1856, et de la ligne d'eau d'étiage de 1857 sont représentées.
- Le second, un profil en long de la ligne d'eau d'étiage, a été levé en mai 1920 par le Service du nivellement général de la France pour le compte du Service des Grandes Forces Hydrauliques. Ces altitudes orthométriques ont été relevées selon les repères de 25 à 28 cm.
- Le troisième est un profil du fond du lit et de la ligne d'eau de l'été 1976 levé entre Poncin et Saint-Maurice-de-Gourdans dans le cadre d'une étude globale des érosions (Direction départementale de l'équipement de l'Ain, 1976). Aucun débit de référence ne figurant dans les documents, notre estimation s'est appuyée sur les débits moyens mensuels de juillet et d'août conservés dans la banque Hydro et évalués respectivement à 27 et 10 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>.
- Le dernier profil date de 1986 et concerne le fond du lit et la ligne d'eau d'étiage de l'Ain (30 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>) entre le pont de Gévrieux et le Rhône (Compagnie Nationale du Rhône, 1986). Il a été levé sur les mêmes transects que celui de 1976 ce qui permet une fine comparaison des deux.

S'il a été possible d'utiliser le profil de 1921 sans que le risque d'erreur soit trop important, l'étude de l'enfoncement depuis 1857 est beaucoup plus aléatoire. Les côtes d'altitude de cette période n'ont pas pu être recalées par rapport à celles de 1920. Leur comparaison ne peut donc s'effectuer que sur trois points du tronçon, le pont de Gévrieux, le viaduc SNCF de Loyes et le pont de Chazey-sur-Ain. Au pont de Gévrieux par exemple, la côte de 1920 qui est de 220.74 m (tête aval rive droite) est très différente de celle de 1857 prise sur le socle de la pile gauche (227.57 m). Malgré cette incertitude, une spatialisation de l'enfoncement de la ligne d'eau est tout de même proposée car la côte altitudinale située à la confluence avec le Rhône concorde avec celle qui est représentée sur l'Atlas du Rhône levé également en 1857. J.P. Bravard *et al.* (1990) ont utilisé cette source et noté un enfoncement de plus de 3 m entre 1857 et aujourd'hui avec une altitude à la confluence qui passerait entre les deux dates de 188.56 à 185 m.

L'analyse diachronique des profils en long a été plus facile sur l'Ardèche car la rivière est peu sinueuse et l'axe de la bande active est stable. Un profil de la ligne d'eau d'étiage existe sur la totalité du tronçon étudié en 1922 et en 1984. Le premier a été levé par le Service du nivellement général de la France pour le compte des Grandes forces hydrauliques. Le second a été levé par Cédric (1984) dans le cadre du contrat de rivière. Un troisième profil de la ligne d'eau d'étiage a été levé en 1991 du pont d'Aubenas au hameau de Ville par ce même organisme. Enfin, Sintégra a également levé pour Sogreah (1990) un profil en long très détaillé du fond du lit en 1989 à l'exception du tronçon Ville-Vogüé levé par la Compagnie Nationale du Rhône (1989). Les données des deux campagnes, conduites la même année et dans les mêmes conditions, sont parfaitement ajustables. Dans la mesure où ils concernent le fond du lit, la comparaison avec les autres profils est difficile à envisager. D'autre part, seulement 5 ans les séparent de celui de 1984. Par conséquent, l'étude diachronique n'a pas tenu compte de ce profil mais il a néanmoins été exploité lors de l'analyse synchronique de la puissance hydraulique. L'exploitation des données du contrat de rivière a permis une estimation assez fine de l'enfoncement et des volumes solides perdus ou gagnés entre les deux dates. L'altitude corrigée du lit de 1922 et de 1984, la largeur de la bande active et la surface du bassin versant, à partir de laquelle il est possible d'estimer des débits de projet, sont disponibles sur 45 points du tronçon, soit 1 par km.

Sur le Giffre, le profil de la ligne d'eau a été levé à cinq reprises au cours du XX<sup>e</sup> siècle (tab. 9). L'analyse comparative des profils en long est possible car le taux de sinuosité du Giffre a peu varié. L'axe de la bande active ainsi que sa largeur sont restés relativement stables depuis 1934.

Néanmoins, les profils ont été levés pour des débits très différents. En 1973 et 1991, le débit était important, alors qu'en 1912 et 1988, le levé a été effectué lors d'une période d'étiage. Le débit de 1912 n'est pas connu mais date du mois de novembre. Or, le débit moyen pour ce mois est estimé à  $12 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  durant la période 1948-1988 et seulement 4 années présentent un débit supérieur à  $20 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  en novembre. Les côtes de 1912 et de 1973 ont été relevées de 35 cm par Céric (1983) afin de compenser le passage du système orthométrique au système "IGN 1969" auquel se réfèrent les autres profils. Néanmoins Sogreah (1988) signale une erreur de correspondance entre les points kilométriques de 1912 et ceux de 1984 entre Rivière-Enverse et Visigny.

Ainsi, compte tenu de cette variation du débit, les valeurs d'incision peuvent être légèrement sous-estimées lorsque l'on compare les lignes d'eau de 1912/1973 et 1983/1988 et au contraire surestimées pour les périodes 1973/1983 et 1988/1993. Cette limite étant connue, ces profils successifs restent une source historique inestimable.

Tableau 9 - Profils en long et sources disponibles (moyenne vallée du Giffre) :

| Date | Tronçons étudiés<br>(points kilométriques) | Source                            | Débits<br>( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) |
|------|--|-----------------------------------|--|
| 1912 | PK. 6.3 - 21.5                             | Grandes Forces Hydrauliques, 1912 | étiage? (novembre)                             |
| 1973 | PK. 7.5 - 19.0                             | Céric, 1973                       | 40-45  |
| 1983 | PK. 6.0 - 21.5                             | Céric, 1983                       | 25-30  |
| 1988 | PK. 7 - 19.7                               | Sogreah, 1988                     | 9-10   |
| 1993 | PK. 14.8 - 19.1                            | Cette étude, été 1993             | 46   |

Sur l'Ouvèze, seuls deux profils récents sont disponibles. Aucun d'eux n'a été levé avant les années 1980. Le premier profil est un levé du fond du lit de 1987 tiré de l'étude Merlin (1989). Il a été reconstitué à partir des profils en travers et des cartes de restitution photogrammétrique (orthophotoplan au 1/5 000<sup>e</sup>). 116 profils en travers ont été représentés mais seuls 28 ont réellement été levés sur le terrain, essentiellement dans le secteur drômois et à l'aval de Bédarrides. Le second profil a été levé par Sogreah en 1993 dans le cadre des études d'urgence lancées après la crue de septembre 1992. Il s'agit d'un profil de la ligne d'eau d'étiage à l'aval et à l'amont de Vaison et d'un profil du fond du lit dans la traversée de l'agglomération. Quelques levés semblent avoir été effectués dans les zones d'extraction entre 1970 et 1985 et ont été reportés dans l'étude Merlin mais ils restent très ponctuels et impossibles à recaler.

Si les deux profils peuvent être comparés, l'analyse est cependant restée prudente car :

- L'un concerne le fond du lit et l'autre concerne la ligne d'eau d'étiage. Seul le tronçon urbain de Vaison est donc réellement comparable. Aussi, toute valeur de l'incision ou de l'accumulation doit être à nuancer, une marge d'erreur de +/- 1m. n'étant pas impossible. L'accumulation a donc été surestimée alors que l'incision était sous-estimée.
- Les résultats de 1987 sont très imprécis : seuls 61 points sont disponibles contre 166 en 1993. Ces points sont par ailleurs restitués et des erreurs sont de plus à noter dans les documents, la position des transects sur le plan ne correspondant pas toujours à leur position sur le profil.
- La période séparant le levé de ces deux profils étant très courte et l'étude de ces derniers ne nous renseigne donc finalement que très partiellement sur la dynamique d'ajustement de la végétation qui a touché la vallée avant 1970.

Plusieurs profils en long de la ligne d'eau d'étiage sont disponibles sur l'Ubaye. Celui de 1908, levé par le Service du nivellement général de la France pour le compte des Grandes forces hydrauliques, est le seul à avoir été dressé sur l'ensemble du cours d'eau. Les altitudes orthométriques ont été relevées de 17 cm afin d'être comparables avec les côtes actuelles. Deux profils en long de la ligne d'eau d'étiage ont été levés récemment au niveau de l'agglomération de Barcelonnette. Celui de 1986 (Sud-Aménagement, 1984) s'étend sur 6 km du pont Long à la station d'épuration de la ville alors que celui de 1991, levé par EDF ( Cémagref *et al.*, 1993) couvre, sur une distance de 10 km, le tronçon Jausiers-Barcelonnette.

### 2.2.1.3 L'analyse diachronique des puissances hydrauliques

La notion de puissance hydraulique est importante en hydromorphologie car elle conditionne la géométrie de la bande active. G.C. Nanson et E.J. Hickin (1984, 1986) montrent que le taux de migration des méandres dépend notamment de la puissance spécifique. J. Lewin (1983) note que les chenaux à sédiments fins disposant d'une faible puissance spécifique sont plus petits que les autres.

Aussi, une analyse diachronique des puissances a été proposée car toute modification historique de cette dynamique peut être utilisée pour comprendre la biométamorphose de la rivière.

Les différents profils en long et les photographies aériennes ont ainsi été exploités afin de déterminer les pentes et la largeur de la bande active. Une cote d'altitude a été relevée sur le profil en long tous les 250, 500 ou 1000m afin d'étudier la variabilité longitudinale de la valeur de la pente sur des segments comparables. Les photographies aériennes étant des sources récentes, rarement postérieures à 1945, seule l'étude diachronique des puissances brutes a pu être conduite sur les deux siècles. Le débit à plein bord retenu a été considéré comme constant. Faute de données historiques fiables, il s'est en effet avéré impossible de prendre en compte ses modifications potentielles. Lors de son étude diachronique des rivières des Arroyos dans l'Utah, W.L. Graf (1982) avait également considéré ce débit comme une constante et expliqué la variation de la

puissance unitaire par la seule variation de la pente. Les débits de projet ( $Q_{1,5}$ ) sont estimés d'après la surface des sous-bassins. Leur calcul repose sur la formule suivante (SRAERA, 1985) :

$$q = Q (s/S)^{0,8}$$

S et Q représentent respectivement la surface du bassin et le débit à plein bord théorique ( $Q_{1,5}$ ) au niveau de la station limnigraphique alors que s et q correspondent respectivement à la surface du bassin en un point p du cours d'eau (généralement une confluence) et au débit estimé au niveau de p. Celui-ci est considéré comme représentatif du secteur aval jusqu'à la confluence suivante.

Deux types de graphiques seront proposés sur chacune des rivières en fonction des données disponibles. Ils présenteront successivement la variabilité dans le temps de la puissance brute et de la puissance unitaire.

Sur la vallée de l'Ain, la pente longitudinale de la rivière a été étudiée en 1857, 1920, 1976 et 1986. Les débits à plein bord théoriques s'appuient sur les données de la banque HYDRO,  $Q_{1,5}$  étant estimé à  $820 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  à Chazey-sur-Ain. Seuls deux secteurs ont été distingués en fonction de la valeur de leur débit, l'un et l'autre étant situés respectivement à l'aval et à l'amont de l'Albarine. Selon la méthode proposée ci-dessus, leurs débits ont été estimés à 820 et  $763 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Les cotes d'altitude à partir desquelles sont calculées les pentes sont équidistantes d'un kilomètre. Une analyse des puissances unitaires a été également proposée pour les années 1976 et 1986 car elle peut s'appuyer sur les photographies de 1971 et 1991 afin de déterminer la largeur de la bande active.

Sur l'Ardèche, l'étude diachronique des puissances brutes a été conduite à partir des profils en long de 1857, 1922, 1984 et 1989. Le premier, qui concerne le fond du lit (Archives Départementales, n° 1262 W 154-155), n'a pas été exploité lors de l'étude de l'enfoncement car il n'a pas pu être recalé altitudinalement. En outre, la puissance unitaire a été calculée pour les années 1984 et 1989 car la largeur de la bande active a pu être estimée sur les photographies aériennes. En 1984, le nombre de points est faible, en moyenne 1 par km, mais certains écarts dépassent 2 et parfois 4 km. Le profil du fond du lit levé en 1989 est plus difficile à interpréter car il enregistre la morphologie du lit et met en valeur des zones surcreusées disposant d'une pente négative. Les points kilométriques de 1989 et les cotes altitudinales qui leurs sont liées ont été recalés sur ceux de 1984 un point étant retenu tous les 250m afin de corrélérer cette information avec les largeurs observées sur les photographies aériennes.

Selon la formule du SRAERA (1985), S et Q sont la surface du bassin et le débit à plein bord théorique à la station de Vogüé ( $S = 636 \text{ km}^2$ ,  $Q_{1,5} = 605 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) et s et q, la surface du bassin et le débit aux confluences de l'Ardèche avec les principaux affluents (tab. 10). En 1984, s a été calculé par le Cérec pour chaque point de mesure ce qui permet de définir plus précisément  $Q_{1,5}$ .

Sur le Giffre, trois profils en long (1922, 1973 et 1983) sont disponibles pour l'étude de la puissance brute. Les largeurs observées sur les photographies de l'IGN en 1974 et 1984 ont également permis une comparaison des puissances unitaires pour la période récente. Les points kilométriques des profils en long ont été recalés et les pentes ont été calculées pour des tronçons de 250 m. Le débit de projet  $Q_{1,5}$  a été estimé par Sogreah (1988) à  $117 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  à Taninges-Pressy pour un bassin versant de  $325 \text{ km}^2$ . Ces deux valeurs ont permis de proposer un débit en différents points du linéaire, choisis au niveau des confluences (tab. 11).

Tableau 10 - Superficie des sous-bassins et débits estimés sur le tronçon étudié de l'Ardèche :

| Confluence de l'Ardèche<br>avec : | Superficie du sous-bassin<br>(en $\text{km}^2$ ) | Débit de fréquence 1.5 an<br>(en $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) |
|-----------------------------------|--|---|
| Luol                              | 480  | 484   |
| Louyre                            | 580  | 576   |
| Auzon                             | 635  | 605   |
| Ligne                             | 807  | 733   |
| Beaume                            | 931  | 822   |
| Chassezac                         | 1930   | 1472  |
| Ibie                              | 2100   | 1575  |

Tableau 11 - Superficie des sous-bassins et débits estimés sur le tronçon étudié du Giffre :

|                              | Superficie du sous-bassin<br>(en $\text{km}^2$ ) | Débit de fréquence 1.5 an<br>(en $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) |
|------------------------------|--|---|
| Giffre (amont de Samoëns)    | 138  | 59  |
| Confluence avec le Clévieux  | 194  | 77  |
| Confluence avec la Valentine | 233  | 90  |
| Confluence avec le Foron     | 325  | 117   |

L'étude des puissances ne concerne qu'une très courte période sur l'Ouvèze : 1986-1993. Différents sous-bassins ont été repérés sur la carte IGN au 1 / 100 000° et leur superficie respective a été estimée ce qui a permis de proposer différents débits à plein bord en fonction des principales confluences (tab. 12). Le débit  $Q_{1,5}$  de référence a été estimé à  $117 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  à Vaison par l'étude Merlin (1989).

Tableau 12 - Superficie des sous-bassins et débits estimés sur le tronçon étudié de l'Ouvèze :

| Tronçons retenus :                             | Superficie du sous-bassin<br>(en $\text{km}^2$ ) | Débit de fréquence 1.5 an<br>(en $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) |
|--|--|---|
| L'Ouvèze à l'amont du Groseau                  | 542  | 111   |
| L'Ouvèze du Groseau à l'amont du Lauzon        | 578  | 117   |
| L'Ouvèze du Lauzon à l'amont du Rieu (Rasteau) | 633  | 126   |
| L'Ouvèze à l'aval du Rieu                      | 700  | 136   |

Sur l'Ubaye enfin, la rareté des données historiques n'a pas permis pas une analyse très fine des puissances hydrauliques. Seule une confrontation des puissances unitaires de 1908 et 1986-91 a pu être proposée entre le Pont des Davids à l'aval de Jausiers et la zone industrielle de Barcelonnette. Afin de comparer les données actuelles et celles de 1908 sur un tronçon le plus long possible, nous avons retenu les valeurs altitudinales de 1991 et celles de 1986 sur le tronçon situé à l'aval de Barcelonnette. Celui-ci n'existe en effet qu'à cette date et la période de 5 ans séparant les deux levés est très faible comparé aux 80 années qui les séparent de l'année 1908. Le débit à plein bord théorique a été tiré de la banque HYDRO ( $Q_{1,5}$ ) à la station de

Barcelonnette (549 km<sup>2</sup>). La superficie des sous-bassins a été planimétrée ce qui a permis de proposer différentes valeurs de débit à plein bord sur le tronçon étudié (tab. 13).

Tableau 13 : Superficie des sous-bassins et débits estimés sur le tronçon étudié de l'Ubaye :

| Tronçons retenus :                                  | Superficie du sous-bassin (en km <sup>2</sup> ) | Débit de fréquence 1.5 an (en m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ) |
|---|---|---|
| Amont du torrent de Bramafan                        | 505   | 58  |
| Torrent de Bramafan / amont du torrent de St Pons   | 549   | 62  |
| Torrent de Saint-Pons / amont du torrent de Gimette | 719   | 77  |
| Torrent de Gimette / amont du torrent de la Blanche | 790   | 83  |
| Aval du torrent de la Blanche                       | 1017  | 101   |

La démarche méthodologique étant exposée, la description des modifications physiques enregistrées par les rivières d'étude au cours des XIX<sup>e</sup> et XX<sup>e</sup> siècles va être abordée.

## 2.2.2 L'étude des rivières

### 2.2.2.1 L'Ain

L'évolution en plan de la basse rivière d'Ain au cours des XVIII<sup>e</sup>, XIX<sup>e</sup> et XX<sup>e</sup> siècles a déjà été bien étudiée par J.P. Bravard (1986b) et J.P. Bravard *et al.* (1991). En un siècle, le style fluvial de la rivière s'est modifié. Le tressage, typique des XVIII<sup>e</sup> et XIX<sup>e</sup> siècles, a cédé la place à partir du début du XX<sup>e</sup> siècle à un autre style (fig. 48). Le taux de sinuosité et le nombre d'îles boisées ont atteint des valeurs maximales entre 1900 et 1930. Entre 1931 et 1989, le nombre d'îles boisées, la longueur totale du chenal et le pourcentage de transects à chenal unique passèrent respectivement de 22 à 4, de 42 à 40,2 km et de 74,6% à 78,8%. La transformation physique a ainsi été observée avant même la biométamorphose et la mise en place des barrages.

Le mouvement s'est poursuivi par la suite mais beaucoup plus lentement. Le nombre moyen de chenaux par transects s'est réduit de manière continue entre 1947 et 1992 passant de 1,31 à 1,23. De même, le taux de sinuosité de 1,29 en 1931, n'est plus aujourd'hui que de 1,22. La rivière d'Ain est donc devenue une rivière sinueuse et à chenal unique.

Par ailleurs, l'ajustement à de nouvelles conditions hydrodynamiques n'a pas seulement été horizontal. Il s'est également manifesté verticalement. Pour diagnostiquer l'incision, J.P. Bravard *et al.* (1990) ont utilisé différentes sources et leur analyse est restée prudente et très ponctuelle. Ils ont utilisé les minima annuels à la station limnimétrique de Chazey-sur-Ain afin de montrer dans ce secteur la stabilité du profil depuis 1897. Les points fixes remarquables, tels que les ponts, ont également été étudiés et ils ont montré que la base de ces ouvrages a eu tendance à se découvrir et à former une chute de 0,5 à 1 m en aval. C'est notamment le cas des ponts SNCF et routiers situés à l'amont de Blyes. Une troisième source, l'évolution des profils en travers entre 1976 et 1986, a montré une tendance au creusement qu'ils ont estimé à 0,3 m.

Ces auteurs concluent à un enfouissement très net de l'Ain depuis 1850. Cet enfouissement est cependant discontinu puisque des secteurs restent stables (Chazey) alors que d'autres présentent un enfouissement compris entre quelques cm et 3 m. Ils ont également observé un exhaussement de l'ordre de 20 à 30 cm à l'aval de Port Galland entre 1976 et 1986 mais ils notent qu'il est en contradiction avec les relevés effectués entre

1974 et 1981. 1,3 m d'enfoncement serait en effet observé entre ces deux dates au voisinage du profil n° 33 situé à un kilomètre à l'aval de Port Galland.

L'analyse diachronique des lignes d'eau d'étiage proposée ici amène des informations complémentaires. Il est possible que l'enfoncement majeur ait été acquis dès 1920. En effet, entre 1857 et 1920, l'enfoncement moyen calculé sur 71 points équidistants de 500 m serait de 2,9 m avec un maximum de 5,5 m à 1 km à l'aval du pont de Port Galland (fig. 49A). Ces constatations indiqueraient que la métamorphose physique aurait touché la vallée de l'Ain très tôt, dès le début du XX<sup>e</sup> siècle.

Les tronçons situés à l'amont de Priay et à l'aval de Mollon auraient aussi été très touchés puisque l'enfoncement serait estimé localement à 4 m. En fait, l'incision aurait touché l'ensemble du tronçon, aucun point ne présentant un exhaussement et la valeur la plus faible étant de -0,9m. Si les cotes de 1857 ont été levées selon le même système de référence que celui de 1920, elles devraient encore être relevées de quelques 25 cm ce qui induirait un enfouissement moyen supérieur à 3 m. Cependant compte tenu de la faible fiabilité des données de 1857, cette argumentation reste fragile.

Si la représentation spatialisée a le mérite d'être extrêmement visuelle et de mettre en évidence les secteurs les plus touchés, ces résultats quantitatifs sont à nuancer car :

1. la marge d'erreur concernant les cotes réelles est très élevée,
2. la rivière est sinueuse, change très souvent de cours et un même point kilométrique peut, à deux dates données, restituer les altitudes de deux sites différents malgré le recalage systématique entrepris à partir de points remarquables. Par ailleurs, ce recalage est assez médiocre en 1857 compte tenu du faible nombre de points d'observation. J.P. Bravard (1986a) a en effet montré que le cours de l'Ain dans la zone de confluence se situait à l'extrémité Est du lit majeur en 1856 alors qu'il se situe aujourd'hui à l'extrême Ouest. Depuis 5 siècles, la confluence de l'Ain et du Rhône n'a pas cessé de se déplacer vers l'Ouest.

De 1920 à 1976, l'enfoncement s'est poursuivi plus lentement (fig. 49A). Avec une valeur moyenne de 0,79 m, ce phénomène a été estimé sur la période à 1,41 cm/an contre 4,6 cm/an pour la période précédente. Deux secteurs se sont légèrement exhaussés entre ces deux dates : celui de Mollon et celui situé à l'amont de Priay. Ce dernier a par ailleurs été l'un des secteurs les plus touchés par l'incision lors de la période précédente. La zone de confluence et le tronçon Priay-Gévrioux, peu incisés entre 1857 et 1920, ont été les plus affectés par l'incision.

L'analyse diachronique de l'altitude de la ligne d'eau d'étiage entre 1976 et 1986 est plus surprenante (fig. 51B). Les résultats concluent à un exhaussement du cours de l'Ain, la moyenne étant estimée à +0,79 m. La faiblesse des débits de 1976 - le débit moyen mensuel du mois d'août est de 10 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> - peut partiellement amplifier la différence altitudinale qui existe entre les deux profils mais cette nuance est-elle suffisante? Lorsque l'on utilise le profil du fond du lit, les résultats sont différents et enregistrent un enfouissement moyen de 0,1m (n = 46), voire de 0,2 m lorsque l'on exclut la zone de confluence, soit une vitesse estimée à 1 cm/an. Comme il s'agit malgré tout de la plus faible vitesse enregistrée depuis 2 siècles, il est possible de penser que le mouvement aurait donc tendance à se ralentir. Trois secteurs se seraient exhaussés : le méandre de Chazey, le secteur de Mollon et la zone de confluence. J.P. Bravard *et al.* (1990) se sont interrogés sur la validité de ces résultats à la confluence et ont noté qu'une autre source, basée néanmoins sur une seule observation, indiquait un enfouissement et non pas un exhaussement.

La chronologie de l'incision contemporaine semble mettre en évidence une progressive atténuation du phénomène avec une phase majeure calée entre 1850 et 1920. L'incision moyenne, qui est sans doute exagérée si l'on prend pour référence 1857-1976 (3,7 m avec des maxima de 6 à 7m dans la zone de confluence), peut être estimée à 3 m entre 1857 et 1986 entre le Rhône et le Pont de Gévrioux. Ce chiffre a par ailleurs déjà été avancé par les auteurs précédents pour la seule confluence. Les maxima, cités ci-dessus, semblent aberrants et se fondent sur des altitudes de la ligne d'eau de 196 m à 3,6 km du Rhône, soit dans des secteurs où les terrasses voisines (les Grandes Condamines en rive droite) sont à des cotes de 192-194 m.

Malgré l'incertitude de certains résultats, il est possible d'affirmer :

- que l'ensemble du cours inférieur de l'Ain s'est fortement incisé depuis le milieu du XIX<sup>e</sup> siècle,
- que la confluence a été la zone la plus touchée,
- que le mouvement a atteint son apogée au début du XX<sup>e</sup> siècle et qu'il s'est depuis progressivement atténué depuis si bien qu'entre 1976 et 1986, il est difficile de diagnostiquer un réel enfoncement.

L'analyse diachronique des puissances brutes sur le tronçon Pont de Gévrioux - confluence avec le Rhône a permis de distinguer clairement deux périodes (fig. 50A). Les XIX<sup>e</sup> et début du XX<sup>e</sup> siècles sont marqués par des puissances brutes faibles, de l'ordre de  $10\ 000\ \text{W}\cdot\text{m}^{-1}$  alors que la fin du XX<sup>e</sup> siècle est caractérisée par des puissances brutes globalement plus élevées, les moyennes de 1976 et de 1986 atteignant respectivement  $11\ 800$  et  $11\ 900\ \text{W}\cdot\text{m}^{-1}$ . Par ailleurs, alors que les valeurs de puissance variaient assez peu sur l'ensemble du linéaire au XIX<sup>e</sup> siècle, celles-ci ont aujourd'hui tendance à augmenter vers l'aval. Ce phénomène pourrait correspondre à une forte croissance de la pente de la rivière sur le tronçon aval qui serait liée sans doute à l'incision qui se manifestait à cette époque par une érosion régressive et à la réduction du taux de sinuosité c'est-à-dire de la longueur du chenal.

En raison de la forte recolonisation forestière observée en lit majeur, il est possible de déduire que l'écart enregistré par les puissances unitaires est encore plus accusé. Par conséquent, le cours de l'Ain disposerait aujourd'hui d'une énergie potentielle bien supérieure à celle qu'il pouvait avoir au XIX<sup>e</sup> siècle dans la mesure où sa pente s'est accrue et que la largeur de sa bande active s'est réduite. Ceci est à nuancer dans la mesure où le débit à plein bord est considéré comme constant. Néanmoins, cette approche conforte l'idée d'une métamorphose physique dès le début du XX<sup>e</sup> siècle.

L'observation des puissances spécifiques de 1976 et 1986 permet d'affiner notre connaissance de l'évolution actuelle (fig. 50B). Une inversion de la tendance se manifeste puisque la puissance spécifique qui augmentait vers l'aval en 1976 tend au contraire à décroître en 1986. Parallèlement, la tendance historique à l'augmentation de cette puissance est constatée, sa valeur passant de  $103\ \text{W}\cdot\text{m}^{-2}$  en 1976 à  $130\ \text{W}\cdot\text{m}^{-2}$  en 1986. Dès lors, il est possible d'observer sur l'Ain, les conséquences de l'incision de la rivière sur son énergie potentielle. Si l'étude des profils en long n'a pas permis de nous prononcer avec assurance sur l'incision contemporaine de la rivière d'Ain, l'évolution diachronique des puissances unitaires permet de confirmer cette tendance.

L'Ain est caractérisé ainsi par une métamorphose fluviale au cours de l'époque contemporaine. Alors qu'elle disposait d'un style en tresses au XIX<sup>e</sup> siècle, la rivière dispose aujourd'hui d'un lit unique à faible sinuosité. Ce phénomène s'accompagne d'une incision du lit, très forte avant 1920, et d'une augmentation des puissances brutes et unitaires corrélative à un accroissement de la pente et une réduction de la largeur de la bande active.

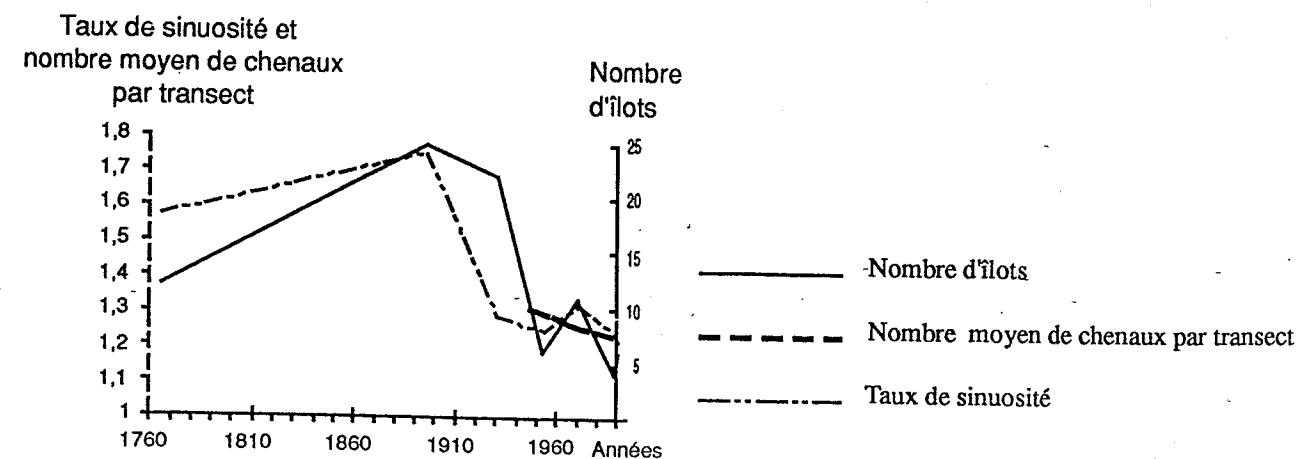


Figure 48 - Évolution diachronique de trois descripteurs du style géomorphologique de l'Ain (1760-1990) (d'après les données complétées de J.P. Bravard et al., 1990)

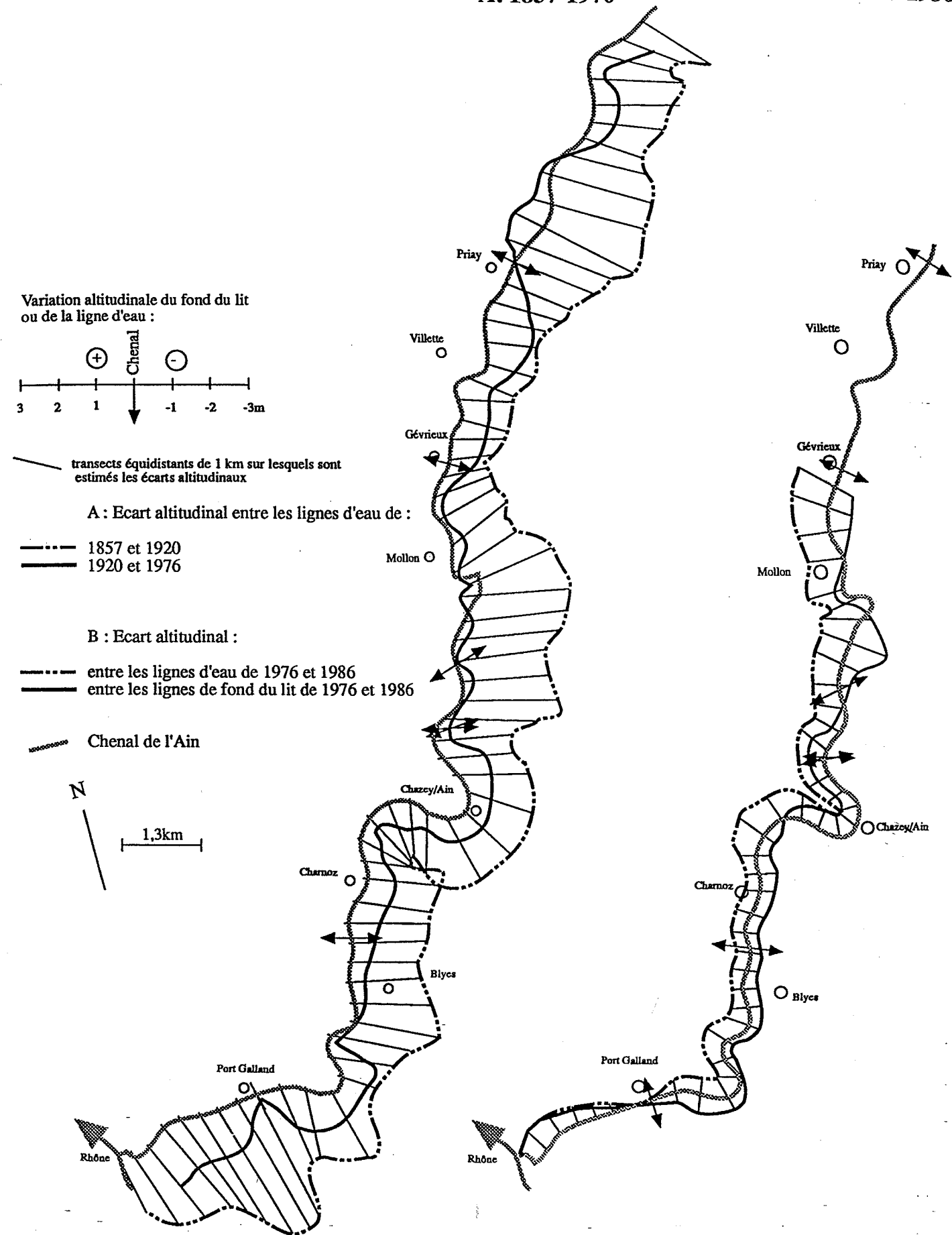


Figure 49 - Évolution synchronique et diachronique de l'incision de l'Ain au cours des périodes 1857-1920 et 1920-1976 (d'après la ligne d'eau d'étiage) (A) et 1976-1986 (d'après la ligne d'eau d'étiage et le fond du lit) (B).

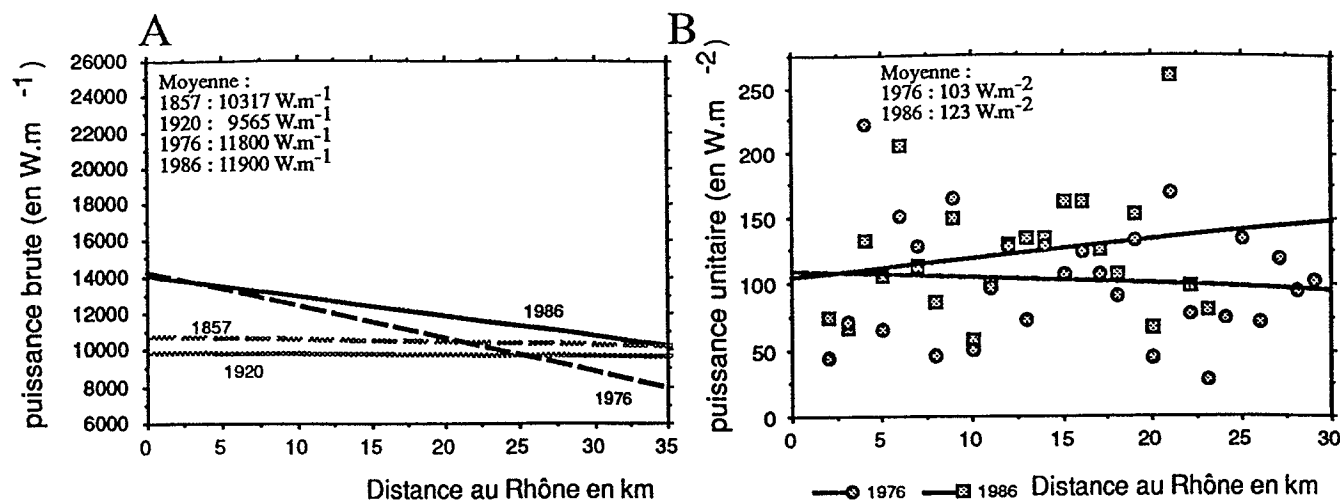


Figure 50 - Variabilité synchronique de la puissance brute (1857, 1920, 1976 et 1987) (A) et unitaire (1976 et 1987) (B) de l'Ain sur le tronçon Pont de Gévrier - confluence avec le Rhône (1857, 1920, 1976 et 1987)

### 2.2.2.2 L'Ardèche

L'évolution des descripteurs en plan a été étudiée entre 1947 et aujourd'hui sur l'ensemble du cours de l'Ardèche moyenne.

Le taux de sinuosité et le nombre d'îlots végétalisés sont restés constants de 1947 à 1969 mais se sont réduits fortement de 1969 à 1989 (fig. 51). L'analyse par tronçons (fig. 52) permet de nuancer cette observation générale et montre que si le taux de sinuosité du tronçon situé à l'amont de Vogüé est conforme à la tendance, celui situé à l'aval de Pradons se réduit de manière continue de 1947 à 1989. De plus, même si le taux suit globalement la tendance générale dans la boucle d'Aubenas, il présente une forte augmentation en 1979.

En revanche, le nombre moyen de chenaux par transects et la largeur moyenne de la bande active ne suivent pas la même évolution et se réduisent entre 1947 et 1969 mais augmentent entre 1969 et 1979 jusqu'à retrouver sensiblement leur valeur de 1969 en 1989. La largeur moyenne de la bande active est ainsi de 78 m en 1979 contre 70 et 72 en 1969 et 1989.

Par ailleurs, deux cartes présentent l'évolution de la largeur du chenal et des bancs de galets entre 1947 et 1989 (fig. 53). Lorsque les transects sont à chenaux multiples, il est difficile de quantifier leur largeur respective car celle-ci représente souvent moins d'1 mm sur la photographie. Mais quand le chenal est unique, il est plus visible et peut se mesurer avec une faible marge d'erreur. Ces documents montrent que la tendance est globalement à la réduction des bancs de galets et à l'augmentation de la largeur du chenal en eau. Ceci est typique des tronçons les plus larges en 1947 tels que les secteurs de Saint Didier - Vogüé, Lanas, Chauzon et à l'aval Ruoms. L'élargissement du chenal en eau indique ainsi le passage d'une bande active large et tressée à un chenal à lit unique.

Une analyse fine du rapport de la largeur du chenal en eau sur la largeur de la bande active a également été effectuée (fig. 54). Une forte progression de la superficie relative occupée par le chenal dans la bande active a été notée entre 1947 et 1989. Celui-ci représentait 59% de la superficie de la bande active en 1947 contre 85% en 1989. Les histogrammes mettent en évidence un déplacement progressif du nombre de transects, des classes faibles (chenal occupant moins de 50% de la bande active) aux classes fortes au cours des périodes 1947 - 1969, 1969 - 1979 et 1979 - 1989. L'année 1979 constitue cependant une originalité car c'est la seule pour laquelle le chenal représente moins de 5% de la bande active sur certains transects. D'ailleurs, ce phénomène original est d'importance puisque 55 transects sur 137 sont dans ce cas. Ainsi, cette figure met

clairement en évidence une métamorphose fluviale récente et relativement continue depuis 1947 bien que quelques transects fassent exception en présentant une forte individualité en 1979.

Parallèlement à une profonde modification des descripteurs en plan, un enfoncement global a été constaté au cours du XX<sup>e</sup> siècle (Landon et Piégay, 1994). Sur 99 points d'observation, l'incision moyenne a été de l'ordre de 0,43 m entre 1922 et 1984. 62% des points ont une valeur négative et 31% d'entre eux présentent une incision de plus d'un mètre. Les volumes perdus s'élèveraient à environ 1,6 à 1,7 Mm<sup>3</sup> sur 50 km en 62 ans, soit 520-550 m<sup>3</sup>/km/an. Ces valeurs sont faibles par rapport à celles observées notamment sur le Giffre car le substratum est peu profond et rapidement exhumé, et les tronçons en gorges sont nombreux.

Six zones de forte incision ont été identifiées (fig. 55) notamment :

- dans la boucle d'Aubenas (1,5 à 2m d'incision entre 1922 et 1984),
- entre Séteras et Balazuc (1,5 à 2m d'incision) avec un maximum à Lanas,
- entre Ruoms et la confluence avec le Chassezac (1-1,5m d'incision),
- entre le pont de Salavas et le pont d'Arc (1m d'incision).

Taux de sinuosité et nombre moyen de chenaux par transect

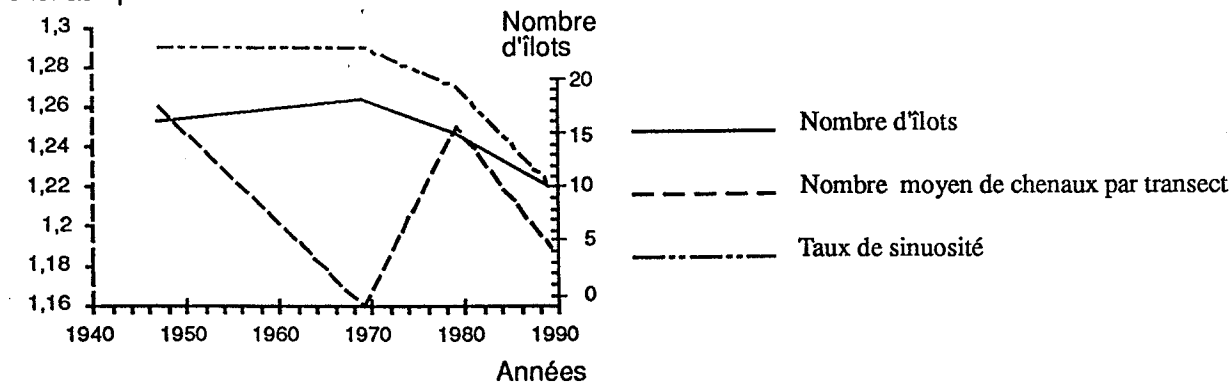


Figure 51 - Évolution diachronique de trois descripteurs du style géomorphologique : le taux de sinuosité, le nombre moyen de chenaux par transect et le nombre d'îlots de végétation.

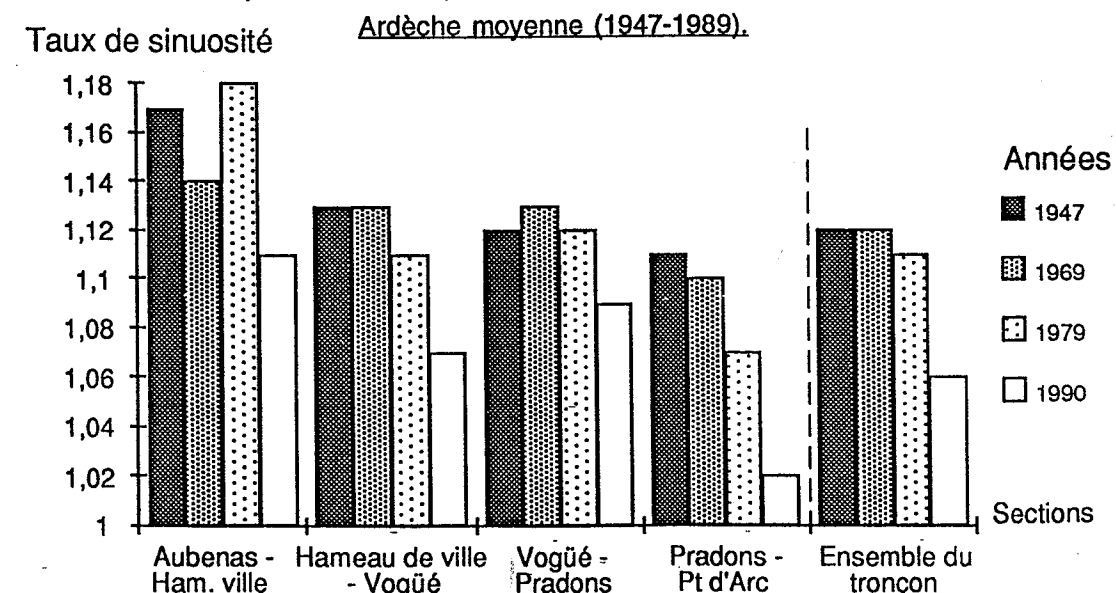
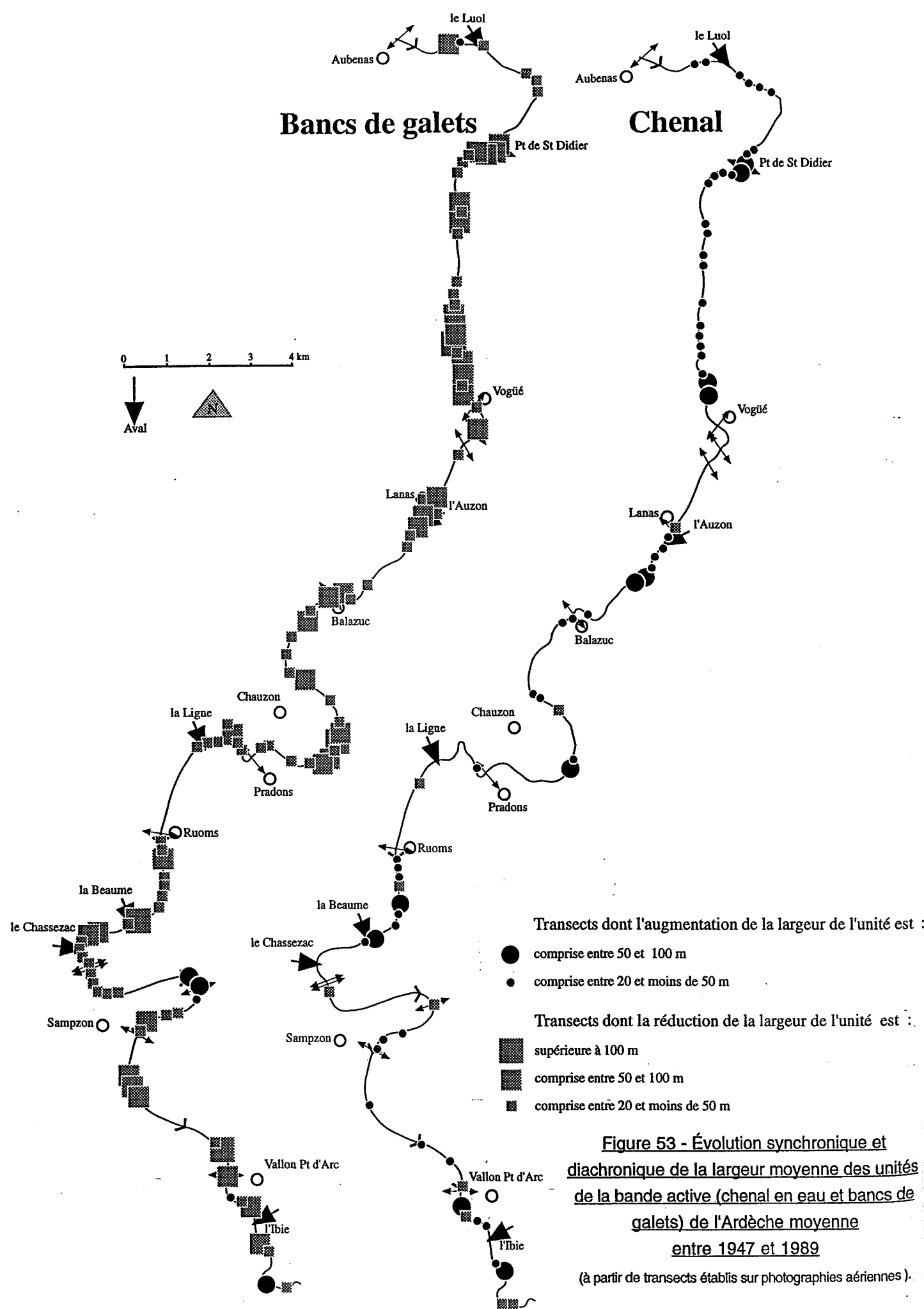
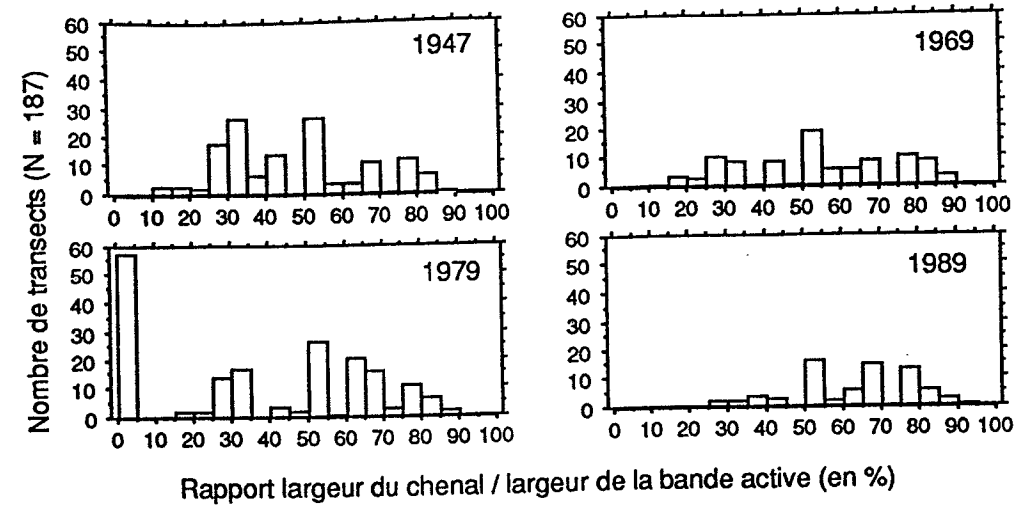


Figure 52 - Évolution diachronique du taux de sinuosité sur quatre tronçons de l'Ardèche moyenne (1947-1989).





**Figure 53 - Évolution synchronique et diachronique de la largeur moyenne des unités de la bande active (chenal en eau et bancs de galets) de l'Ardèche moyenne entre 1947 et 1989**  
(à partir de transects établis sur photographies aériennes).



**Figure 54 - Histogrammes des fréquences du rapport largeur du chenal / largeur de la bande active calculé sur les transects de l'Ardèche moyenne en 1947, 1969, 1979 et 1989.**

Si le phénomène d'incision est tout de même plus accusé dans les plaines, il semble bien marqué à l'amont du tronçon étudié et concerne des stocks accumulés à la fois dans les défilés calcaires et les zones alluviales.

Inversement, rares sont donc les secteurs caractérisés par un engraissement. Il est néanmoins possible de citer :

- le tronçon situé à l'amont du seuil de Sampzon,
- le défilé de Balazuc et le méandre de Chauzon,
- la section située à l'amont du hameau de Ville.

Dans cette dernière, l'engraissement ne peut cependant pas être confirmé dans la mesure où le substratum affleure actuellement sur au moins 1 km. Les altitudes de 1922, estimées à partir d'une pente constante du profil en long, étaient sans doute erronées.

Dans les trois cas, l'engraissement qui est de l'ordre de 1 m, peut être considéré comme faible.

Depuis 1984, le phénomène d'incision semble s'être ralenti, voire arrêté, dans le coude d'Aubenas. Le profil tend à se stabiliser et peut être à s'engraisser très légèrement (+4.8 cm) entre cette date et 1989. Néanmoins, de grandes différences existent puisque que les écarts altitudinaux varient de +1,2 à -0,8 m. L'enfoncement se poursuit dans le secteur du Pont d'Aubenas et s'atténue à l'aval. Dans le coude d'Aubenas, peut être qu'une légère tendance à l'exhaussement peut être diagnostiquée.

Les puissances brutes (fig. 56A) présentent une extrême variabilité de l'amont vers l'aval quelle que soit la date retenue. Toutes les tendances linéaires montrent néanmoins une réduction de ces puissances vers l'aval.

Les années 1857 et 1984 sont caractérisées par une tendance comparable alors que l'année 1920 est très originale car depuis cette date, la puissance brute de la zone amont, c'est-à-dire sa pente, se réduit. Quant aux années 1984 et 1989, elles ne présentent une tendance comparable qu'à l'aval où des seuils successifs calent le profil en long.

L'analyse diachronique des puissances brutes montre que le cours d'eau recherche un nouvel équilibre dynamique depuis le début du XX<sup>e</sup> siècle. La figure 55 a mis en lumière un enfoncement important depuis 1922 de l'amont des gorges jusqu'à la confluence avec l'Ibie. Ce phénomène pourrait correspondre à une érosion régressive, à un déstockage local consécutif à la réduction de la charge depuis l'amont. Il s'auto-entretient dans

la mesure où il conduit depuis 1920 à une augmentation de la pente c'est-à-dire de l'énergie disponible. Ce phénomène ancien n'a pas pu se propager vers l'amont en raison des nombreux ouvrages transversaux existants entre Ruoms et Vallon-Pont d'Arc. Cette section présente aujourd'hui une pente et une énergie relativement plus fortes qu'en 1920 mais un lit souvent dessiné dans le substratum. A l'amont, en revanche, l'incision favorise depuis 1920 une réduction de la pente et de la puissance brute à la suite d'une érosion régressive qui s'est sans doute propagée bien au-delà d'Aubenas.

Ces deux mouvements inverses ont conduit à une progressive uniformisation de la puissance brute de l'amont vers l'aval. Celle-ci est ainsi passée, entre 1920 et 1989, de 32 000 à 25 000  $W.m^{-1}$  à Aubenas et de 15 000 à 22 000  $W.m^{-1}$  à Vallon-Pont d'Arc.

Les puissances unitaires, étudiées seulement au cours de la dernière décennie, ont augmenté sur la totalité du tronçon et se sont uniformisées, passant de 175-325  $W.m^{-2}$  en 1984 à 325-350  $W.m^{-2}$  en 1989 (fig. 56B). Il est possible que ce mouvement soit original à l'époque contemporaine car la largeur de la bande active, autrefois plus importante, devait contribuer à atténuer la puissance spécifique. Ce phénomène récent est sans doute lié à la modification de la pente, la rivière recherchant un nouvel équilibre entre les flux et sa nouvelle géométrie.

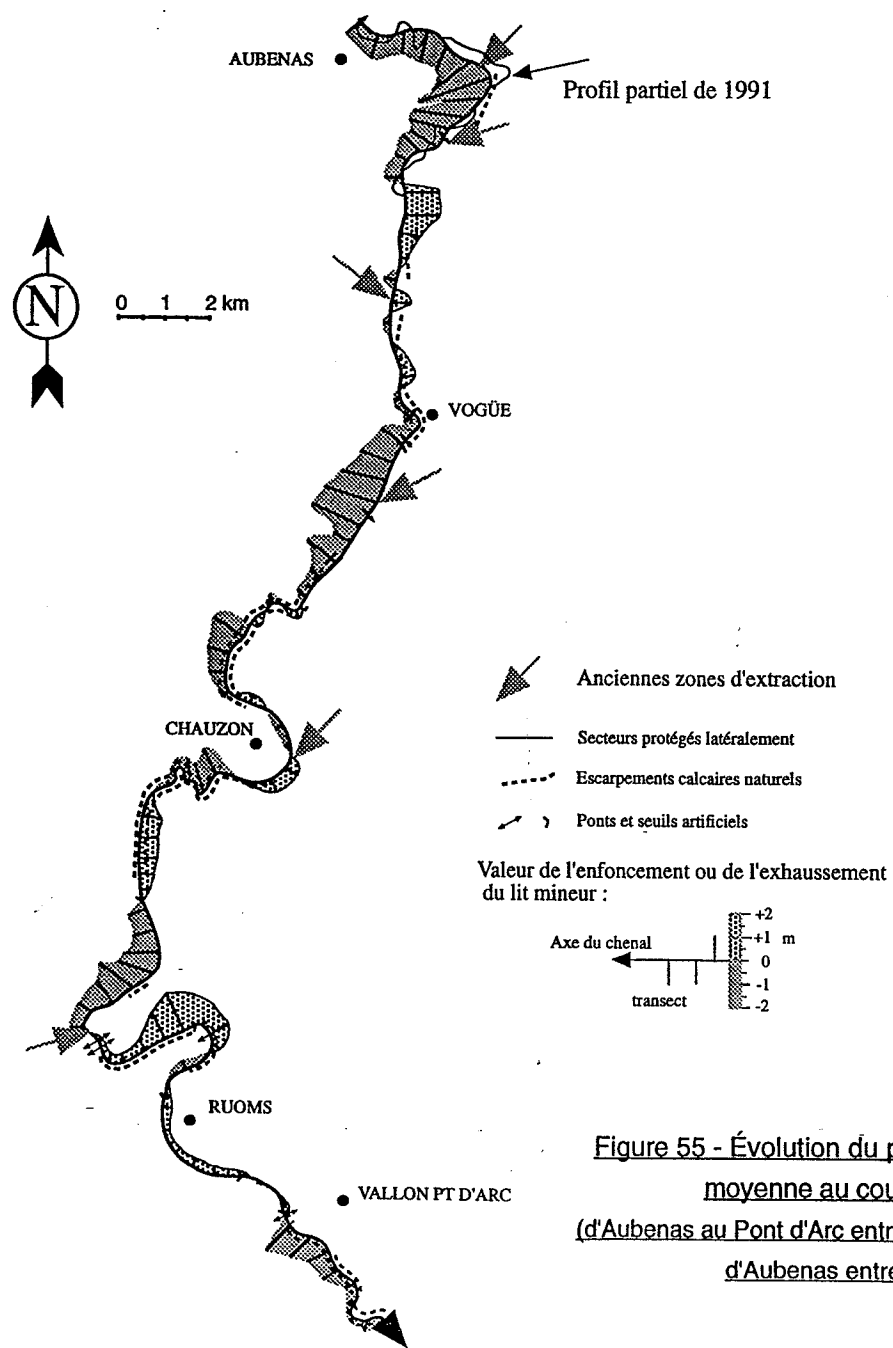


Figure 55 - Evolution du profil en long de l'Ardèche moyenne au cours du XX<sup>e</sup> siècle (d'Aubenas au Pont d'Arc entre 1922 et 1984, dans le coude d'Aubenas entre 1984 et 1991).

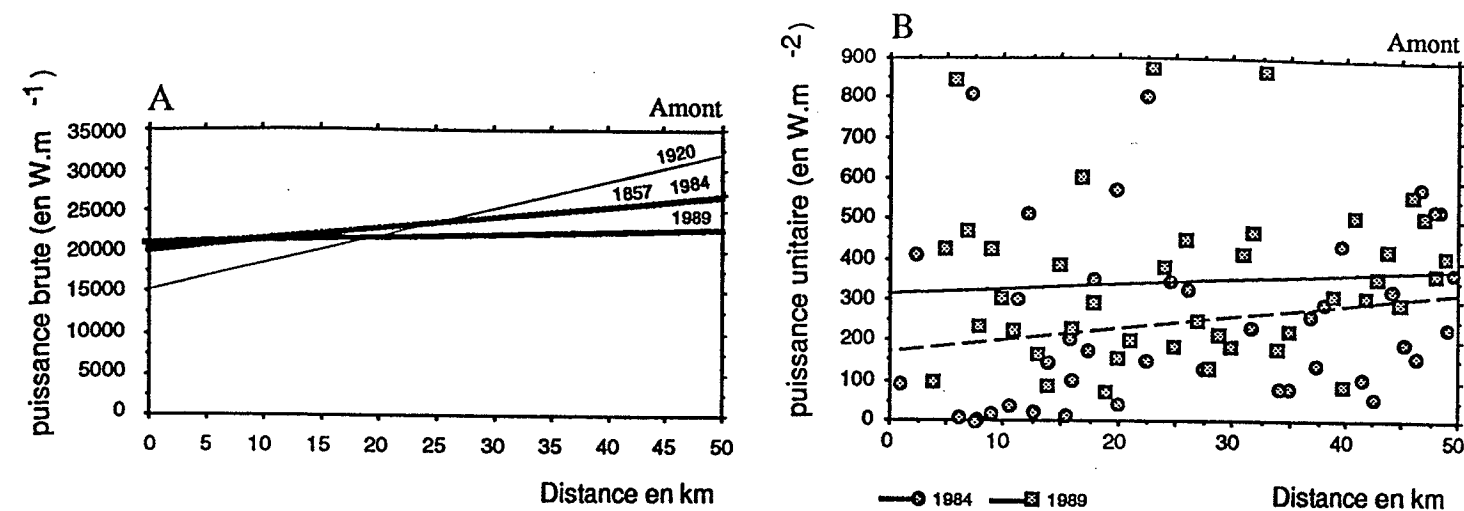


Figure 56 - Variabilité synchronique de la puissance brute (1857, 1922, 1984 et 1989) (A) et unitaire (1984 et 1989) (B) de l'Ardèche entre Aubenas et Vallon - Pont d'Arc.

L'évolution des différents descripteurs physiques permet d'affirmer que la rivière a enregistré une réelle métamorphose fluviale au cours du XX<sup>e</sup> siècle. Celle-ci est caractérisée par :

- une réduction récente de la sinuosité et du nombre d'îlots boisés,
- l'apparition d'un chenal unique et la réduction des surfaces en galets,
- une forte incision du lit mineur,
- une uniformisation des puissances brutes d'Aubenas à Vallon-Pont d'Arc et une augmentation récente de la puissance unitaire.

Un chenal faiblement sinueux, déconnecté des milieux riverains et stable s'impose progressivement dans un hydrosystème pourtant caractérisé par un style potentiel en tresses.

### 2.2.2.3 Le Giffre

Le style géomorphologique a été étudié sur les différentes séries photographiques entre 1934 et 1984 (fig. 57). Au cours de cette période, chacun des indicateurs présente une évolution spécifique; le taux de sinuosité reste stable alors que le nombre moyen de chenaux par transect est très variable et que le nombre d'îlots boisés atteint un maximum en 1954 et décroît ensuite.

Par ailleurs, le rapport largeur du chenal / largeur de la bande active met en lumière une augmentation de la part relative du chenal dans la bande active. Celui-ci occupe ainsi 34% de la bande active en 1934 contre 52% en 1984 (fig. 58). Parallèlement, le nombre de transects à chenal unique progresse de manière continue passant de 3 en 1934 à 5, 8 et 10 en 1954, 1974 et 1984.

La disparition relative des bancs de galets, des îlots végétalisés après 1954, et des chenaux multiples traduisent une atténuation progressive mais faible de la dynamique de tressage. La période considérée étant très courte, elle ne permet néanmoins pas de dire si ce phénomène est temporaire ou au contraire marque le début d'une réelle métamorphose.

En outre, l'étude de l'évolution diachronique de la ligne d'eau au cours du XX<sup>e</sup> siècle a permis de montrer que la bande active de la rivière est marquée par une profonde incision. Les volumes solides perdus entre 1912 et 1988 seraient estimés à 2 Mm<sup>3</sup> en 70 ans, soit 2 200 m<sup>3</sup>/km de cours d'eau /an.

De 1912 à 1988, l'enfoncement du lit est presque général (fig. 59). Il n'épargne que le secteur de la passerelle de la Rebiolle où l'engraissement est artificiellement lié à la présence d'un seuil construit entre 1974 et 1984 et le tronçon situé à l'aval du pont de Taninges où le barrage hydroélectrique d'EDF réhausse les lignes d'eau. A l'aval du pont de Morillon, la valeur de l'enfoncement est forte et relativement constante (tab. 14) alors qu'à l'amont, elle est plus faible et surtout fortement différenciée. Les 7 seuils qui ont été construits au cours de la décennie 1980 sur ce tronçon, devaient en effet bloquer l'érosion régressive, diminuer la pente du chenal et dissiper l'énergie fluviale.

L'étude statistique des pentes de 1912 et 1988 a montré que si leur valeur moyenne n'a pas changé, leur distribution a subi une profonde modification entre les deux dates (fig. 60) :

- la médiane, identique à la moyenne en 1912, a fortement diminué en 1988 (0,0057 m/m),
- en 1912, 50% des valeurs des pentes étaient comprises entre 0,0055 et 0,0080 m/m et aucune valeur ne dépassait 0,0155 m/m alors qu'en 1988, 50% des pentes se situent entre les valeurs de 0,0042 et 0,0089. La dispersion de ces dernières a presque doublé et 16% des pentes dépassent 0,0155 m/m.

L'étude de la distribution amont - aval des pentes révèle que c'est à l'amont du PK 6.000 que les pentes ont le plus diminué. Ces pentes plus faibles sont compensées par un nombre limité de zones raides dont l'origine est double. Il s'agit pour la plupart de ruptures de pentes associées aux seuils sous-fluviaux mais aussi de quelques "nickpoints" qui témoignent de réajustements du profil en long.

Tableau 14 - Valeurs moyennes de l'incision du Giffre moyen entre 1912 et 1993 :

|  | Période                 | 1912/88 | 12/73 | 73/83 | 83/88 | 88/93 |
|--|-------------------------|---------|-------|-------|-------|-------|
| Giffre moyen (en m)                                | écart altitudinal moyen | -1,16   | +0,04 | -1,12 | -0,12 | -     |
|  | écart-type              | 0,79    | 0,82  | 0,62  | 0,54  | -     |
| Tronçon situé à l'amont du pont de Morillon (en m) | écart altitudinal moyen | -0,91   | +0,87 | -1,44 | -0,17 | +0,45 |
|  | écart-type              | 0,75    | 0,46  | 0,62  | 0,72  | 0,65  |
| Tronçon situé à l'aval du pont de Morillon (en m)  | écart altitudinal moyen | -1,30   | -0,51 | -0,90 | -0,05 | -     |
|  | écart-type              | 0,79    | 0,48  | 0,54  | 0,37  | -     |

Le suivi période par période a permis de décrire l'évolution du phénomène (fig. 59) :

- Entre 1912 et 1973, un très léger exhaussement global (+0,04m) correspond à l'évolution opposée de deux tronçons bien individualisés. A l'aval du torrent de Graverruaz, le Giffre est soumis à une incision dépassant localement les 2 mètres alors qu'à l'amont, il s'est nettement exhaussé depuis 1912. L'altitude du lit a ainsi varié en moyenne de +0,87m à l'amont du pont de Morillon et de -0,51m à l'aval.
- De 1973 à 1983, l'enfoncement s'est généralisé et a atteint plus d'un mètre. Il a touché davantage le secteur amont (-1,44m) que le secteur aval (-0,90m) et les tronçons les moins endigués tels que l'amont du Pont de Taninges ou du torrent du Vernay, semblent les plus touchés.
- De 1983 à 1988, la mobilité altitudinale du profil en long a connu un ralentissement. Des tronçons d'accumulation et des tronçons d'incision se succèdent rapidement à l'amont du Pont de Morillon. Si en moyenne, le profil est resté stable sur ce tronçon (-0,05m), il s'est encore enfoncé à l'aval (-0,12m). Le tronçon endigué est d'ailleurs le plus touché alors que les zones de divagation présentent un léger exhaussement.
- De 1988 à 1993, le tronçon situé à l'amont de Morillon présente un exhaussement global de l'ordre de 0,45m. Si celui-ci a légèrement été surestimé compte tenu du débit du Giffre lors du levé, sa valeur est importante et confirme un relèvement du profil. Seuls deux secteurs précis se sont légèrement incisés par rapport à la période précédente mais ils correspondent à des secteurs à forte accumulation entre 1983 et 1988. Ce phénomène montre ainsi la mobilité de la charge.

Taux de sinuosité et nombre moyen de chenaux par transect

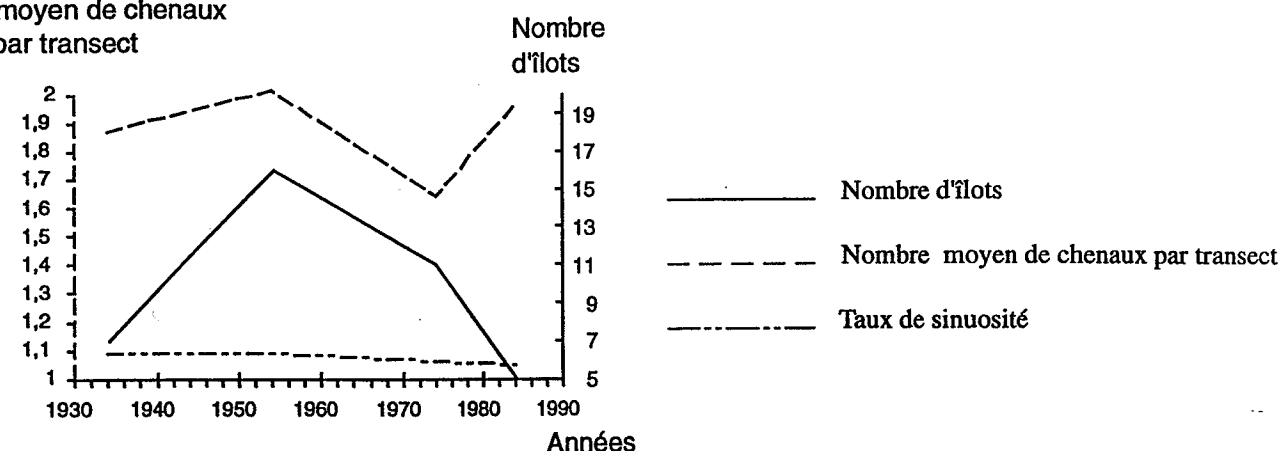


Figure 57 - Évolution diachronique de trois descripteurs du style géomorphologique : le taux de sinuosité, le nombre moyen de chenaux par transect et le nombre d'îlots de végétation, Giffre moyen (1934-1984).

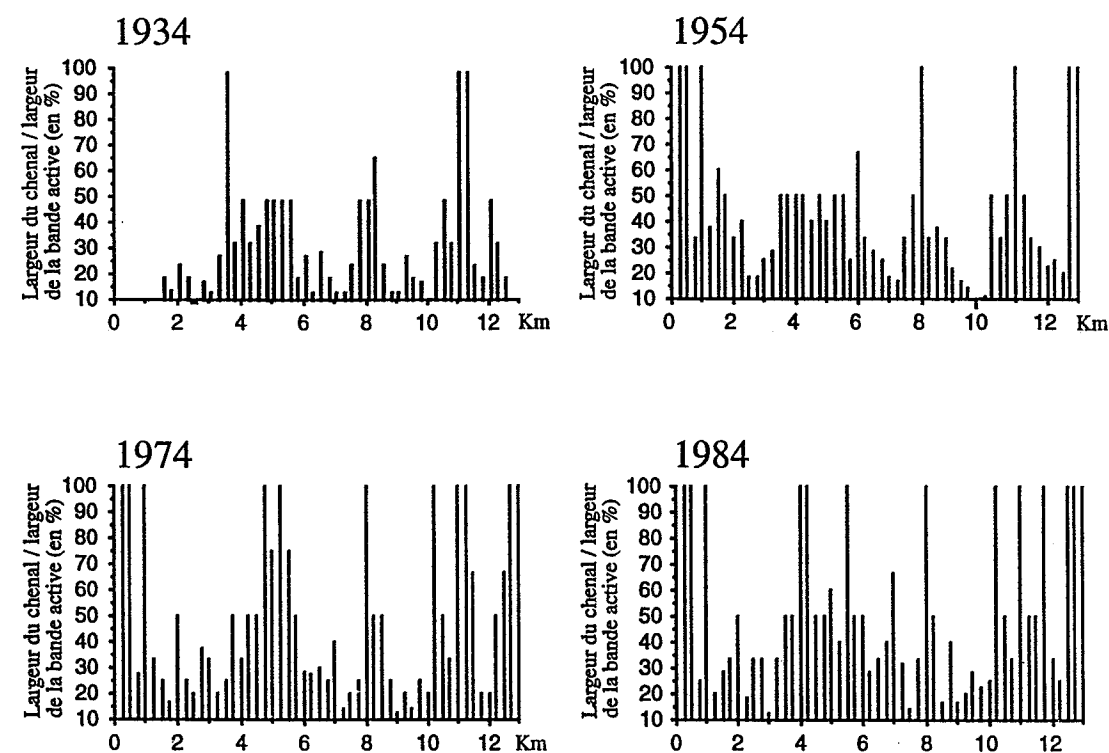


Figure 58 - Évolution diachronique et synchronique du rapport largeur du chenal - largeur de la bande active, exemple du Giffre moyen entre 1934 et 1984.

Les profils en long disponibles ont également permis de conduire une analyse assez fine de la variabilité des puissances hydrauliques au cours du XX<sup>e</sup> siècle.

Deux périodes très distinctes, le début et la fin du XX<sup>e</sup> siècle, ont été identifiées (fig. 61) :

- La première est caractérisée par une puissance brute beaucoup plus faible dont la valeur moyenne est de l'ordre de  $2\,200\text{ W.m}^{-1}$  et décroissante de l'amont vers l'aval. La distinction tronçons endigués - tronçons naturels existe mais elle est peu accusée.

- La seconde présente des puissances brutes élevées, la moyenne étant estimée à  $5\,752$  en 1973 et  $5\,722\text{ W.m}^{-1}$  en 1983. La distribution de ces puissances est néanmoins très hétérogène et leur valeur se réduit de l'amont vers l'aval.

Par ailleurs, l'analyse des puissances spécifiques de 1973 et 1984 ne révèle pas de changements majeurs au cours de la période et la moyenne s'établit en 1973 et 1984 à respectivement  $95$  et  $83\text{ W.m}^{-2}$ .

Les modifications morphodynamiques enregistrées au cours du XX<sup>e</sup> siècle opposent la période actuelle et les années antérieures à 1970.

La modification des paramètres physiques est caractérisée par une modification de la géométrie et de la diversité en plan, une forte incision du lit et une augmentation de l'énergie potentielle de la rivière. Cette évolution relativement récente, le plus souvent postérieure à 1970, n'a conduit sur cette rivière ni à une métamorphose fluviale ni à une progression de la végétation dans la bande active. La biométamorphose est en effet antérieure aux changements observés.

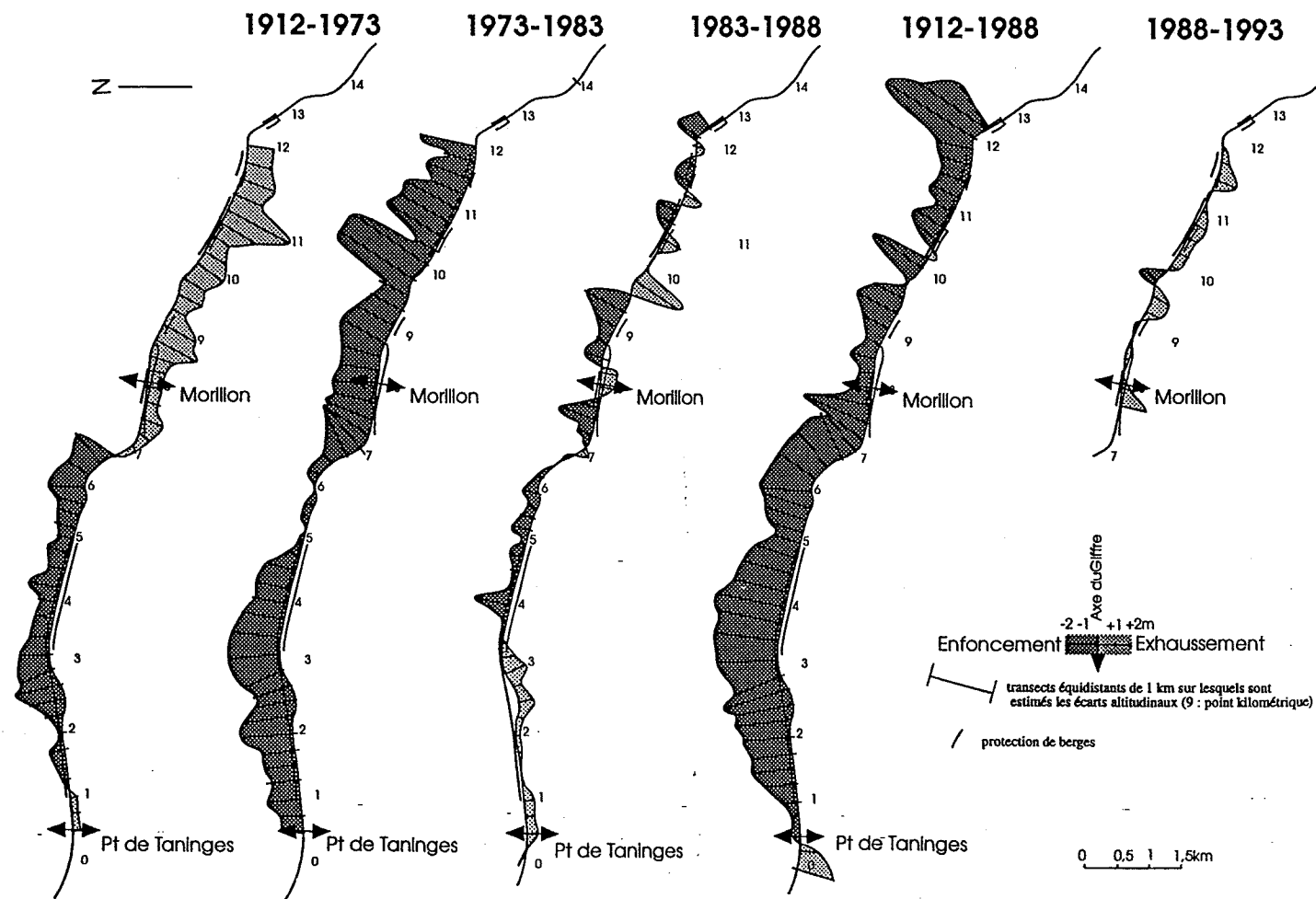


Figure 59 : Cartographie diachronique de l'enfoncement du Giffre moyen entre 1922 et 1993.

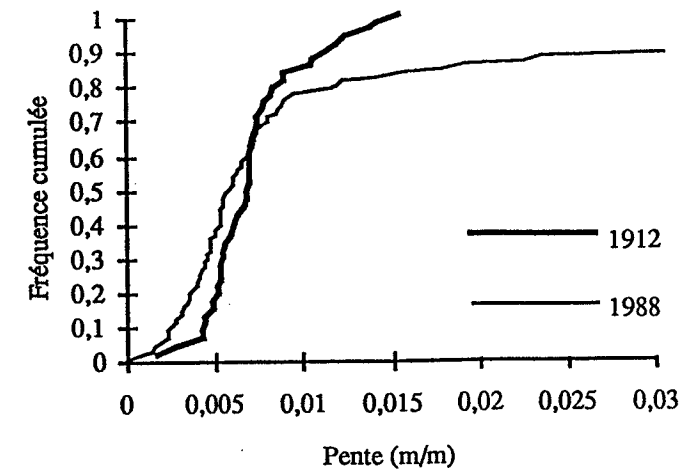


Figure 60 : Étude statistique de la distribution des pentes du Giffre moyen en 1912 et 1988.

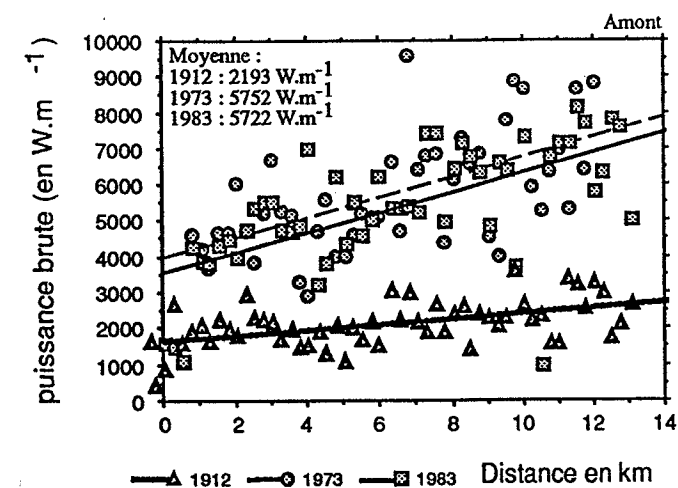


Figure 61 - Variabilité longitudinale de la puissance brute du Giffre moyen en 1912, 1973 et 1983.

#### 2.2.2.4 L'Ouvèze

Le style géomorphologique de l'Ouvèze s'est transformé entre 1945 et 1970 (fig. 62) comme le montre la forte réduction de la valeur des différents descripteurs. Le taux de sinuosité, le nombre moyen de chenaux par transects et le nombre d'îlots de végétation ont ainsi régressé de 1,1, 1,32 et 32 à respectivement 1,07, 1,22 et 27 au cours de la période. Si le nombre d'îlots tend encore à régresser après 1970, la valeur des deux autres indicateurs reste plutôt constante. De plus, l'analyse sectorielle du taux sinuosité (fig. 63) révèle que ce mouvement touche indifféremment l'ensemble des tronçons de l'Ouvèze moyenne.

En outre, une analyse du profil longitudinal a également été conduite mais elle s'est malheureusement limitée, faute de données, à la décennie 1980. Aucune relation chronologique et causale ne peut ainsi être

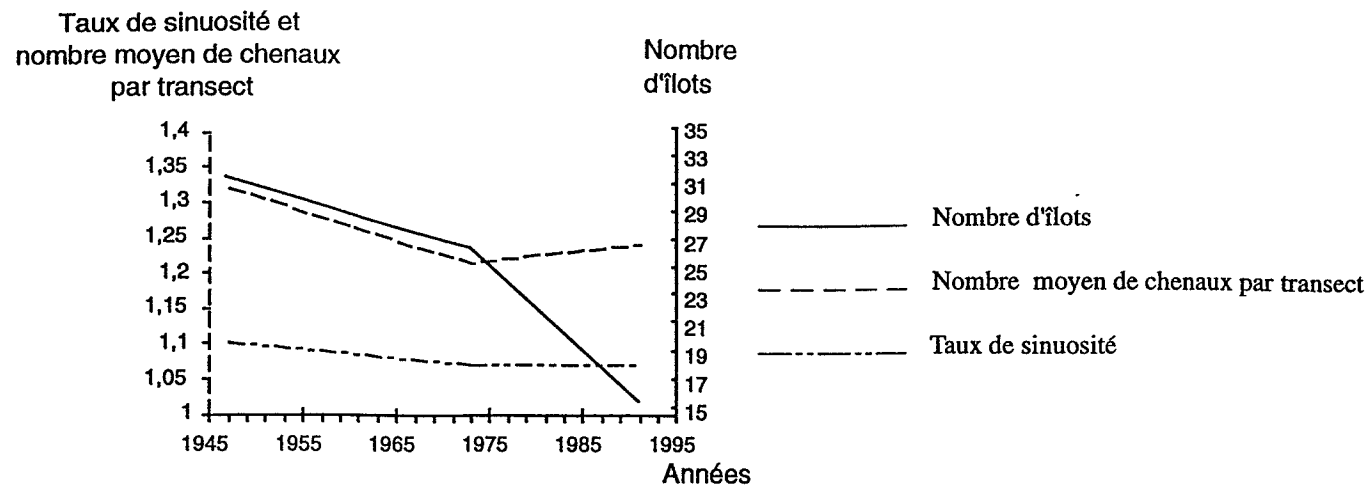


Figure 62 - Évolution diachronique de trois descripteurs du style géomorphologique : le taux de sinuosité, le nombre moyen de chenaux par transect et le nombre d'îlots de végétation, Ouvèze moyenne (1947-1991).

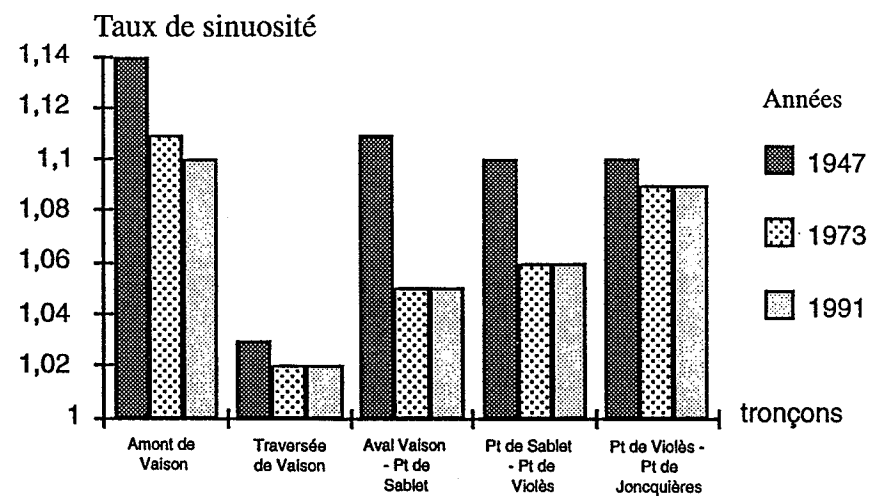


Figure 63 - Évolution diachronique du taux de sinuosité sur cinq tronçons de l'Ouvèze moyenne (1947-1991).

établie avec certitude entre une possible modification du profil en long et la dynamique de la végétation riveraine.

Malgré tout, Merlin (1989) précise que deux secteurs se sont incisés de près d'un mètre en moyenne depuis les deux dernières décennies. Il s'agit du tronçon Pont Saint-Michel / Vaison la Romaine sur lequel l'enfoncement a pu dépasser localement plusieurs mètres entre 1981 et 1987, et du secteur entre Saint Aliman et le Canal de Carpentras touché au cours de la période 1974-1987.

De plus, notre étude apporte un complément puisqu'elle s'intéresse à la période 1987-1993 et s'appuie sur les deux profils en long existant et une cartographie de l'enfoncement potentiel (fig. 64). Il apparaît qu'une grande partie du tronçon a été touché par un enfoncement qui a atteint en moyenne au moins 0,29 m sur les 62 points d'observation. L'incision est un phénomène alarmant entre Saint Michel et Vaison, et entre Rasteau et Sablet, qui sont des secteurs déjà cités dans l'étude Merlin. Leur incision est beaucoup plus importante puisqu'elle atteint en moyenne au moins 1,86 m sur le premier tronçon et 1,3 m sur le second. En revanche le

secteur situé entre Vaison et Roaix semble être moins touché et un exhaussement est d'ailleurs observé sur deux kilomètres à l'aval du pont de Roaix avec un maximum de 1,8 m au niveau du village de Rasteau. Si le tronçon Violès - Sablet semble en équilibre, le tronçon à l'aval est aussi le siège d'une forte accumulation estimée à 1,8m en moyenne. Les valeurs de l'enfoncement et les largeurs de la bande active, représentatives de 500m de linéaire, permettent de calculer le budget sédimentaire dont le déficit atteint près de 200 000 m<sup>3</sup> entre 1987 et 1993, soit 1000 m<sup>3</sup>/an/km de rivière.

La puissance brute entre 1987 et 1993 est le dernier indicateur étudié. Compte tenu de la courte période de référence, la modification de la largeur de la bande active n'a pas pu être étudiée ce qui explique que la variabilité diachronique des puissances spécifiques ne soit pas présentée.

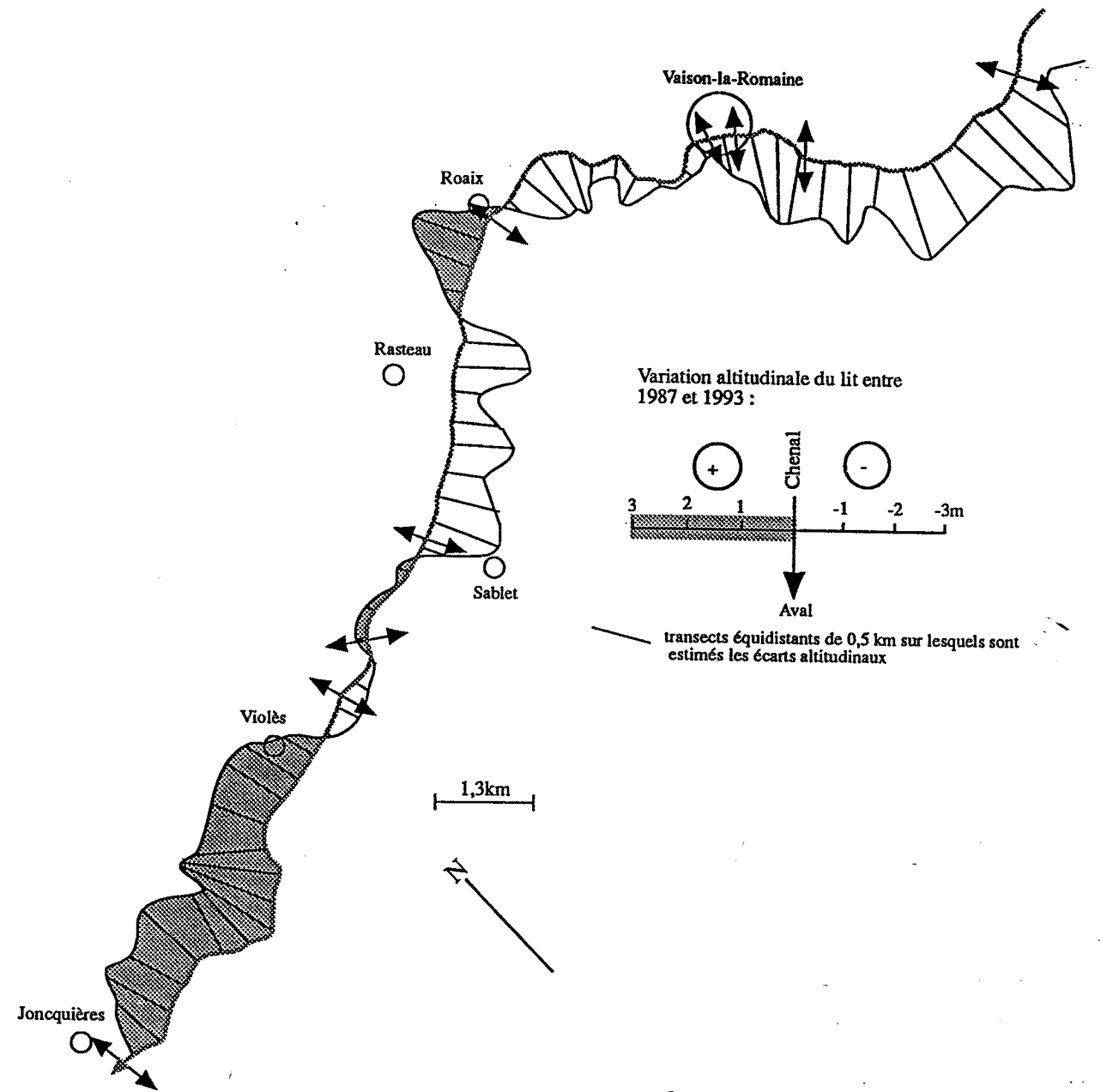


Figure 64 : Cartographie de l'évolution diachronique et synchronique de la ligne d'eau d'étiage de l'Ouvèze moyenne (1986-1993).

Il apparaît que la puissance brute n'a pas varié au cours de la dernière décennie sur le tronçon étudié, les tendances linéaires de 1986 et de 1993 se superposant. Ainsi, quelle que soit la date retenue, les valeurs se réduisent de l'amont vers l'aval de 9 000 à 6 500 W.m<sup>-1</sup>. A l'échelle de ce tronçon, aucun changement majeur n'est donc observé au niveau de la morphodynamique. Néanmoins, suite à la crue exceptionnelle de septembre 1992, la largeur a été largement modifiée et les puissances spécifiques de 1993 sont sans aucun doute inférieures à celles de 1986.

Si ces données permettent de mieux comprendre les changements géomorphologiques qui ont récemment touché la bande active de l'Ouvèze, elles ne peuvent malheureusement pas contribuer à expliquer la biométamorphose qui s'est manifestée plus précocement sur la rivière.

Dans la moyenne vallée de l'Ouvèze, une relation chronologique étroite est établie entre les changements physiques, notamment les descripteurs du style fluvial, et la biométamorphose. L'incision, bien qu'elle soit plus récente, peut également intervenir dans la dynamique d'ajustement et influencer sur les processus récents de colonisation végétale.

### 2.2.2.5 L'Ubaye

L'analyse de l'évolution de trois descripteurs physiques entre 1948 et 1990 a permis d'identifier trois périodes principales (fig. 65) : 1948-1956, 1956-1980 et 1980-1990. La première est marquée par une réduction de toutes les variables mais ce phénomène s'inverse progressivement au cours de la seconde période, le nombre d'îlots boisés passant de 9 à 10 et le nombre moyen de chenaux par transects de 1,2 à 1,36. La troisième période enfin est caractérisée par une augmentation des îlots mais une réduction du nombre moyen de chenaux par transects.

En outre comme le taux de sinuosité n'a pas beaucoup évolué en 50 ans, son analyse a été abordée sur 6 tronçons homogènes. Ceux-ci ont été distingués en fonction de leur spécificité morphodynamique (section endiguée, section de tressage, section à méandres libres, section naturelle à chenal unique) (fig. 66). Le tronçon traversant Barcelonnette n'a pas été représenté car son taux de sinuosité est de 1 depuis son endiguement qui date de la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle. Sur les tronçons à chenal unique, l'évolution du taux de sinuosité est conforme à la périodicité signalée ci-dessus; Celui-ci diminue sensiblement entre 1948 et 1956, se stabilise durant plus de 25 ans et retrouve en 1990 sa valeur initiale. Dans la section à méandres, la diminution du taux de sinuosité n'est observée qu'après 1956. Quant aux zones de tressage, elles subissent une troisième évolution caractérisée par une diminution globale du taux de sinuosité entre 1948 et 1990.

La question est de savoir quel a été le rôle de la crue millénaire de 1957 dans cette évolution. Certains indicateurs, tels que le nombre moyen de chenaux par transect et le taux de sinuosité du secteur le plus aval ne se sont accrus qu'entre 1956 et 1973, peut être sous l'impulsion de cet événement. En revanche, les autres descripteurs se sont modifiés dès 1956 et seraient donc influencés par des facteurs indépendants de l'événement de 1957. Compte tenu de ces observations, il est possible de penser que la crue de 1957, qui est un épisode catastrophique, ne semble pas avoir réellement affecté le cours de l'Ubaye à l'aval de Jausiers. C. Lecarpentier (1963) précise d'ailleurs que "l'Ubaye, avant de quitter la cuvette de Barcelonnette, apparaît sensiblement assagie". Selon lui, les dimensions exceptionnelles du lit majeur ont contribué fortement à l'étalement des crues et à l'abandon d'une large part de la charge grossière à l'aval de Jausiers.

La variabilité de la ligne d'eau a également été observée au cours des périodes 1908-1986 et 1986-1991 sur le seul tronçon disposant de sources exploitables : Jausiers - Torrent du Bachelard. L'étude a révélé une très

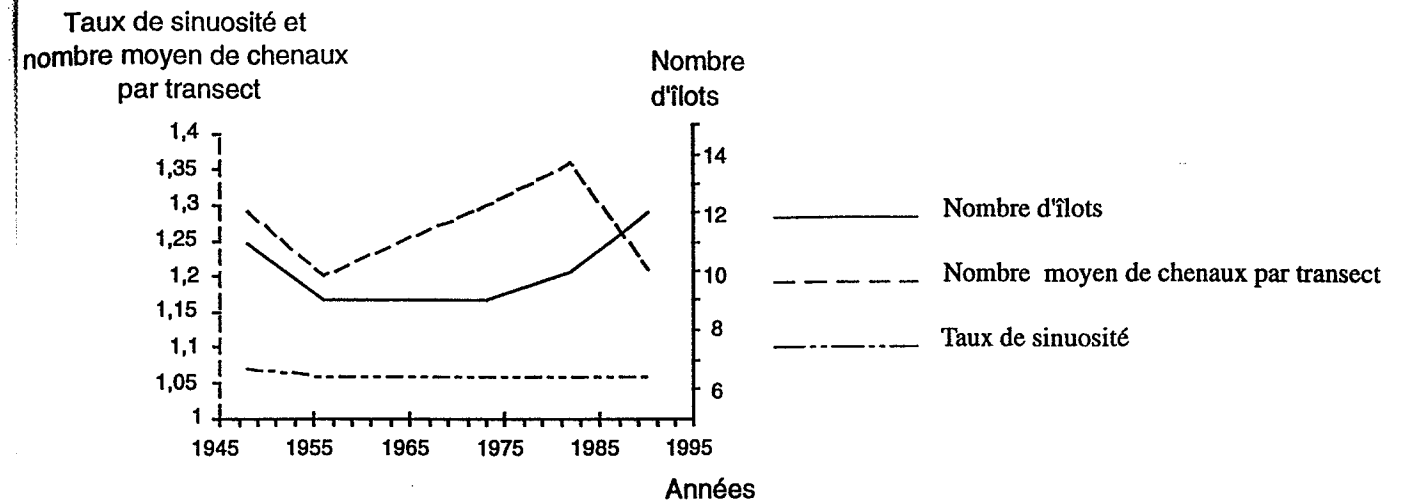


Figure 65 - Évolution diachronique de trois descripteurs du style géomorphologique : le taux de sinuosité, le nombre moyen de chenaux par transect et le nombre d'îlots de végétation, moyenne Ubaye (1948-1990).

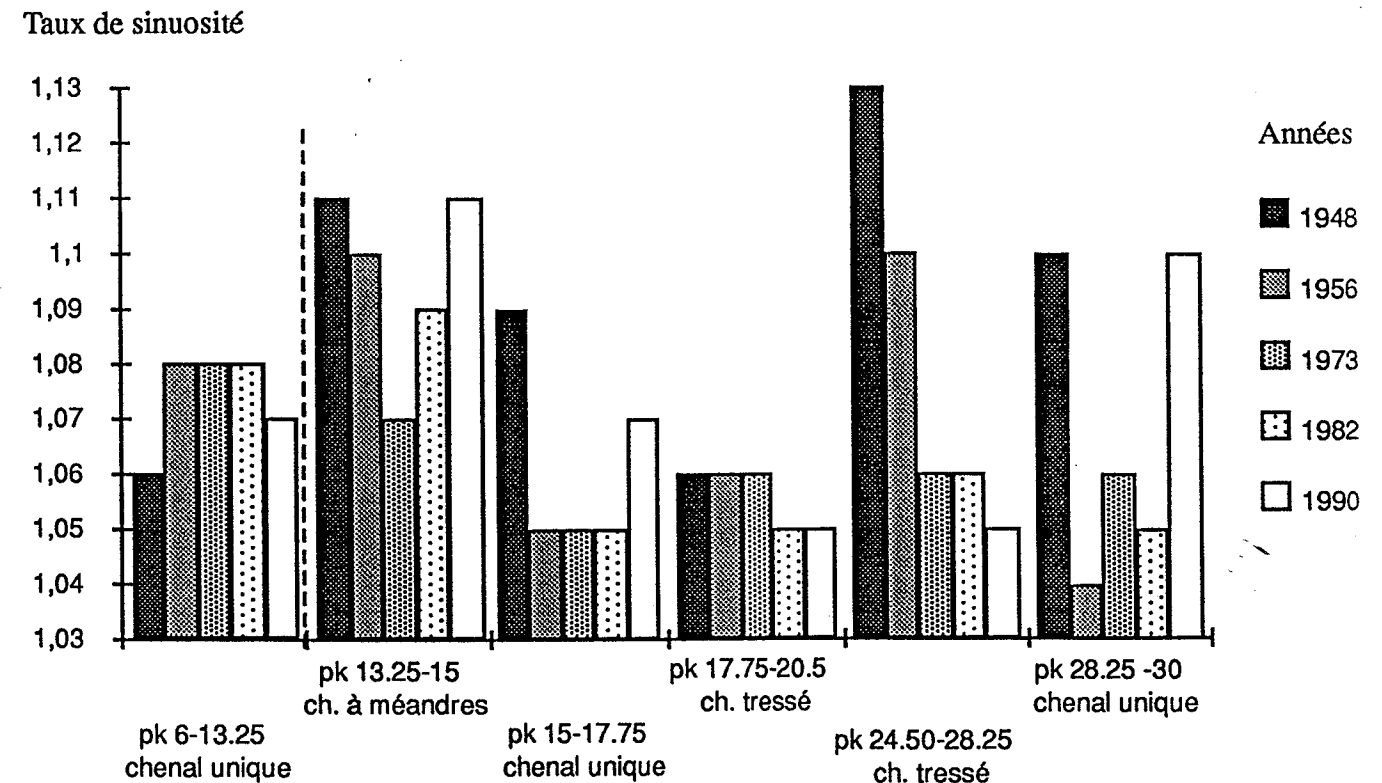


Figure 66 - Évolution diachronique du taux de sinuosité sur six tronçons de la moyenne Ubaye (1948-1990).

forte incision avant 1986 à l'aval de Barcelonnette dans le secteur de la confluence avec la Bachelard mais celle-ci s'est atténuée assez vite dans la section endiguée (fig. 67A). Cette incision a dépassé localement les 6 m avec une moyenne de 5,2 m alors que dans le tronçon endigué, cette moyenne n'était que de 2,4 m. Cette situation critique s'est inversée depuis 1986 à la suite de la construction d'un seuil à l'extrémité aval de l'endiguement qui a favorisé le relèvement du profil et une réaccumulation moyenne de 2,16 m.

L'évolution du profil en long a également été étudiée sur un tracé plus long s'étendant de Jausiers au seuil de Barcelonnette entre 1908 et 1991 (fig. 67B). Sur les 36 points d'observation équidistants de 250m, l'accumulation moyenne a atteint 0,37 m mais cette valeur centrale cache néanmoins une variabilité amont-aval

et deux secteurs ont pu être individualisés. Le premier, une zone de divagation importante située à l'amont du pont Mathéron, s'est relativement engraisé depuis 1908 avec un maximum de + 2,5 m et une moyenne de + 0,9 m. Le second secteur s'étend du pont Mathéron jusqu'à l'extrémité aval de l'endiguement de l'agglomération de Barcelonnette et est caractérisé par une assez faible mobilité du profil en long, les maxima ne dépassant pas +/- 0,75 m. Le profil est plutôt incisé à l'amont et exhaussé à l'aval avec des moyennes respectives de 0,32 et 0,24 m, l'ensemble de ce tronçon étant finalement caractérisé par une incision moyenne de 0,11m.

Le budget sédimentaire a également été estimé à partir des valeurs de l'enfoncement et de la largeur moyenne de la bande active actuelle. Entre Jausiers et le seuil de Barcelonnette, 0,52 Mm<sup>3</sup> de sédiments auraient été stockés depuis 1908, soit 696 m<sup>3</sup> / km / an. Ce chiffre est à comparer avec les volumes qui ont été déstockés à l'aval de Barcelonnette entre 1908 et 1986, aucun seuil n'ayant renversé la tendance, et qui seraient estimés à 1,34 Mm<sup>3</sup> sur seulement deux kilomètres, soit 8 590 m<sup>3</sup> / km / an.

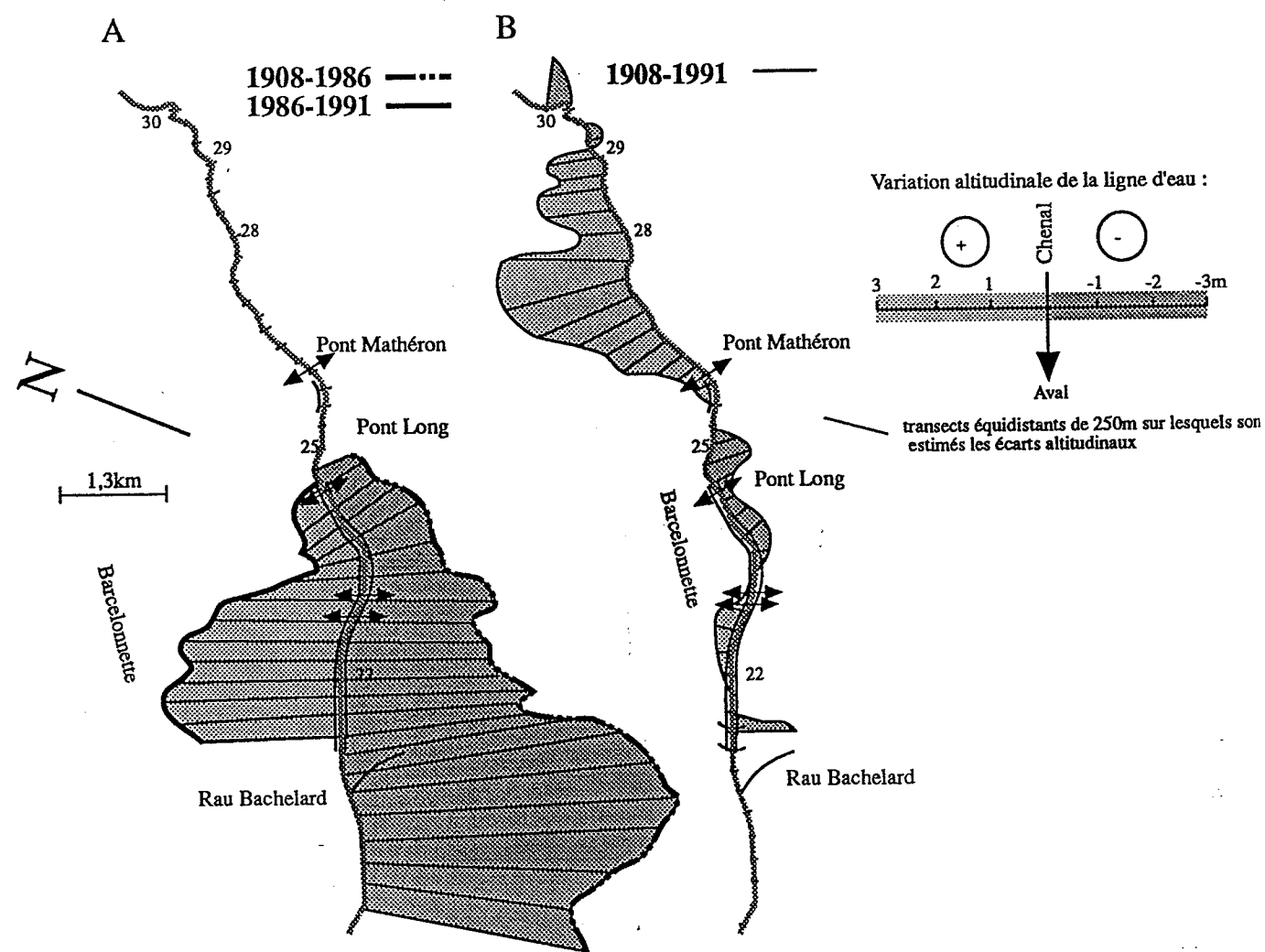


Figure 67 : Cartographie de l'évolution diachronique et synchronique de la ligne d'eau d'étiage de l'Ubaye entre Jausiers et le torrent de Riou Bourdoux au cours des périodes 1908-1986 et 1986-1991 (A) et entre Jausiers et le seuil de Barcelonnette entre 1908 et 1991 (B).

Compte tenu des éléments disponibles, il n'a pas été possible de diagnostiquer l'évolution de la puissance brute ou unitaire au cours du XX<sup>e</sup> siècle à l'aval de Barcelonnette.

La puissance brute moyenne à l'amont de l'agglomération n'a pas varié entre 1908 et 1986, dates auxquelles elle a été respectivement estimée à 5 842 et 5 622 W.m<sup>-1</sup>. Par ailleurs, cet indicateur se réduit vers l'aval et passe ainsi entre Jausiers et la confluence avec le Bachelard, de 8 200 à 3500 W.m<sup>-1</sup> en 1908 et de 5 500 à 5 000 W.m<sup>-1</sup> en 1986. Néanmoins ce phénomène semble s'atténuer, la valeur de la puissance étant plus homogène aujourd'hui de l'amont vers l'aval.

Finalement, seule une réduction de la puissance brute a pu être observée entre les deux dates à l'amont du pont Mathéron. Elle correspond à une réduction synchrone de la pente consécutive à l'entrée d'une abondante charge qui s'est manifestée par un exhaussement du lit.

Sur la moyenne Ubaye, aucun changement physique majeur n'a été mis en évidence à l'exception de la très forte incision de la bande active à l'aval de Barcelonnette. Compte tenu de sa chronologie ancienne, la biométamorphose n'a pas pu être mise en relation avec les changements observés. Néanmoins, ceux-ci peuvent être comparés aux fluctuations spatiales qui ont touché la couverture arborée riveraine depuis 1950.

Les données collectées et exploitées dans ce chapitre étaient très disparates d'une rivière à l'autre. Cette disparité concernait à la fois leur chronologie et leur espace de référence. C'est pourquoi, une synthèse globale paraît encore difficile. Aussi, une analyse des causes endogènes de la modification de la géométrie de la bande active devrait permettre de construire une synthèse par rivière de l'évolution diachronique de la morphodynamique. Celle-ci permettra de mieux comprendre les mécanismes d'ajustement dynamique entre les paramètres physiques et biologiques.

### 2.3 Causes endogènes des modifications physiques de la bande active et ajustement des marges arborées.

Avant d'aborder la relation existant entre la modification de la géométrie de la bande active et la dynamique de colonisation des marges arborées, il convient de s'interroger sur les causes endogènes de cette transformation géomorphologique du lit.

L'identification progressive des différentes causes de la biométamorphose semble montrer que chaque rivière présente une dynamique qui lui est propre. La spécificité de chacune d'elles concerne à la fois la chronologie des phénomènes ainsi que le nombre et l'ampleur des principales causes.

#### **2.3.1 Les causes endogènes des modifications physiques de la bande active**

##### 2.3.1.1 L'Ain

Deux phénomènes majeurs, peut-être relativement indépendants l'un de l'autre, ont modifié l'hydrosystème Ain au cours de l'époque contemporaine.

- Le premier correspond à une métamorphose fluviale qui a touché la rivière dans la première moitié du XX<sup>e</sup> siècle comme le montre la chronologie de la modification des indicateurs physiques. Une forte incision du lit a par exemple été observée à l'orée du XX<sup>e</sup> siècle. De même, le taux de sinuosité du chenal principal, la largeur de la bande active et le nombre d'îlots de végétation se sont réduits. La puissance brute et surtout la puissance spécifique ont considérablement augmenté au cours du XX<sup>e</sup> siècle à la suite de l'augmentation de la pente et de la réduction de la largeur de la bande active. Depuis les années 1950, l'évolution se poursuit mais elle est beaucoup plus modeste.

- Le second phénomène correspond à une biométamorphose qui a touché à la fois le lit majeur et la bande active au cours des années 1950-70. Aussi, ce mouvement récent ne présente pas une réelle relation chronologique avec les modifications physiques dominantes.

Les causes de la métamorphose physique sont sans doute très anciennes. Il semble que l'incision par exemple ne soit pas liée à des extractions en lit mineur. Les ressources potentielles en granulats existant dans cette région sont exceptionnelles. Actuellement, sur la basse vallée de l'Ain, les carrières existantes ne sont installées qu'en lit majeur et leur superficie a été estimée à 300 ha. Sur les 3 sites actuels, 0,9 Mm<sup>3</sup>/an sont extraits sur les 40 km de vallée, soit tout de même 22 000 m<sup>3</sup> annuel par kilomètre de vallée (Combe, 1991). L'étude géomorphologique de J.P. Bravard *et al.* (1990) fait également état de cette activité mais considère qu'elle n'intervient que très modérément pour expliquer les modifications observées dans la mesure où elle n'est pas installée en lit mineur.

De même, les aménagements destinés à limiter le déplacement horizontal de la bande active sont relativement peu nombreux. En dehors des zones de franchissement de la rivière, les berges ont été très faiblement protégées puisque 1,8% seulement d'entre elles seraient stabilisées, Varambon, Gévrioux, Taffanelles et Port Neuf étant les principaux sites. D'après une analyse effectuée à partir de la carte géomorphologique de J.P. Bravard *et al.* (1990), l'ensemble des ponts et leur protection latérale correspondent globalement à 4,5 km de berges protégées, soit 5,6% de l'ensemble des berges de la rivière. Avec un taux global de protection de l'ordre de 7,4% des berges, l'Ain peut être ainsi considérée comme une rivière peu aménagée.

Par conséquent, les principales causes de la métamorphose physique semblent avoir, sur la basse vallée de l'Ain, une origine extérieure au tronçon.

### 2.3.1.2 L'Ardèche

Peu de données ont été collectées concernant le XIX<sup>e</sup> siècle. Seules une réduction de la largeur de la bande active et une uniformisation des puissances hydrauliques de l'amont vers l'aval ont été effectivement constatées entre le milieu du XIX<sup>e</sup> et le milieu du XX<sup>e</sup> siècle. La période 1950-1990 a également été marquée par une modification importante du style fluvial.

La question est de savoir si la modification de ces indicateurs physiques peut être en relation avec des facteurs endogènes d'origine anthropique. Différents facteurs tels que le taux de protections de berges et l'intensité de l'activité extractive ont pu effectivement intervenir sur la géométrie du lit au cours de l'époque contemporaine.

L'Ardèche a été beaucoup plus stabilisée que l'Ain. 15 ponts et 8 seuils bétonnés contrôlent toute migration latérale, canalisent la rivière et stabilisent son profil. Les ouvrages se succèdent en moyenne tous les 2

kilomètres. Si, faute de documents, le linéaire de berges protégées est difficile à estimer sur tout le linéaire, ce travail a pu être conduit sur le tronçon Pont d'Aubenas - Hameau de ville dans la mesure où nous disposons d'une carte au 1/5 000<sup>e</sup> sur laquelle ont été recensés les ouvrages (Cérec et Akène, 1992). Le linéaire protégé par des enrochements, des murs en béton ou d'autres techniques est estimé à 4,5 km sur 14,4 km, soit 31,2 % des berges. Ce taux très élevé est sans doute inférieur à celui du tronçon situé à l'aval de Ruoms sur lequel les bases de loisirs et les campings sont fortement implantés aux abords de la bande active. Sur les 45 campings recensés, 65% sont en effet localisés à l'aval de Ruoms. Si la protection des berges s'est accélérée et surtout renforcée depuis les années 1960 à la suite de l'essor du tourisme et de l'agriculture, ce phénomène existait néanmoins déjà au XIX<sup>e</sup> siècle. C'est en effet dans la deuxième moitié du siècle dernier que l'homme a aménagé la rivière, notamment entre Ruoms et Vallon-Pont d'Arc, afin d'utiliser l'eau pour irriguer les zones agricoles ou exploiter son énergie hydraulique dans l'industrie textile ou la minoterie (Zamuth, 1989). Cet auteur a ainsi identifié 29 seuils dont 16 sont aujourd'hui détruits. 15 et 74% d'entre eux ont été respectivement construits dans la première et la seconde moitié du XIX<sup>e</sup> siècle. En outre, de nombreuses communes de la vallée se sont dotées entre 1820 et 1905 d'un syndicat chargé de construire et d'entretenir des digues (Série 388 S 2/1, Archives Départementales de l'Ardèche).

Pourtant, c'est la récente activité extractive qui est à l'origine des principaux bouleversements de la géométrie du lit. Nous considérons la décennie 1970 comme une période majeure de rupture d'équilibre, caractérisée par une modification à la fois du style géomorphologique et du profil en long.

L'extraction en lit mineur a été à l'origine de profondes perturbations du fonctionnement physique et constitue la cause principale de l'incision de la bande active.

6 zones d'extraction ont pu être identifiées (fig. 68). La plus importante s'étend sur près de 4 km du Hameau de Ville à Vogüé. La très forte extraction en lit mineur a conduit à un enfoncement parfois de plusieurs mètres sur les sites et à une érosion régressive et progressive relativement bien connue dans un tel cas et qui a touché rapidement tout le tronçon. Il est intéressant de souligner que les secteurs les plus incisés correspondent dans tous les cas à des zones d'extraction. Dans le coude d'Aubenas, cette activité a considérablement atténué la pente qui existait en 1920 et est donc à l'origine de la réduction de la puissance brute observée au cours du XX<sup>e</sup> siècle.

D'après les renseignements publiés dans le rapport Cédrat (1984), 140 000 m<sup>3</sup> de sédiments auraient été extraits en 1983. Si les volumes extraits durant toute la durée des concessions ont été semblables à cette année là, l'extraction totale serait estimée à 1,6 Mm<sup>3</sup> entre 1970 et 1985 ce qui correspond assez exactement aux volumes perdus entre 1922 et 1984 que nous avons estimé lors de l'étude diachronique des profils en long. Pourtant, ce volume peut être sous-estimé dans la mesure où des zones d'extraction telles que le méandre de Chauzon, ont été identifiées sur les photographies aériennes ou sur le terrain alors qu'elles n'ont pas été recensées par l'administration.

Cette activité a également modifié la géométrie en plan de la rivière. Le schéma d'aménagement (Cédrat, 1984) met clairement en lumière que l'extraction a été effectuée dans la bande active en raison de sa facilité. Dans les années 1970, sa largeur ne correspondait plus à un équilibre naturel entre les flux et le développement des végétaux riverains. Dans les secteurs de Lanas et de Vogüé par exemple, cette largeur était artificiellement augmentée, l'extraction s'étendant au-delà de la bande active sur des marges colonisées par des formations pionnières. Cette démarche a conduit à une importante désorganisation de l'écoulement, le lit mouillé étant souvent détourné, et explique l'originalité des valeurs des différents indicateurs physiques étudiés sur les photographies de 1979.

Depuis 1984, l'affleurement croissant du substratum (photographie 10) et l'arrêt des extractions massives en lit mineur expliquent l'arrêt de l'enfoncement. Le profil en long levé en 1991 dans la boucle d'Aubenas et sur lequel alternent des secteurs en graviers et des secteurs incisés dans le substratum, est en effet parallèle à



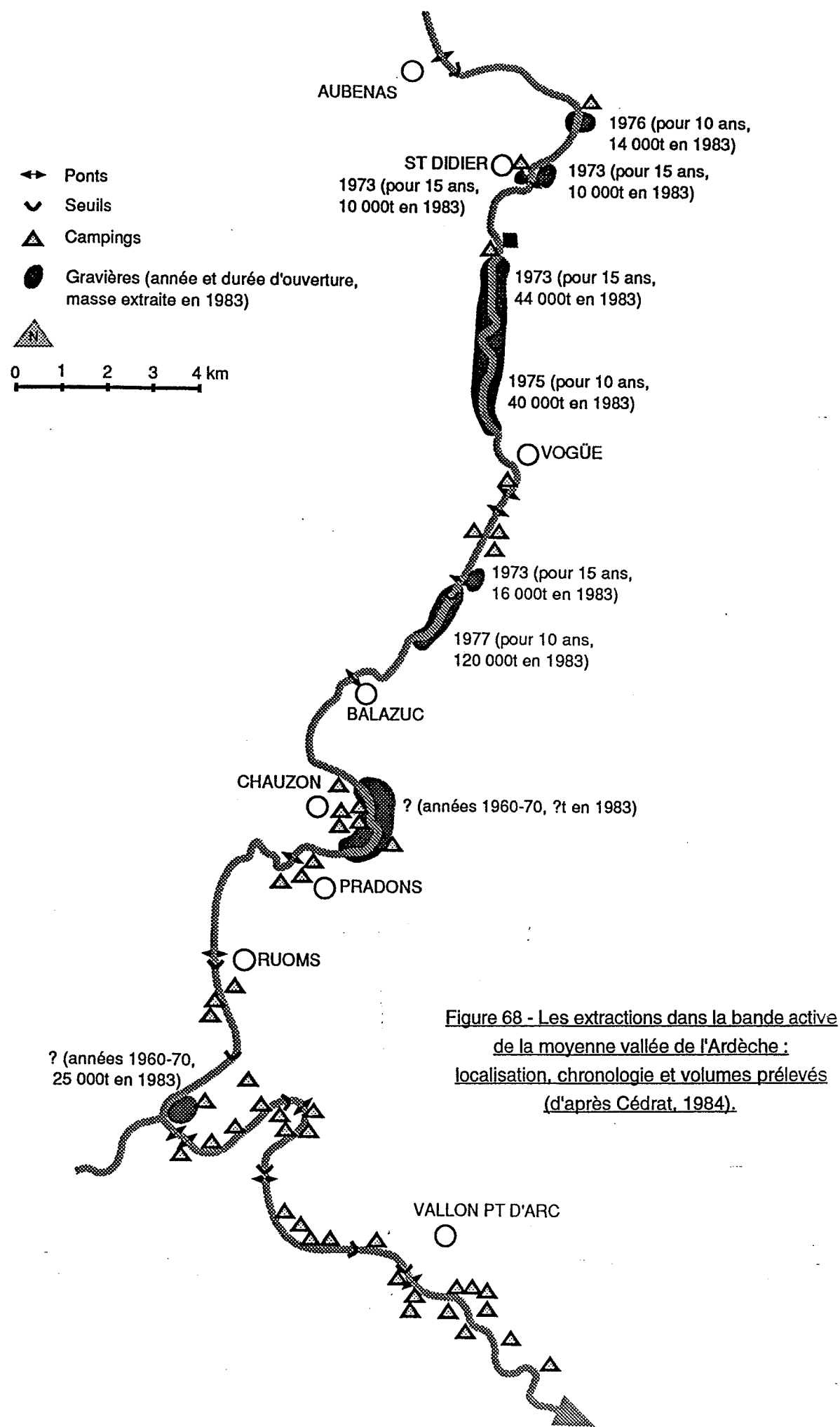


Figure 68 - Les extractions dans la bande active de la moyenne vallée de l'Ardèche : localisation, chronologie et volumes prélevés (d'après Cédrat, 1984).

celui de 1984. En outre, ce phénomène est irréversible dans la mesure où les collectivités locales sont officiellement favorables à une stabilisation latérale de la rivière et au maintien d'un lit incisé. Cette stratégie correspond à la volonté de développer un tourisme fluvial en berges tout en lui garantissant une fréquence d'inondation la plus faible possible.

Si l'extraction semble avoir profondément affecté le fonctionnement physique de la rivière, il semble que d'autres éléments soient intervenus pour expliquer la métamorphose enregistrée par la rivière avant même la période d'extraction. En effet, la bande active, le taux de sinuosité et le nombre moyen de chenaux par transect se sont réduits avant 1969. La question est donc de savoir si les modifications du style géomorphologique ne dépendent pas aussi d'une modification antérieure des flux solides ou liquides.

### 2.3.1.3 Le Giffre

Les descripteurs physiques de l'évolution en plan ne révèlent pas de changements à long terme du fonctionnement géomorphologique.

Certes, le taux de sinuosité s'est légèrement réduit et le nombre de transects à chenaux uniques s'est accru. Les perturbations sont observées au cours de la décennie 1970 et se manifestent par une réduction du nombre d'îlots végétalisés et du nombre moyen de chenaux par transects. Selon M. Rimpault, technicien à la DDA, la réduction du nombre d'îlots boisés entre 1954 et 1984 et leur remplacement par des espaces minéraux sont liés à une intense activité extractive. Ces îlots, en essor entre 1934 et 1954, étaient peut être des descripteurs d'une évolution récente du style fluvial.

Néanmoins, le déséquilibre du profil en long depuis le début du XX<sup>e</sup> siècle est le principal phénomène géomorphologique enregistré. Il semble qu'il soit dû à des facteurs anthropiques endogènes qui ont profondément perturbé la dynamique des flux sédimentaires en engendrant une augmentation des forces tractrices. L'endiguement rectiligne a réduit la largeur de la bande active, la sinuosité naturelle et tout déplacement latéral mais augmenté la pente du chenal. La rivière s'est donc adaptée en jouant sur son degré de liberté verticale et a réduit sa pente par incision. De plus, les extractions dans le chenal ont eu une incidence directe sur les sites exploités et finalement sur l'ensemble du tronçon, l'enfoncement s'étant rapidement étendu à l'amont et à l'aval de chacun de ces sites.

#### - L'endiguement.

Dès l'époque moderne, des digues et des épis de bois ont été construits dans le lit du Giffre afin de se garantir de ses incursions. Ces travaux étaient exécutés par les habitants et nécessitaient des journées de corvées (Mougin, 1914, Rousset-Mestrallet, 1986). Le travail était incessant car ces ouvrages en bois étaient fragiles et putrescibles: Les digues étaient alors discontinues, inférieures à 70 m de long, établies sans plans d'ensemble mais toujours obliques au courant.

En 1766, l'Intendant de Faucigny, Patria, ordonna de dresser un plan de la rivière afin d'établir un projet d'endiguement. En 1816, l'Intendant expliquait que "la riante vallée de Taninges et Samoëns est souvent attristée par les inondations du Giffre et qu'on ne cesse de demander des secours pour aider les communautés à lui opposer une barrière".

Néanmoins, aucun endiguement pérenne n'existait avant la fin du XIX<sup>e</sup> siècle. En 1861, le Conseil général de Haute-Savoie demanda que soit étudié un projet d'endiguement du Giffre depuis la commune de Sixt jusqu'à

l'Arve. De même, un syndicat de riverains se constitua à Taninges en 1867 afin d'exécuter des travaux d'endiguement sur le territoire de cette commune. 10 ans plus tard, une décision ministérielle approuva un avant-projet d'endiguement du Giffre à Taninges sur une longueur totale de 6 656 m à l'amont du Pont des Thézières. Sa construction est calée chronologiquement entre 1877, date de la décision ministérielle, et 1903, date du cadastre de Taninges sur lequel figure la digue. Sur la commune de Morillon, une association syndicale se constitua également en 1883 et des digues submersibles s'étendant sur 1,3 km entre la digue du Cognet et le torrent de la Perrière, furent terminées en 1893 (Mougin, 1914).

L'analyse de la série de photographies aériennes disponibles depuis 1934 et des documents d'aménagement (Céric, 1973; Sogreah, 1988) a permis de compléter les données de P. Mougin. A partir de l'ensemble de ces sources, une chronologie de l'endiguement du Giffre a pu être établie entre 1880 et aujourd'hui (fig. 69).

La rivière était déjà fortement maîtrisée à l'aube du XX<sup>e</sup> siècle (photographie 11). Le mouvement s'est ralenti entre 1910 et 1934 mais les années 1960 furent marquées par une dynamique nouvelle avec la construction du barrage de Pressy, le confortement du pont de Morillon et la protection de la carrière des Vernays installée en lit mineur. Le mouvement s'est poursuivi ensuite et les digues existantes ont en même temps été restaurées. Le projet Sogreah (1988) prévoyait encore des batteries d'épis plongeurs dans les secteurs épargnés en rive droite à l'aval du Clévieux et au droit de la gravière des Vernays. En 1993, 67% des berges du Giffre moyen sont endiguées (fig. 70) et 47 % du linéaire est protégé sur les deux berges. Par contre, seulement 7 % de ce même linéaire ne dispose d'aucune protection. Aujourd'hui, seuls 4 tronçons, soit 23% du linéaire, disposent d'une bande de divagation potentielle. A ces aménagements longitudinaux, s'ajoutent 7 seuils dont 1 double - 3 sont encore prévus - et 4 ponts très protégés. L'ensemble de ces ouvrages estimés à 1 tous les 1,2 km, contribue à caler le lit latéralement et verticalement.

Les sites endigués et les sites incisés entre 1912 et 1973 correspondent parfaitement. Mais l'incision touche également les tronçons situés à l'amont et à l'aval de la zone endiguée. Trois explications possibles peuvent être avancées pour expliquer cela :

- L'endiguement est responsable de l'incision. Ceci se confirme par une érosion régressive et progressive nécessaire à un nouvel équilibre dynamique. Sur des rivières aussi énergiques, les ajustements du profil liés à l'endiguement sont très rapides (Peiry, 1988). Celui-ci date de la fin du XIX<sup>e</sup> siècle et pourrait ainsi encore influencer la morphodynamique dans les premières décennies de l'intervalle étudié. A l'amont en revanche, il favorise le dépôt et peut être à l'origine de l'exhaussement. Néanmoins, le contact entre la zone d'incision et la zone d'exhaussement est brutal et ne ressemble donc pas au traditionnel basculement du profil en long que l'on observe sur les rivières endiguées. Les torrents affluents peuvent aussi avoir joué un rôle dans le blocage temporaire du processus d'incision par apport de matériaux grossiers.
- Les extractions de graviers intervenues à la fin de la décennie 1968 à l'aval de la section endiguée peuvent être une seconde raison qui explique cette importante incision indépendamment de l'endiguement. Néanmoins, aucun document ne permet de le confirmer.
- Des erreurs sur le profil de 1912 sont également possibles.

#### -L'extraction de granulats en lit mineur

Les extractions massives de granulats en lit mineur au cours des années 1970 sont la cause principale du déficit de la charge sur ce tronçon au XX<sup>e</sup> siècle.

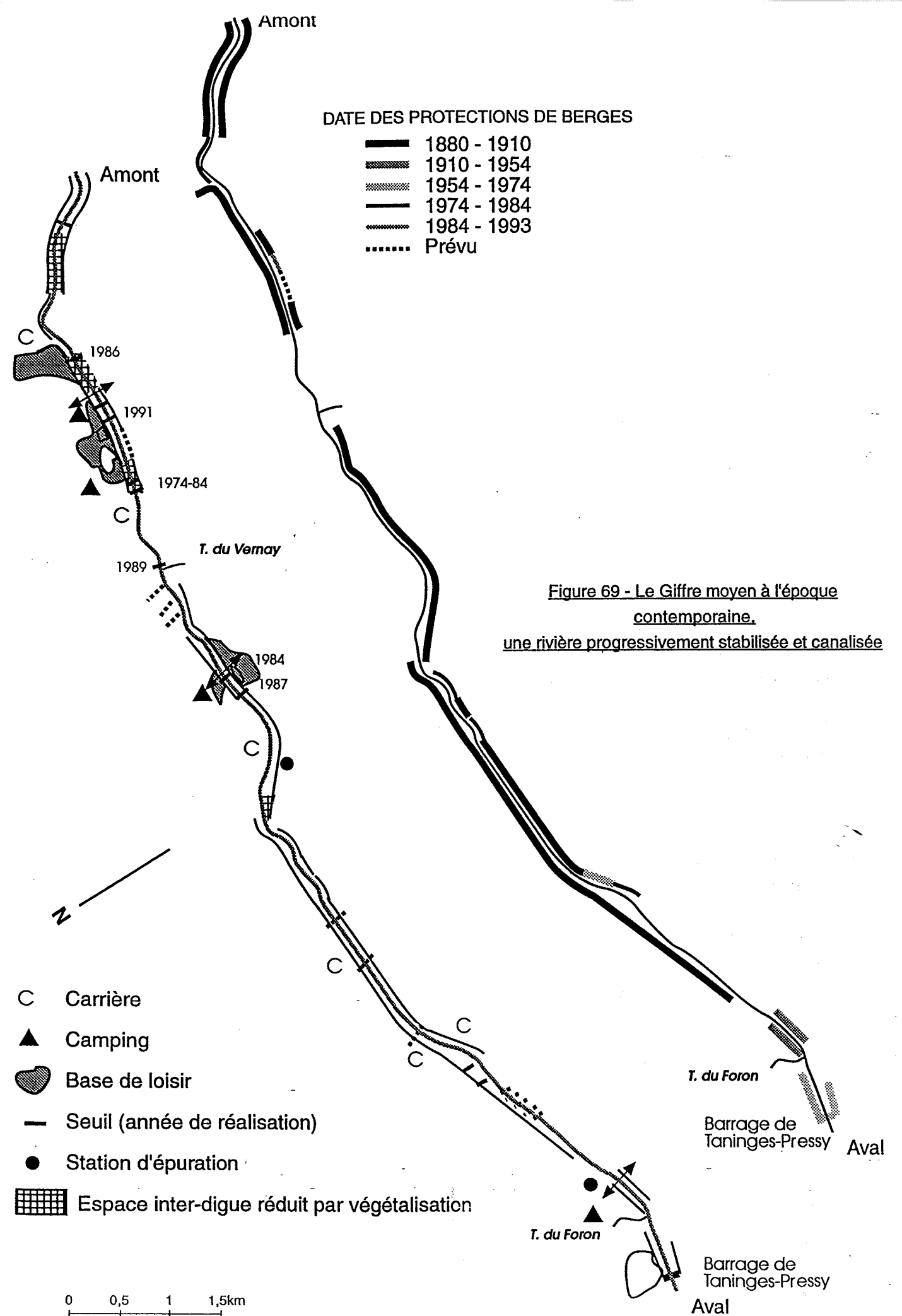


Figure 69 - Le Giffre moyen à l'époque contemporaine.  
une rivière progressivement stabilisée et canalisée

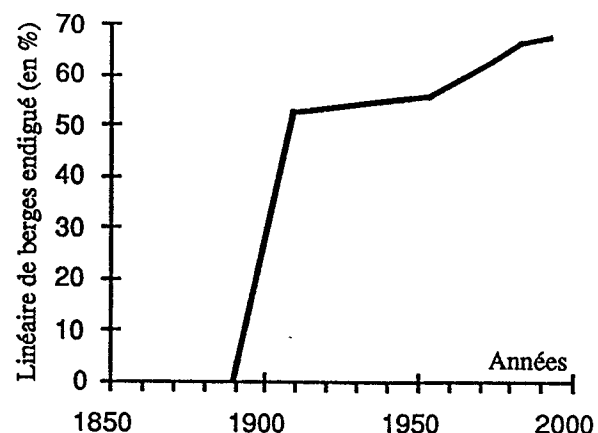


Figure 70 - Évolution du linéaire de berges protégées sur le Giffre moyen depuis la fin du XIX° siècle (en % du linéaire total)

L'incision a en effet touché l'ensemble du Giffre moyen au cours de la période 1973-1983 (fig. 59). Celle-ci était d'autant plus marquée que la bande active était large. La corrélation de l'enfoncement entre 1973 et 1983 avec la largeur de la bande active en 1983 est relativement bonne ( $r = 0,38$ ,  $p = 0,01$ ,  $n = 47$ ). Elle ne peut bien sûr pas être parfaite dans la mesure où l'érosion progressive et régressive est très rapide et touche également les secteurs situés à l'amont et à l'aval de la souille d'extraction mais, ce phénomène étant original en milieu naturel, prouve le rôle de l'homme dans ce processus.

En 1975, des autorisations quinquennales furent accordées pour des extractions d'une profondeur de deux mètres. Cette limite fut souvent largement dépassée et l'Administration chargée la police des eaux (DDA) dressa entre 1977 et 1978 des procès verbaux qui témoignent d'extractions dépassant une profondeur de 5 m. Céric (1984) estimait les prélèvements des extractions à 1-1,5 Mm<sup>3</sup> entre 1973 et 1983. D'après différentes enquêtes conduites en 1973 et 1983, ils auraient atteint 0,1 à 0,2 Mm<sup>3</sup>/an. Finalement en 1977, un arrêté préfectoral annula les autorisations et déclara le Giffre zone critique.

La mesure d'interdiction fut suivie de travaux de réhabilitation du chenal et sept seuils sous-fluviaux successifs furent construits, principalement pour protéger les ponts du déchaussement (fig. 69). L'incidence de ces ouvrages apparaît aujourd'hui très clairement sur les profils en long. Les ouvrages amont ont, dans un premier temps, bloqué la charge en transit. Pourtant, toute extraction ayant cessé depuis 1984, le blocage de la charge par les seuils ne paraît pas suffisante à elle seule, pour expliquer l'exhaussement du chenal que nous avons pu observé par exemple entre 1988 et 1993 (fig. 59). Il semble ainsi qu'il y ait une recharge récente des secteurs amont et aval. En 1993, le profil est encore loin de son état initial de 1912 mais la réversibilité semble acquise.

#### 2.3.1.4 L'Ouvèze

Comme sur le Giffre moyen, deux éléments anthropiques ont contribué à modifier la géométrie de la bande active de cette rivière au cours de l'époque contemporaine : l'endiguement et l'extraction de granulats.

##### - L'endiguement

Un endiguement important est déjà visible sur les photographies aériennes de 1947 dans la traversée de Vaison et sur le tronçon aval. Sur la carte cantonale de 1840, des digues sont présentes en rive gauche au droit

de l'actuel lotissement de Théos et à l'amont du camping de Vaison. Dans le secteur de Violès, une digue est également représentée sur le cadastre rénové de 1935. Rectiligne et longue de plusieurs centaines de mètres, elle n'est pas unique et d'autres sont encore observées sur certaines sections du cours (fig. 71).

D'ailleurs, les Archives départementales de Vaucluse détiennent une abondante documentation sur ce sujet (Série S en cours de classement). La politique d'endiguement a surtout été active comme sur l'Ardèche dans la seconde moitié du XIX° siècle et dépendait d'initiatives locales. De très nombreux syndicats d'endiguement se sont constitués sur les communes du tronçon et ont agi durant des périodes plus ou moins longues (tab.15).

Tableau 15 - Les syndicats d'endiguement de la moyenne vallée de l'Ouvèze au XIX° siècle :

| Syndicat communal d'endiguement de : | Durée d'existence |
|--------------------------------------|-------------------|
| Entrechaux                           | ?                 |
| Vaison                               | 1842 - 1929       |
| Roaix                                | 1845 - 1890       |
| Rasteau                              | 1906 - ?          |
| Gigondas                             | 1878 - 1917       |
| Sablet                               | ?                 |
| Séguret                              | 1854 - 1894       |
| Violès                               | 1811 - 1920       |
| Jonquières                           | An XI - 1882      |

Actuellement, les digues antérieures à 1948 représentent 35% du linéaire de berges. Si l'on comptabilise les tronçons récemment protégés par des épis, comme celui de Saint-Michel à Vaison, et le tronçon de l'agglomération de Vaison qui représente à lui seul 11% du linéaire disposant de protections plus ou moins continues, c'est 50% des berges de l'Ouvèze moyenne qui sont protégées. En d'autres termes, seul 37% du linéaire ne comporte aucune protection que ce soit en rive gauche ou en rive droite.

La rivière est également étroitement calée par des ponts et des seuils (siphon de canal, prises d'eau...) nombreux, estimés à un ouvrage tous les 2,2 km. Sur le cadastre rénové de Violès, il est possible d'observer en superposition la bande active de 1822 et celle de 1934 au niveau des ponts situés à l'amont et à l'aval du secteur étudié. La section des ponts en 1934 est deux fois moins large que la bande active de 1934 et 5 fois moins large que celle de 1822. Même si l'on admet une biométamorphose importante ou une erreur de cartographie sur l'ancien cadastre, une canalisation volontaire de la rivière est constatée.

##### - Les extractions de granulats

L'extraction de granulats a été un phénomène très important qui a marqué les années 1970-80. Cette activité, contrôlée à partir de 1974, a atteint son apogée au cours des années 1980-1982. Le cabinet Merlin (1989) note qu'elle a été conduite en lit mineur jusqu'en 1988 pour des raisons de facilité et de sécurité. Entre Sablet et Bédarrides, le lit était en effet perché par rapport à la plaine d'inondation qui était par ailleurs habitée et intensivement cultivée.

Les prélèvements ont été estimés à 300 000 m<sup>3</sup>/an. Entre Sablet et Bédarrides, le tronçon le plus endommagé, les prélèvements cumulés sur 10 ans seraient de l'ordre de 1,2 Mm<sup>3</sup> et l'enfoncement de près d'un mètre. L'ensemble de ces prélèvements dépasserait ainsi largement le débit solide naturel. Les derniers chiffres présentés par SOGREAH *et al.* (1994) sont encore plus alarmants puisque les prélèvements ont été

estimés à près de 235 000 m<sup>3</sup>/an entre 1975 et 1984 ce qui représenterait un volume total de 2,6Mm<sup>3</sup> entre 1974 et 1991 sur le tronçon Entrechaux - Bédarrides.

Les tronçons de plaine alluviale au lit large et au style tressé ont été les plus touchés. Le secteur d'Entrechaux a été largement exploité et des seuils naturels ont été exhumés. Le schéma départemental de vocation piscicole (1988) fait référence à cinq entreprises autorisées en lit mineur dont trois se situent à l'aval de Violès et sont arrêtées depuis 1986. Le prélèvement global était estimé à 800 000 m<sup>3</sup> pour la première alors que les deux autres avaient une autorisation de 60 000 et 72 000m<sup>3</sup>/an. Sur le tronçon Vaison - Violès, deux autorisations, l'une au pont de Sablet et l'autre sur la route de Nyons à Vaison, ont été accordées jusqu'en 1990-91 pour un volume de 32 000 et 18 000 m<sup>3</sup>/an. Sur les photographies de 1973 et 1991, 11 sites d'extraction ont été identifiés et un tronçon continu de près de 2 km de long était perturbé par cette activité à l'aval du siphon du canal de Carpentras en 1973 (fig. 71). Par contre, si à l'amont de Roaix le gisement était également important, il a été peu exploité dans la mesure où il constituait une zone d'alimentation en eau potable.

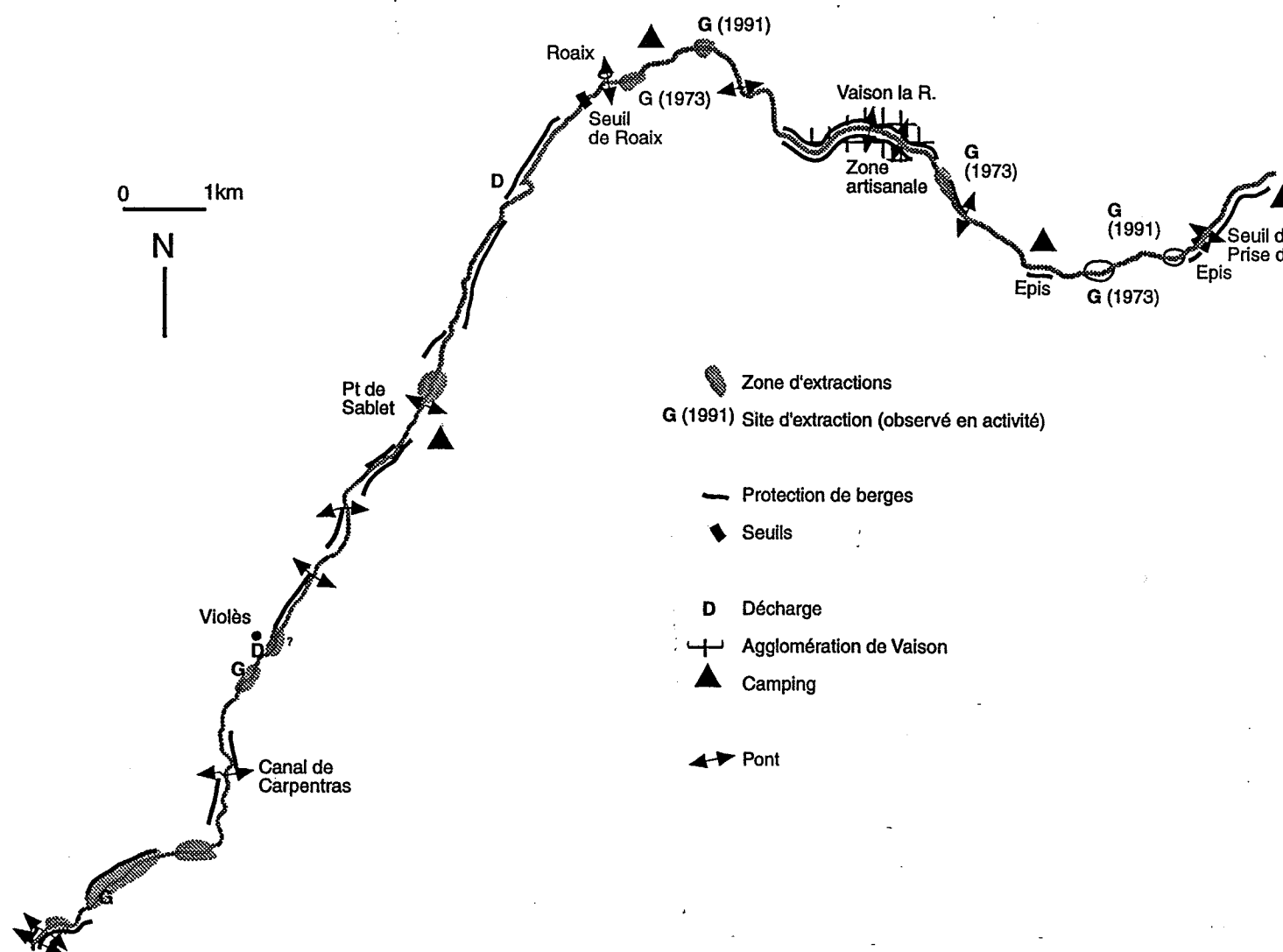


Figure 71 - Aménagements et exploitation des ressources de l'Ouveze moyenne

### 2.3.1.5 L'Ubaye

L'évolution des paramètres physiques et notamment des descripteurs du style fluvial ne semble être que très partiellement corrélée à l'action de l'homme.

Contrairement à la plupart des grandes rivières intra-alpines, l'Ubaye est encore peu endiguée (fig. 72). 20% seulement des berges du tronçon étudié seraient aujourd'hui protégées. Si la protection de Barcelonnette, qui date de la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle (photographie 12), n'est pas prise en compte, cette estimation n'est que de 7%. Les ouvrages récents correspondent à la traversée des Thuiles ou à la zone de tressage située à l'amont de Barcelonnette.

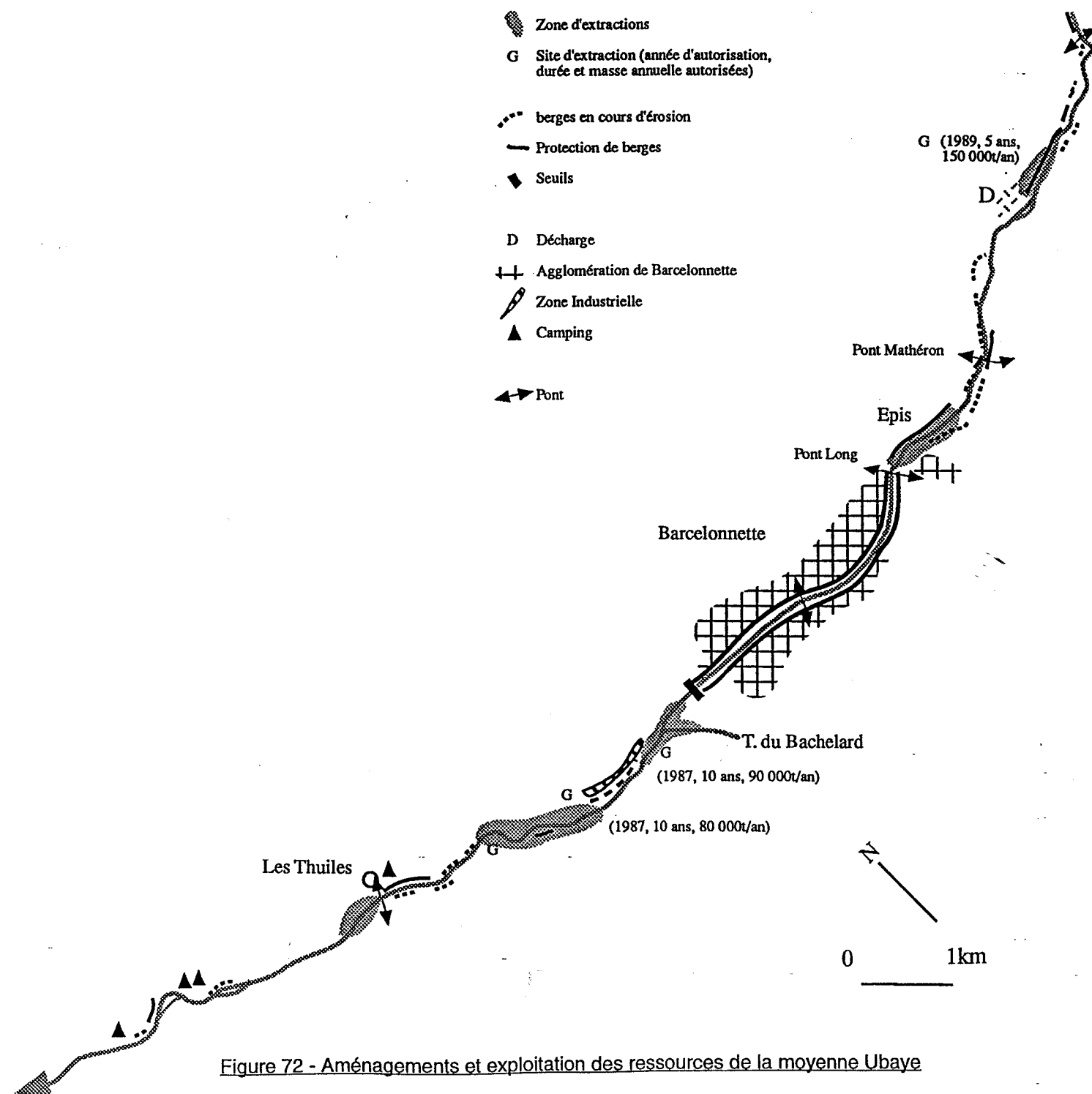


Figure 72 - Aménagements et exploitation des ressources de la moyenne Ubaye

L'extraction de granulats a cependant été une importante activité (fig. 72). 1.34 Mm<sup>3</sup> de graviers ont été prélevés sur seulement deux kilomètres à l'aval de Barcelonnette entre 1908 et 1986. L'âge d'or de cette activité correspond à la construction des stations de ski de Sauze en 1934, de Supersauze entre 1945 et 1950 et de Praloup en 1961.

Aujourd'hui l'extraction est une activité en déclin, localisée essentiellement en lit majeur et concentrée aux mains de trois entreprises, deux se situant à la confluence de l'Ubaye et du Bachelard. La bande de tressage à l'aval de Barcelonnette est aujourd'hui encore curée et profondément perturbée; les prélèvements sont estimés à 320 000 m<sup>3</sup>/an.

Préconiser une quelconque restauration du profil en long initial est aujourd'hui impossible sur cette section du cours d'eau dans la mesure où une réduction corrélative de la section d'écoulement induirait un risque accru d'inondation de la zone industrielle de Barcelonnette localisée en rive droite.

Si l'influence de cette activité sur la morphologie fluviale et notamment sur le profil en long semble être restée très modeste à l'amont de Barcelonnette, la section aval en revanche a été beaucoup plus touchée. Comme l'a montré la figure 67, la bande de tressage située à la confluence de l'Ubaye et du Bachelard s'est considérablement incisée entre 1908 et 1986, le maximum dépassant 5 m. L'érosion régressive qui a rapidement touché la zone endiguée de Barcelonnette, a d'ailleurs été spectaculaire.

Comme aucun profil récent n'a été levé à l'aval de la confluence avec le Bachelard, il est difficile de prouver que ce déficit de charge ait eu des conséquences à l'aval. Malgré tout, il semble que la rivière se soit effectivement incisée. Notre argumentation repose en fait sur deux éléments :

1. Le pont des Thuiles a été déchaussé et s'est effondré à la suite des extractions qui ont été effectuées juste à l'aval du village au cours de la décennie 1970. L'enfoncement du lit dans ce secteur, sans doute supérieur à 1 m, a déstabilisé les berges et nécessité des enrochements.
2. Des protections anciennes situées dans le secteur de Champanastais sont déchaussées de plus de 50 cm.

Les facteurs internes aux tronçons d'études qui ont pu modifier la dynamique fluviale sont d'origine anthropique et correspondent le plus souvent aux dernières décennies de l'époque contemporaine.

Les années 1970 ont été marquées par le développement inconsidéré de l'activité extractive. Celle-ci a profondément perturbé la bande active du Giffre, de l'Ouvèze, de l'Ardèche et de l'Ubaye à l'aval de Barcelonnette. Cette perturbation s'est manifestée par un enfoncement de la ligne d'eau et la disparition d'îlots de végétation. L'incision, ou au moins un déficit de charge, est une tendance observée à plus long terme sur l'Ain indépendamment de l'activité extractive. Cette tendance historique est en contraste avec celles du Giffre, de l'Ubaye et de l'Ouvèze qui sont des rivières qui disposent aujourd'hui encore d'une charge de fond abondante.

L'endiguement est un phénomène qui a également pu modifier la dynamique fluviale des rivières étudiées. Il est intervenu plus précocement et a partiellement modifié le tracé du Giffre, de l'Ouvèze et de l'Ardèche dès la fin du XIX<sup>e</sup> siècle. Les aménagements sont restés en revanche plus modérés sur l'Ain et l'Ubaye.



Photographie 10 - L'affleurement du substratum calcaire dans le lit mineur de l'Ardèche au niveau du coude d'Aubenas (vue vers l'amont).

Photographie 11 - La digue construite à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, un témoin de la progression de la forêt en lit mineur sur le Giffre, exemple de la rive droite du secteur de Vallon à l'amont de la confluence avec le Clévieux.

Photographie 12 - La digue de Barcelonnette construite au début du XIX<sup>e</sup> siècle, un délabrement en partie lié à l'incision consécutive aux extractions aval (vue vers l'amont).

### 2.3.2 Morphodynamique et bioajustement

Après avoir décrit et partiellement expliqué les changements géomorphologiques enregistrés sur les rivières d'étude depuis un à deux siècles, ce dernier point s'efforcera de relier ces phénomènes aux fluctuations spatiales des marges boisées. Deux thèmes seront abordés : la variabilité diachronique de l'altitude du lit et des puissances brutes.

#### 2.3.2.1 Incision et fluctuations spatiales des marges boisées

Au cours des paragraphes précédents, nous avons présenté les facteurs qui étaient susceptibles de modifier la géométrie de la bande active et par voie de conséquences la dynamique des marges végétales. La question est donc de savoir maintenant si une relation statistique existe effectivement entre l'enfoncement et la variabilité diachronique de la largeur de la bande active c'est-à-dire entre l'enfoncement et la dynamique spatiale de la végétation.

Cette relation a été étudiée sur quatre des cinq rivières d'étude, l'évolution des largeurs étant observée sur les photographies aériennes que nous avons utilisé précédemment. Comme notre approche dépend des sources disponibles et notamment des profils en long existants, elle peut être discutée puisque la période étudiée d'enfoncement du lit ne correspond pas étroitement à la période de l'évolution des largeurs. Le tableau 16 présente ainsi les périodes de référence retenues et les résultats des relations statistiques.

Des arguments existent néanmoins pour valider cette approche. La période d'enfoncement prise en compte est ainsi plus large que la période de recolonisation végétale et prend toujours en compte la décennie 1970 qui a été la plus touchée par l'activité extractive. Quant à la période majeure de recolonisation végétale, elle est également prise en compte lorsqu'elle existe puisqu'elle a principalement touché les rivières de piémont entre 1945 et 1970. L'Ouvèze n'a pas été étudiée car les périodes d'observation étaient trop courtes et la période durant laquelle était observé l'enfoncement ne correspondait pas à la période d'extractions.

Tableau 16 - Relation linéaire entre l'enfoncement et l'évolution de la largeur de la bande active, périodes de référence retenues, résultats et validité statistiques :

|                | Période de référence retenue pour évaluer l'enfoncement | Période de référence retenue pour l'évolution de la largeur de la bande active | Nombre d'individus | Coefficient de corrélation r | Probabilité p (test F) |
|----------------|---|--|--------------------|------------------------------|------------------------|
| <b>Ain</b>     | 1920 - 86   | 1947 - 91  | 22                 | 0,321                        | 0,1457                 |
| <b>Ardèche</b> | 1922 - 84   | 1947 - 91  | 94                 | 0,049                        | 0,6389                 |
| <b>Giffre</b>  | 1912 - 84   | 1934 - 84  | 45                 | 0,117                        | 0,4427                 |
| <b>Ubaye</b>   | 1908 - 91   | 1948 - 91  | 36                 | 0,503                        | 0,0018                 |

Les résultats (tab. 16; fig. 73) montrent qu'il n'existe pas de relations étroites entre les deux variables. Il est ainsi possible d'affirmer, malgré les incertitudes liées aux sources, que les deux phénomènes sont relativement indépendants. Sur l'Ain, la largeur de la bande active se réduit en effet avec l'incision de la rivière (fig. 73) mais la dépendance n'est liée qu'à deux points. Par ailleurs, le secteur de Mollon n'est pas incisé alors qu'il a été soumis à une intense explosion arborée. Sur l'Ubaye (fig. 73) en revanche, la dépendance existe mais elle met en lumière un phénomène inverse, l'exhaussement favorisant la recolonisation végétale (relation statistique la plus nette avec  $r = 50\%$ ). Sur l'Ardèche et le Giffre l'indépendance est incontestable.

Ces résultats permettent de formuler plusieurs remarques :

- Il n'y a pas une relation statistique étroite entre l'incision et la réduction de la largeur de la section d'écoulement. Ceci peut éventuellement s'expliquer par le fait que l'incision liée aux extractions en lit mineur n'est pas un phénomène localisé mais se propage vers l'amont ou vers l'aval dans des secteurs où le bioajustement latéral n'est pas possible. Par ailleurs, il peut y avoir une incision du lit indépendamment d'une réduction de sa largeur. Ainsi plus la rivière est tressée, à bande active large et à forte charge, plus la relation entre l'enfoncement et la colonisation végétale d'une partie de la bande active moins soumise à l'hydraulicité est possible. En revanche, une rivière à chenal unique peut présenter un enfoncement in situ sans qu'il y ait une modification de la superficie de son lit mouillé.
- En outre, l'exhaussement peut être favorable à une recolonisation arborée. Ce phénomène ne peut s'expliquer que dans un contexte dynamique précis. Des crues exceptionnelles, telles que les ont connu l'Ouvèze en 1992 et l'Ubaye en 1957, peuvent apporter une charge solide très abondante durant une période courte et de fréquence exceptionnelle. Les crues suivantes, de moindre intensité, redessinent un lit dans ces alluvions. La partie sommitale des bancs de galets, moins soumise aux crues, peut être alors soumise à une recolonisation par des formations arborées. Ce phénomène pourrait expliquer la relation étonnante observée sur l'Ubaye.

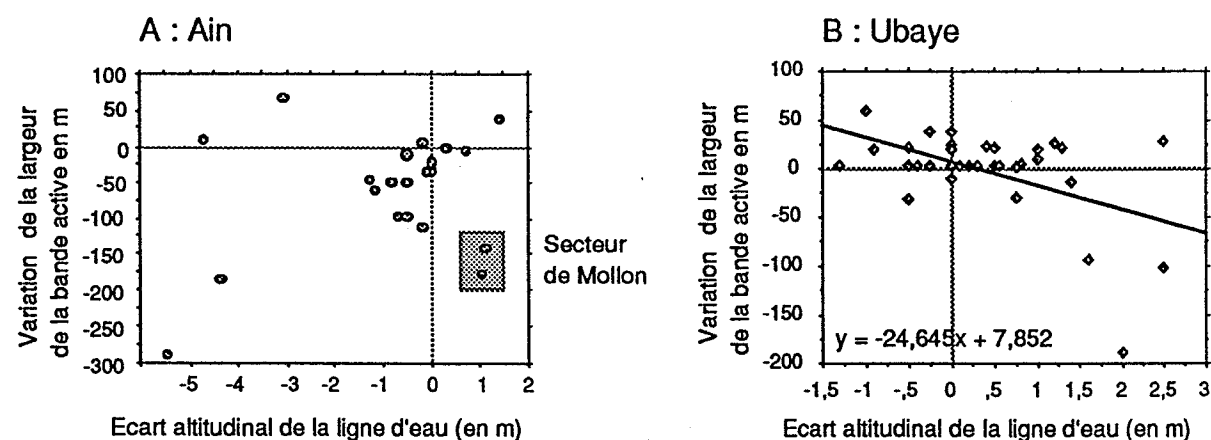


Figure 73 - La relation entre l'incision de la bande active et la recolonisation arborée latérale : exemples de l'Ain (A) et de l'Ubaye (B), deux rivières soumises à un mouvement opposé.

### 2.3.2.2 Les puissances brutes

La variabilité diachronique des puissances brutes peut-elle induire une variabilité spatiale de la couverture arborée? La puissance brute est utilisée dans cette réflexion car elle est indépendante de la largeur.

La variation de ces puissances peut être interprétée de diverses manières selon que l'on se situe sur telle ou telle partie du réseau hydrographique. Néanmoins, dans tous les cas, elle nous informe sur la variation du profil de la rivière le plus souvent à la suite d'une phase d'incision. Celle-ci peut conduire à une augmentation mais aussi à une réduction des puissances brutes sur un tronçon. Cette dynamique dépend :

- de contrôles structuraux exhumés et susceptibles de la bloquer. Dans ce cas, la pente est accrue et ne peut évoluer, la puissance brute augmente et la dynamique d'ajustement cesse.

- du moment et du lieu de l'observation. La dynamique est-elle en cours ou a-t-elle abouti? la question est de savoir si la rivière a retrouvé un profil d'équilibre au moment de l'observation. Un rééquilibrage peut impliquer en effet une augmentation locale et de courte durée des puissances brutes dans un secteur donné.

La question se pose de savoir si la modification de la puissance brute influe réellement sur la recolonisation arborée de la bande active. Dans quelle mesure et dans quel sens?

Deux principales évolutions ont été observées sur les rivières d'étude :

- la première, la réduction très nette de la puissance brute ne concerne que deux tronçons, l'Ardèche à l'amont de Saint-Didier-sous-Aubenas et l'Ubaye à l'amont de Barcelonnette. Dans le premier cas, ce phénomène pourrait s'expliquer par un déstockage progressif des matériaux dans un secteur historiquement large et propice au dépôt à la suite d'une réduction des apports sédimentaires depuis l'amont et de l'extraction massive dans le coude d'Aubenas. Ce phénomène n'engendra cependant pas de recolonisation végétale. Actuellement, un équilibre dynamique semble atteint et la bande active correspond au lit mouillé des basses eaux. A l'aval d'Aubenas, la lame d'eau est peu épaisse mais occupe toute la largeur de la bande active car la charge est déficitaire et la géométrie du lit a été façonnée par des curages successifs. Sur l'Ubaye, en revanche, la réduction de la puissance brute correspond à un apport massif de charge durant la crue de 1957. Le déstockage se fait difficilement depuis bien que des extractions soient effectuées à l'amont du tronçon endigué de Barcelonnette. Dans ce cas, la réduction de la puissance est telle qu'un développement de la végétation riveraine est en cours sur ces marges moins soumises à des crues morphogènes.

Lorsque la puissance brute se réduit à la suite de la modification du débit ou de la pente, une recolonisation végétale peut se manifester sur les rivières en tresses, sur les lits partiellement occupés par des bancs de galets terrestres et potentiellement végétalisables par une végétation pionnière. Cette dynamique modifie la largeur du lit et par conséquent la puissance unitaire et favorise une recherche d'équilibre entre les flux et la géométrie du lit.

- la seconde évolution, une augmentation très forte de la puissance brute liée à une augmentation de la pente du tronçon, est observée avec certitude sur l'Ain, le Giffre et localement sur le secteur aval (Sampzon - Vallon Pont d'Arc) de l'Ardèche. Dans les trois cas, ce phénomène correspond à un déficit marqué de la charge solide et à une incision corrélative. Comme la puissance brute est un facteur étroitement dépendant de la pente et par conséquent de l'incision de la rivière, la relation entre l'augmentation de la puissance brute et la recolonisation végétale de la bande active n'est pas démontrée.

En théorie l'augmentation de cette puissance apporte à la rivière une énergie potentielle supplémentaire. Celle-ci peut la dissiper verticalement ou horizontalement et donc conduire dans ce dernier cas, à une régénération latérale.

Si la puissance brute augmente, la dissipation de l'énergie peut également se faire sur le fond. L'incision dans ce cas peut augmenter la section d'écoulement, réduire latéralement l'intensité des flux et offrir ainsi à la recolonisation végétale un espace plus stable et moins soumis aux flux de régénération. Cette idée, avancée notamment sur l'Ain, est discutable car la chronologie de l'incision et donc de l'augmentation des puissances brutes est distincte de celle de la recolonisation végétale. En outre sur le Giffre, la puissance brute augmente entre 1974 et 1984 à la suite de l'enfoncement du lit sans qu'il y ait un rajeunissement synchrone des marges du lit mineur. En fait, les deux phénomènes de dissipation de l'énergie, vertical et horizontal, ne sont pas ajustables car le mouvement est guidé par l'activité extractive. Les modifications du style fluvial enregistrées au cours des années 1970 confirment une réelle perturbation de la géométrie du lit. Depuis 1984, une recolonisation végétale est effectivement observée sur la bande active abandonnée par l'homme et aujourd'hui perchée par rapport au lit actif. L'ajustement biologique en cours semble toucher l'ensemble de cette ancienne bande active dans la mesure où la dissipation de l'énergie s'est faite verticalement. Par ailleurs, la restauration

partielle du profil en long grâce à l'arrivée d'une abondante charge et à la construction de seuils de fond, peut laisser penser que la rivière cherchera de nouveau à dissiper son énergie horizontalement.

Ainsi, la dissipation de l'énergie peut également se faire latéralement et conduire à une transgression minérale aux dépens de la ripisylve. Cette dynamique se conçoit assez bien en milieu naturel et explique l'extrême largeur de certains lits fluviaux. Dans les cas étudiés, l'enfoncement d'origine anthropique et la déconnexion induite des milieux riverains expliquent que la dissipation de l'énergie se fasse d'abord verticalement.

L'étude de la relation entre la variabilité diachronique de la puissance brute et celle de l'espace arboré riverain s'est révélée difficile car l'homme a exercé une action très importante sur la géométrie du lit des rivières. Deux tronçons ont cependant connu un ajustement biologique : la bande de tressage de l'Ubaye à l'amont de Barcelonnette et le Giffre dans sa section non endiguée.

La puissance brute peut être définie comme un descripteur de l'énergie potentielle d'un cours d'eau.

Si elle se réduit, à la suite d'une réduction de la pente par exemple, la rivière recherchera un nouvel équilibre entre la géométrie de son lit et les flux qui devrait se manifester par une réduction de la largeur du lit. Tel est le cas de l'Ubaye à l'amont de Barcelonnette. Ainsi, la puissance unitaire va s'accroître et l'énergie à nouveau en excès augmentera la capacité de transport nécessaire à l'évacuation de la charge. Ce phénomène dynamique à processus-réponse, relativement lent puisqu'il s'étale sur plus d'un demi-siècle, explique comment la rivière est capable d'exporter une charge en excès grâce aux mécanismes d'ajustement latéraux. La charge est rapidement stockée au moment d'épisodes de crues brefs mais déstockée plus lentement, exigeant en effet l'intervention de paramètres de contrôle tels que la dynamique végétale au pas de temps plus long. La bande de tressage constitue ainsi une zone tampon capable de ralentir les flux et de stocker temporairement la charge.

Si cette puissance augmente, la recolonisation végétale peut également être observée malgré une énergie disponible plus importante. Ce phénomène original, qui s'est manifesté sur le Giffre, ne peut être que ponctuel dans le temps et s'explique par le fait que la valeur de la puissance a été étudiée alors que l'ajustement des variables physiques à l'origine d'une érosion régressive et par conséquent de fortes pentes était en cours. Comme une partie de la bande active était perchée et donc moins soumise à l'hydraulité, elle a été le siège d'une recolonisation par la végétation. Ce phénomène a été possible car l'homme a favorisé l'érosion verticale tout en protégeant une partie de la bande active de l'érosion latérale.

Le développement des formations arborées dans la bande active n'est pas seulement une dynamique à réponse endogène, liée à une modification de la géométrie du lit. La progression de la végétation dans la bande active peut correspondre à une modification des flux hydriques et minéraux qui par ailleurs induisent une modification de la géométrie de la rivière.

### 3. Le rôle des flux dans le développement des formations arborées dans la bande active

La variabilité des flux liquides et solides peut conduire à un ajustement progressif ou régressif des marges boisées.

En effet le débit des rivières présente une fluctuation cyclique. J.L. Probst (1989) a déterminé des périodes hydroclimatiques majeures affectant l'Europe depuis le début du XIX<sup>e</sup> siècle. Il utilise pour cela le débit moyen annuel qui a été considéré par certains auteurs (Schumm, 1977) comme morphogène et qui lui semble le plus

approprié pour déterminer des tendances à long terme. Or, la modification des flux liquides et solides, dans les cours d'eau alluviaux à forte énergie, conduit à un ajustement de la géométrie du lit (Schumm, 1977; Starkel, 1983) et notamment de la largeur de la bande active.

La réduction des flux hydriques et minéraux peut dépendre de données anthropiques telles que la construction de barrages amont ou la modification de l'occupation du bassin versant et de données naturelles telles que la modification des apports atmosphériques. Par leur capacité à retenir la charge et les flux liquides en période de crue, certains barrages peuvent en effet considérablement modifier les conditions morphogénétiques existant sur un hydrosystème aval. Sur les cinq cours d'eau étudiés, l'Ardèche et l'Ain sont ainsi dans ce cas alors que sur l'Ouvèze ou l'Ubaye, aucun barrage amont ne vient perturber l'écoulement. Le Giffre dispose aussi d'un barrage qui influence largement les débits mais celui-ci se situe à l'aval du secteur d'étude (Taninges-Pressy). Sur ces trois dernières rivières, toute modification des écoulements dépend donc uniquement de l'évolution de l'occupation du bassin versant ou du régime des précipitations.

Une analyse diachronique des données hydrologiques est donc proposée. Le problème des changements externes aux tronçons sera ensuite plus largement développé avant d'aborder la relation entre la variabilité des flux et le développement des formations arborées dans la bande active.

## 3.1 La variabilité diachronique des flux

Il est admis que la géométrie du lit est façonnée par des débits de fréquence 1,5 à 5 ans. C'est pourquoi, il serait intéressant d'étudier des débits correspondant à une large gamme de fréquence. Néanmoins, compte tenu du nombre de rivières analysées, une telle démarche aurait alourdi encore l'analyse explicative. Aussi, l'exploitation diachronique des données hydrologiques reposera sur l'étude des débits maxima instantanés annuels. C'est en effet les crues annuelles qui régissent la géométrie du lit et la variabilité spatiale de la végétation riveraine.

Comme les données disponibles varient d'une rivière à l'autre, une analyse à la fois descriptive et explicative sera conduite successivement sur chacune d'entre elles.

### 3.1.1 L'Ain, une hydrologie modifiée par l'homme?

Sur l'Ain, les données hydrologiques sont relativement riches puisque des débits naturels (reconstitués) existent sur une longue période (1920-1987). Cette série met en évidence une disparition des pics de crue annuels supérieurs à 2000 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> à Chazey (fig. 74) dès 1958. Aussi, une rupture de tendance est marquée avant même la construction du réservoir écrêteur de crue de Vouglans.

Deux dates permettent de repérer l'influence des aménagements hydroélectriques sur les écoulements de la rivière d'Ain (EDF, 1990) :

- 1931 est l'année de la mise en service de la première centrale d'éclusée, Cize-Bolozon (fig. 75). La capacité utile de la retenue est limitée à 4,7 Mm<sup>3</sup>. Si celle-ci influence la répartition des régimes à l'intérieur de la période hebdomadaire, elle ne modifie pas les débits moyens mensuels aval. Les retenues d'Allement (1960, 3 Mm<sup>3</sup>) et de Coiselet (1970, 3,7 Mm<sup>3</sup>) exercent le même type d'influence.

- 1968 est l'année de la mise en service de la retenue de Vouglans dont la capacité utile de 420 Mm<sup>3</sup> permet un report saisonnier des apports et agit ainsi comme un écrêteur de crue. L'épisode du 15 février 1990, par exemple, démontre la capacité du réservoir à atténuer les crues exceptionnelles puisque Vouglans a absorbé en totalité le débit moyen journalier de 700 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>. Le débit moyen du 15 février à Chazey-sur-Ain a été de 1 740 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> avec un maximum de 1 900 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> qui aurait été de 2 600 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> si la retenue n'avait pas existé.



Néanmoins, ce barrage est soumis à des impératifs économiques de production énergétique qui limitent parfois sa capacité d'amortissement, la retenue pouvant être pleine lorsqu'arrive une crue importante. L'amortissement des débits est d'autant plus efficace qu'ils sont peu élevés et interviennent en début de saison pluvieuse (Malavoi, 1985). Il est donc probable que cet amortissement des crues ait réduit le rythme des phénomènes morphogénétiques. Par ailleurs, EDF (1990) affirme que le charriage des matériaux est très faible à l'amont des retenues. Celles-ci seraient donc faiblement soumises à l'engravement ou l'envasement. Ainsi, les vidanges, qui se font lentement pour réduire leur impact hydrologique et écologique et dont le but est uniquement de permettre les visites réglementaires des parties immergées des ouvrages, auraient peu d'incidences biologiques à l'aval. D'ailleurs J.P. Bravard (1991) note que la réduction de la charge de fond dans la basse vallée serait davantage due plus à l'impact des digues et des ouvrages de franchissement de la rivière qu'aux effets des barrages amont.

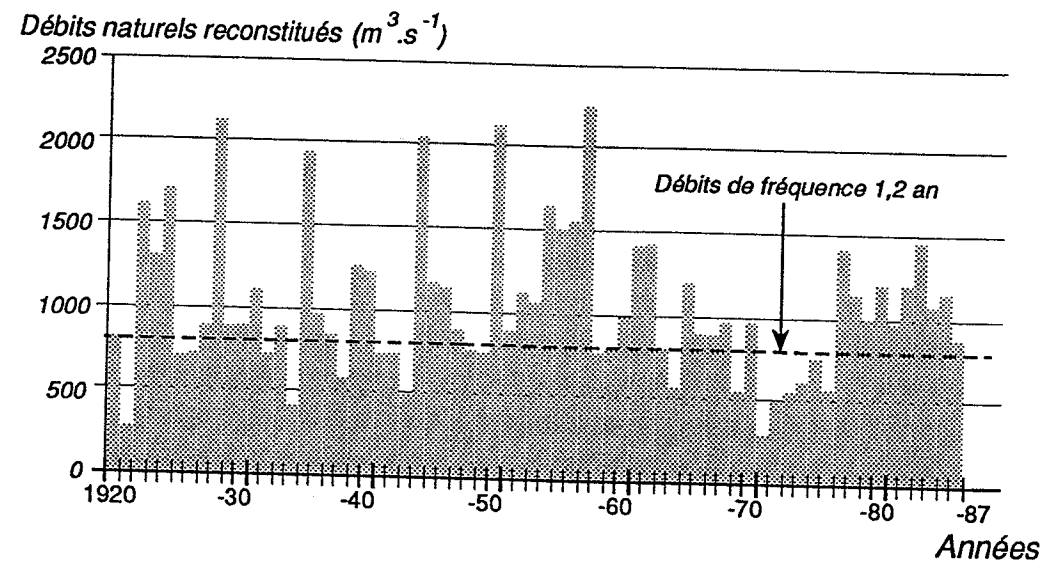


Figure 74 - Les pics de crue annuels naturels reconstitués de l'Ain à Pont-de-Chazey (1920-1987) (d'après P. Fagot et al., 1987).

Par conséquent, il est admis que ces aménagements ont réduit depuis 1968 les crues faibles et moyennes qui sont les plus actives dans le façonnement du lit. Par contre, les flux solides naturellement faibles n'ont été que très partiellement modifiés.

Sur cette rivière, la question est donc posée de savoir pourquoi est observée une réduction des pics de crue dès 1958. Deux interprétations peuvent être proposées :

- cette réduction peut correspondre à une modification climatique pluri-séculaire marquant l'émergence d'une période de moindre hydraulicité. Cette hypothèse fait alors référence au Petit Age Glaciaire. Néanmoins, la chronologie ne correspond pas puisqu'un siècle sépare la fin des deux événements. Le Petit Age de la Glace prend fin vers 1850 alors que la rupture observée sur l'hydrogramme de l'Ain date de 1948. Aussi, cette hypothèse est-elle rejetée.
- cette réduction des pics de crue peut également correspondre à un cycle hydrologique contemporain marqué par deux périodes distinctes aux limites connues avec imprécision étant donnée que la période représentée sur le graphique ne correspond pas à la totalité du cycle : 1920-1960 est une période plutôt humide alors que 1960-1987 serait plutôt une période sèche. Cette hypothèse est confirmée par le retour récent d'années à forte hydraulicité et caractérisées par des crues dépassant 1500 à 2000 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> à Chazey-sur-Ain en février 1990, février 1991 et septembre 1992.... Ces crues confirmeraient ainsi le début d'une nouvelle phase

humide. D'ailleurs, l'analyse des pics de crue à la station de Chazey-sur-Ain (banque HYDRO) (fig. 76A) montre une tendance à l'augmentation récente des pics de crue. La tendance linéaire donne un débit maximal annuel de l'ordre de 800 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> en 1960 contre 900 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> en 1990.

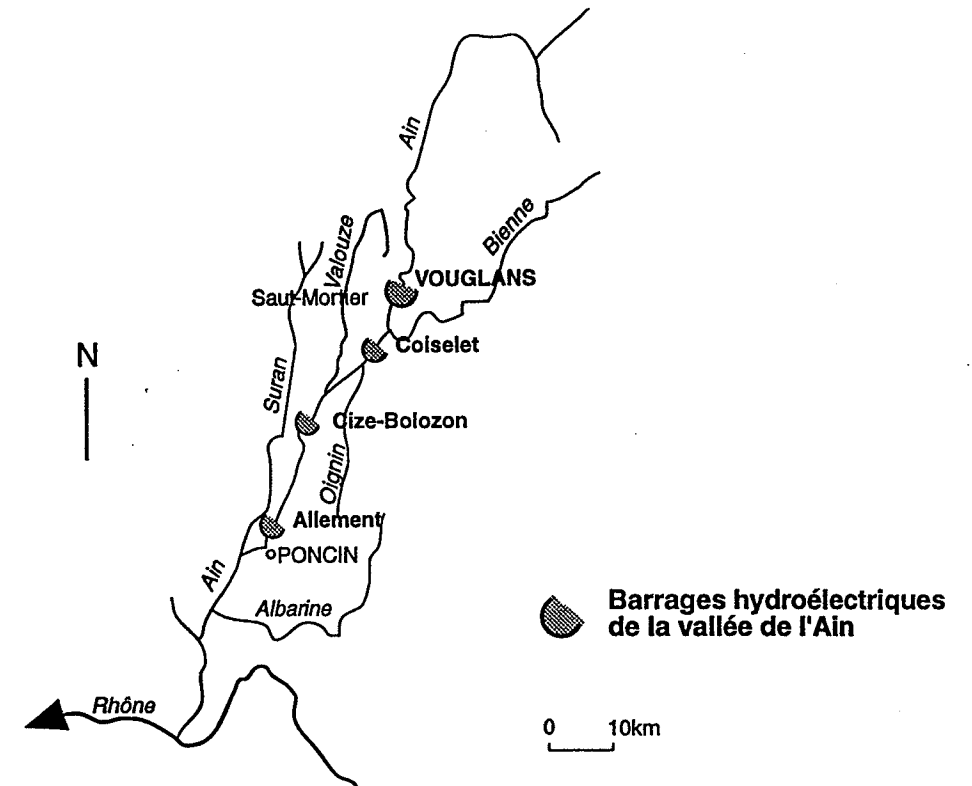


Figure 75 - Localisation des principaux barrages sur le cours supérieur de l'Ain.

La tendance observée depuis 1960 et renforcée après 1968 par l'effet écrêteur de Vouglans révèle une nette réduction des débits morphogènes jusqu'à la fin des années 1980, la décennie 1990 semblant à nouveau être caractérisée par une plus forte hydraulicité

### 3.1.2 L'Ardèche : une réduction des pics de crue depuis un siècle

La banque HYDRO ne permet pas une analyse chronologique au-delà des années 1950-60 (fig. 76B et C). Les trois stations hydrométriques susceptibles d'être intéressantes fonctionnent depuis peu (Vogüé, Sauze) ou ne sont pas exploitables (Vallon Pont d'Arc). La valeur des pics de crue relevée à Sauze (fig. 76C) subit une nette réduction de 1955 à 1989, le maximum estimé passant en moyenne de 1 650 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> en 1950 à 750 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> en 1990. Les années 1964-65, qui marquent la mise en service des premiers barrages sur le Chassezac, correspondent à une rupture brutale de la tendance précédente.

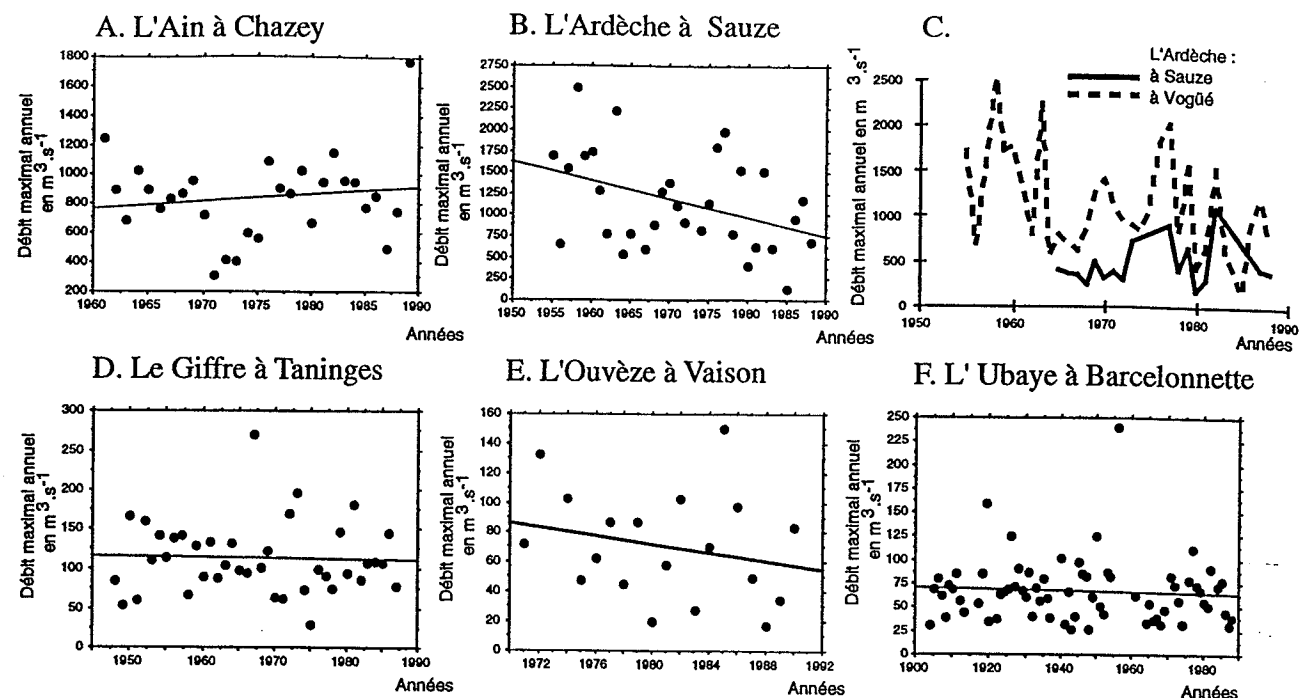


Figure 76 - Les débits maxima annuels des stations de la banque HYDRO.

Il existe de nombreux barrages sur le bassin versant de l'Ardèche. Deux complexes hydroélectriques peuvent intervenir dans la rétention des flux solides et liquides :

- Le complexe de Montpezat sur la haute Ardèche (la Fontolière), construit en 1954 est un ouvrage hydroélectrique de grande importance qui dispose d'une hauteur de chute de 628 m et d'une puissance moyenne de 305 GWh. Le débit total équipé est de  $26 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Néanmoins, le barrage de la Veyradère dispose d'une très faible capacité totale estimée à 0,5 millions de  $\text{m}^3$ . Aussi, cet ensemble ne peut pas être considéré comme un aménagement écrêteur de crue.
- Le complexe du Chassezac est constitué de plusieurs hydrocentrales telles que Beyssac (1964), Pied de Borne (1965), Lafigère (1967) et Les Salelles (1970). Avec une capacité de rétention de l'ordre de 50 millions de  $\text{m}^3$  (tab. 17), il dispose d'une influence plus importante sur les débits de crue. Si une station hydrométrique existe sur le Chassezac, elle ne date malheureusement que de 1970 et ne permet donc pas de mettre en lumière ce phénomène.

Si deux périodes hydrologiques sont clairement distinguées à la station de Sauze, cette modification ne touche qu'une infime partie de notre secteur d'étude puisque le Chassezac ne conflue avec l'Ardèche qu'à la hauteur de Sampzon.

Qu'en est-il alors à l'amont de Ruoms? Seule, la station de Vogüé peut nous renseigner. Malheureusement, la période de relevé (1965 - 1989) est très courte et ne permet aucun constat mais n'infirme pas les observations précédentes.

Compte tenu des documents disponibles, une approche historique a également été proposée. Elle s'appuie sur des données imprécises et éparées, parfois erronées, souvent d'accès difficiles. L'étude chronologique de séries hydrologiques anciennes a été cependant possible à l'échelle de Vallon-pont-d'Arc. Une synthèse des plus fortes crues connues a été effectuée par le service d'annonce des crues de l'Ardèche et la CNR à partir de documents anciens conservés aux Archives Départementales (rapports des ingénieurs hydrauliciens du XIX<sup>e</sup> siècle tels que de Mardigny, 1857 et 1860). Ces données ont été complétées par celles contenues dans la

thèse de M. Pardé (1925). Si la période 1910-1950 est assez peu connue, deux principales phases sont malgré tout comparables : 1850-1900 et 1950-1990. La variable retenue n'est pas le débit maximal instantané annuel mais la hauteur de la plus haute crue annuelle. Même si la section mouillée a pu varier au niveau de la station dans une moindre mesure car il s'agit d'une zone de gorges et même si les données ne sont pas exhaustives puisque l'histoire n'a retenu que les événements marquants, les hauteurs de crue (fig. 77) sont beaucoup plus basses aujourd'hui qu'au XIX<sup>e</sup> siècle et n'excèdent pas 14 m à cette station. Une modification des flux liquides serait ainsi constatée au cours de l'époque contemporaine.

La question des causes de cette modification est donc posée. Quel est en effet le rôle des barrages? Sur la figure 77, deux pics de crue ont été observés après 1950. Leur intensité est sensiblement la même et reste très en deçà de celle des crues du XIX<sup>e</sup> siècle. Le pic le plus ancien étant antérieur aux barrages, il est possible de rejeter l'hypothèse que les barrages sont les seuls responsables de la réduction contemporaine des pics de crue. Si leur rôle est important à l'aval de Ruoms il devient secondaire à l'amont, la principale mutation ayant alors seulement lieu à l'orée du XX<sup>e</sup> siècle.

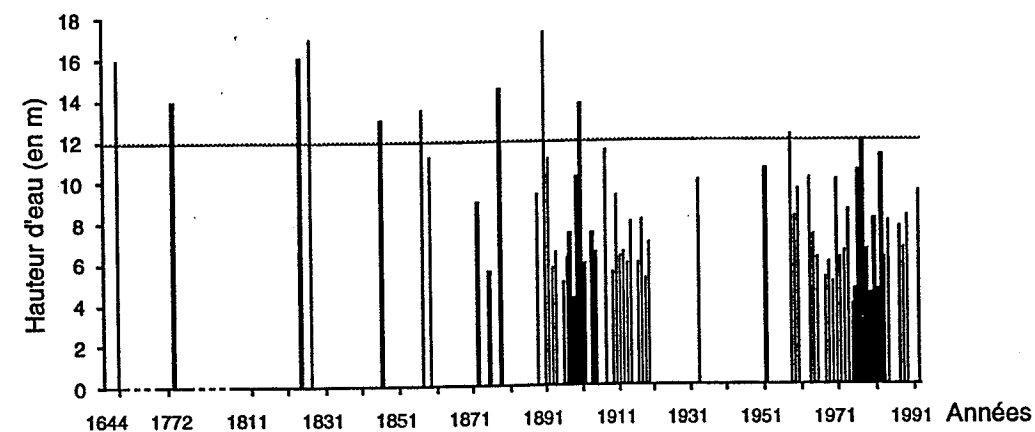


Figure 77 - Hauteur d'eau des plus fortes crues annuelles connues, l'Ardèche au Pont d'Arc, 1644-1992 (d'après des données de M. Pardé, 1925, de la DDE de l'Ardèche et de la CNR).

Tableau 17 - Les barrages sur le bassin versant du Chassezac

| Barrages et Rivières concernés     | Année de mise en service | Capacité utile (en millions de $\text{m}^3$ ) | Capacité totale (en millions de $\text{m}^3$ ) | Longueur de crête (en m) |
|------------------------------------|--------------------------|---|--|--------------------------|
| Roujanel sur la Borne              | 1964                     | 6,6   | 6,7  | 212                      |
| Villefort sur l'Altier             | 1964                     | 31,0  | 35,7   | 225                      |
| Sainte-Marguerite sur le Chassezac | 1966                     | 0,5   | 0,6  | 112                      |
| le Raschas sur le Chassezac        | 1964                     | 1,4   | 1,5  | 93                       |
| Malarce sur le Chassezac           | 1968                     | 3,4   | 3,7  | 111                      |

La réduction historique de la charge, admise par J.P. Bravard (1993), est également une question à résoudre. L'évolution du profil en long entre 1857 et 1920 pourrait effectivement le laisser penser puisque l'enfoncement du lit à l'amont des gorges de l'Ardèche lié à une érosion régressive ne peut en effet correspondre, compte tenu de l'époque, qu'à une réduction des transferts solides depuis l'amont. Deux causes ont donc été avancées pour expliquer ce phénomène :

- la fin d'une période de péjoration climatique, le Petit Age Glaciaire, qui était plus propice à l'exportation des sédiments de versants,
- une phytostabilisation du bassin versant liée à une modification de sa mise en valeur à la suite de l'exode rural de la fin du XIX<sup>e</sup> siècle.

### 3.1.3 Le Giffre : De fortes inondations au XIX<sup>e</sup> siècle

P. Mougin (1914) a recensé les crues du Giffre depuis la fin du XIII<sup>e</sup> siècle. Les années où cette rivière a "inondé la plaine" ou "débordé" (sans autres précisions) ont ainsi été comptabilisées (tab. 18). Le XIX<sup>e</sup> siècle apparaît comme le siècle le plus affecté.

La perte inéluctable de l'information historique au fur et à mesure que l'on remonte dans le temps peut induire une sous-estimation des données médiévales ou modernes. Néanmoins, la différence est si importante entre ces périodes et l'époque contemporaine qu'il paraît difficile de rejeter l'hypothèse d'un XIX<sup>e</sup> siècle globalement plus catastrophique. Sur les 16 années relevées par P. Mougin au cours de cette ultime période, une inégale distribution des événements est constatée, le début et la fin du siècle (1800-1820; 1870-1900) étant beaucoup plus affectés par l'inondation. Ces données ne sont pas disponibles au XX<sup>e</sup> siècle mais il est possible d'affirmer que la plaine du Giffre moyen n'a pas été inondée depuis plusieurs décennies. Or, l'incision n'explique cela qu'après les années 1970.

Tableau 18 - Les inondations du Giffre dans la plaine de Samoëns-Taninges : nombre d'événement par siècle (d'après P. Mougin, 1914).

| Siècles             | XIII <sup>e</sup> | XIV <sup>e</sup> | XV <sup>e</sup> | XVI <sup>e</sup> | XVII <sup>e</sup> | XVIII <sup>e</sup> | XIX <sup>e</sup> |
|---------------------|-------------------|------------------|-----------------|------------------|-------------------|--------------------|------------------|
| Nombre d'événements | 1                 | 0                | 1               | 1                | 4                 | 9                  | 14               |

La banque HYDRO permet par ailleurs d'aborder la variabilité des flux liquides entre 1945 et aujourd'hui (fig. 76D). Il existe statistiquement une très légère réduction des pics de crue au cours de cette période. Par ailleurs, l'observation des écarts au modèle montre que les minima et les maxima sont plus prononcés depuis 1970 que lors de la période précédente. Aussi, la très faible réduction générale des pics de crue et néanmoins l'apparition de quelques pics de crue plus élevés conduisent à mettre en évidence une faible modification des flux hydriques sur le Giffre depuis 1945.

### 3.1.4 L'Ouvèze : des données trop rares

Sur l'Ouvèze, les données hydrologiques disponibles n'ont été relevées que sur une période extrêmement courte. La banque HYDRO dispose d'un suivi depuis le début des années 1970 et les 19 maxima instantanés annuels ne permettent donc pas d'esquisser une tendance sur le long terme. Malgré tout, la période étudiée

correspond en partie à la phase de recolonisation végétale et une tendance à la réduction des pics de crue avant l'événement de 1992 peut être globalement reconnue (fig. 76E).

La tendance séculaire en revanche ne peut pas être étudiée faute de données. La DDE semble disposée de relevés très anciens. L'étude Merlin (1989) signale qu'une station hydrométrique située à Vaison et dépendant de la DDE, collecterait des données hydrologiques depuis 1838. Malheureusement, le technicien-hydrologue ne parvient pas à retrouver ces données dans les archives de la DDE du Vaucluse. Par ailleurs, il existe également des données sur les événements exceptionnels enregistrés depuis plusieurs siècles sur la rivière (Conseil Général des Ponts et Chaussées, 1992). Cependant, cette information trop qualitative ne permet pas de confirmer ou d'infirmer une tendance à long terme.

### 3.1.5 L'Ubaye : une probable périodicité des pics de crue au XX<sup>e</sup> siècle

Une précieuse série de débits maxima instantanés annuels, couvrant la période 1904 - 1990, est conservée dans la banque Hydro, l'année 1957 étant marquée par une crue de fréquence exceptionnelle. Hormis cet événement, la tendance démontre une légère réduction des pics de crue depuis le début du siècle, ceux-ci passant de 70 à 60 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> (fig. 76F). Une certaine périodicité des pics de crue est également observée. Cette évolution cyclique est caractérisée par une alternance de périodes caractérisées par des maxima (1919, 1957 et 1978) et des minima (1904, 1938, 1964 et 1988) séparées par des phases de transition. En revanche, aucune donnée ne permet de mettre en évidence une variation de l'hydrologie entre le XIX<sup>e</sup> et le XX<sup>e</sup> siècle.

Cette étude de l'hydrologie ne fait pas une étroite distinction entre les causes naturelles et les causes anthropiques, même si l'influence des barrages est étudiée plus précisément. C'est pourquoi, il convient maintenant de s'interroger sur les causes de la variabilité diachronique de l'hydraulité notamment à l'échelle de la période contemporaine. Néanmoins, beaucoup de précautions et de réserves sont nécessaires car les relations entre les phénomènes ne sont pas prouvées.

## 3.2. Les causes de la variabilité diachronique des flux

Une modification des conditions hydrologiques a été constatée entre les XIX<sup>e</sup> et XX<sup>e</sup> siècles sur l'Ardèche et le Giffre notamment. Certains auteurs mettent en évidence des causes naturelles. D'autres au contraire énoncent des raisons anthropiques : l'abandon et le reboisement spontané ou volontaire des montagnes auraient modifié les flux liquides et solides.

### 3.2.1 La variabilité naturelle de l'hydrologie

L'étude de J.L. Probst (1989) met en évidence une succession de phases sèches et de phases humides au cours des deux derniers siècles en Europe. Cinq périodes humides sont ainsi identifiées : 1840-50, 1870-80, 1910-40 et 1960-70. Néanmoins, il ne fait pas de réelles distinctions entre les deux siècles et les données sur lesquelles repose son analyse sont par ailleurs très rares avant 1850.

E. Le Roy Ladurie (1967) distingue au cours de la période historique 3 périodes de péjoration climatique : 400-750; 1150-1300 et 1550-1850. Ainsi, le XIX<sup>e</sup> coïncide-t-il avec un changement de tendance dans le climat.

Cet épisode climatique connu internationalement et appelé le Petit Age Glaciaire, est confirmé par des analyses polliniques. La question est de savoir dans quelle mesure, ce phénomène entre en jeu dans l'explication des modifications hydrologiques, des données anthropiques comme notamment la surexploitation des versants par des communautés rurales surpeuplées pourraient également expliquer ces modifications.

Les partisans des causes naturelles disposent d'arguments très importants. A. Douguedroit (1976) affirme par exemple que la disparition des catastrophes dans la deuxième moitié du XIX<sup>e</sup> siècle en Haute Provence est indépendante du reboisement. Les croyances collectives issues du XIX<sup>e</sup> siècle, au moment du seuil démographique, auraient beaucoup pesé sur notre mode de pensée. Le froid rigoureux et les multiples inondations durant les XVII<sup>e</sup> et XVIII<sup>e</sup> siècles auraient eu alors une grande influence sur les hommes. A. Douguedroit (1976) explique ainsi l'émergence de l'idée que le déboisement serait la cause de tous ces maux. Cet auteur note que la fin des grandes inondations intervient dès le milieu du XIX<sup>e</sup> siècle en Provence et qu'elle ne peut donc pas être liée aux travaux de reboisement. En effet le reboisement par plantation recouvre des surfaces importantes seulement après 1880 et n'a donc pas d'effets réels sur le ruissellement avant 1900.

Par ailleurs, la pinède est-elle vraiment efficace pour la protection des versants contre l'érosion? Le Pin noir d'Autriche a été introduit dans l'aire des pinèdes sylvestres comme forêt de protection par Demontzey au XIX<sup>e</sup> siècle. Un reboisement avec cette espèce a été effectué sur 26 500 ha dans les Alpes de Haute Provence. Cette formation monospécifique et ouverte offre peu d'obstacles au ruissellement. A. Douguedroit (1976) souligne que les inondations et les avalanches de 1948, 1958 et 1971 n'ont pas été atténuées par ces boisements. Le Pin noir crée un couvert mais sa reproduction est difficile. De plus, il n'a permis la reconstitution ni d'un sous-bois ni d'un sol depuis sa plantation et le renouvellement naturel n'est pas assuré en cas de coupe. En outre, les Pins noirs ne peuvent jamais jouer un rôle équivalent à celui des forêts de sapins ou de feuillus riches en sous bois et en sols profonds. Ils n'opposeraient pas plus d'obstacles aux eaux que le Pin sylvestre.

Exceptés peut-être ces espaces reboisés volontairement, il est également admis que la modification de l'occupation historique du bassin versant à l'échelle de plusieurs décennies peut avoir une influence réelle sur les flux liquides et solides (Néboit, 1983; Bravard, 1993; Arnaud-Fassetta *et al.*, 1993). Aussi, une analyse des révolutions agricole et sylvicole des bassins versants à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle est proposée.

### 3.2.2 Les révolutions agricole et sylvicole des bassins versants

L'étude des révolutions agricole et sylvicole a été abordée à l'échelle de la période contemporaine. Beaucoup d'auteurs ont travaillé sur ce thème et des écoles de pensée se sont affrontées notamment dans la première partie du XX<sup>e</sup> siècle (Gautier, 1992).

Le déboisement lié à l'homme et aux animaux est vigoureusement dénoncé par différents auteurs au cours des XIX<sup>e</sup> et XX<sup>e</sup> siècles. M. Baudrillart (1831) note que ce phénomène a entraîné la terre végétale et stérilisé les montagnes, réduit les eaux de source et accru les eaux de surface, favorisé torrents et avalanches, bouleversé les terrains agricoles. Il dénonce les trop nombreuses coupes de bois et préconise un reboisement des montagnes. De plus, T. Sclafert (1933a et b, 1934) s'élève contre ceux qui affirment que la nudité des Alpes du sud s'explique uniquement par des conditions naturelles que l'homme est impuissant à modifier et montre, à travers une fine analyse des archives :

- la lente mais efficace politique d'essartage au cours de l'époque moderne,
- le rôle du bétail et du vignoble,
- l'émergence de cultures qui remplacent les zones de bois au cours des XIII<sup>e</sup>-XVI<sup>e</sup> siècles et qui s'implantent par exemple au dessus de 1100 m sur les communes des Thuiles ou de Revel dans la vallée de l'Ubaye.

L'auteur montre également la prise de conscience progressive par la collectivité des ravages causés par cette évolution.

Une politique de reboisement était ainsi prônée par de nombreux auteurs durant le XIX<sup>e</sup> siècle. L'ouvrage de A. Surell (1870) fit référence. Dans son étude sur les torrents des hautes Alpes, il émit quatre axiomes très largement repris et intégrés à la culture technique des ingénieurs de l'époque :

- la présence d'une forêt sur un sol empêche la formation des torrents,
- la destruction d'une forêt livre le sol en proie aux torrents,
- le développement des forêts provoque l'extinction des torrents,
- la chute des forêts revivifie les torrents éteints.

L'Etat reconnut l'importance de cette démarche et la loi du 28 juillet 1860 instaura le service RTM (Restauration des Terrains en Montagne) qui eu en charge de mener la politique de reboisement des versants soumis à l'érosion. D'importantes réflexions furent ensuite conduites sur les techniques de plantation, sur les essences à préconiser en fonction de l'altitude, de la pente... (Demontzey, 1882; Lavaudan, 1933..).

La Loi du 28 juillet 1860 sur la restauration des terrains en montagne prévoyait la création de périmètres de reboisement obligatoires dans les secteurs les plus menacés. L'hostilité des populations de montagne atteintes dans leurs ressources ralentit l'action de l'Etat et les Lois du 18 juin 1864 sur le gazonnement des montagnes et du 4 mars 1882 sur la restauration et la conservation des terrains en montagne corrigèrent et atténuèrent la loi de 1860. Considérées comme de véritables chartes de gestion des terres d'altitude, elles reprirent les dispositions de la Loi de 1860 mais limitèrent leur extension aux terrains "où le danger est né et actuel". Les travaux restèrent entièrement à la charge de l'Etat (Chondroyannis, 1992).

Différents auteurs ont étudié ces dernières décennies la déforestation et ses conséquences sur les débits. Déjà en 1967, certains auteurs indiquaient que l'augmentation du débit d'un cours d'eau est proportionnelle à l'augmentation du taux de déforestation de son bassin versant (Harr, 1980). Par ailleurs, le volume de crue peut augmenter, décroître ou rester stable. Différentes études scientifiques ont montré pourtant que la forêt notamment, influe sur le débit et la charge des cours d'eau (Agence de l'Eau Seine Normandie, 1979). Au printemps, elle atténue et étale dans le temps les pics de crue car la rétention nivale y est plus longue; le tapis neigeux peut en effet persister 3 à 5 semaines de plus sous forêt. La forêt est également capable d'intercepter 3 à 5% des précipitations, les résineux présentant d'ailleurs une aptitude plus grande que celle des feuillus. Le couple sol forestier - forêt joue enfin un rôle d'éponge, la litière ayant par exemple une forte porosité, et favorise l'infiltration et la rétention des précipitations.

La forêt régularise le régime hydrologique en retardant la fonte des neiges et en transformant le ruissellement en écoulement hypodermique, influe sur la charge et favorise une réduction des glissements de terrain et de l'érosion diffuse.

Par conséquent, il apparaît nécessaire d'étudier l'évolution de l'occupation du bassin versant des rivières d'étude au cours de l'époque contemporaine. Cette démarche se limitera à la forêt, celle-ci étant le principal indicateur d'une possible variation des pics de crue. Une étude historique de l'évolution du taux de boisement dans le cadre des bassins versants sera donc proposée à partir de données cadastrées actuelles et anciennes. L'Ain a été écarté de l'étude compte tenu de la trop grande dimension de son bassin.

#### 3.2.2.1 L'exploitation des statistiques cadastrales : difficultés et méthodologie

Les surfaces boisées au XIX<sup>e</sup> siècle ont été comparées à celles d'aujourd'hui. Ces données ont été collectées sur les différents cadastres. Le plus ancien donne une image très fine de l'occupation du sol des communes dans la première partie du XIX<sup>e</sup> siècle. Chaque parcelle et son contenu sont identifiés et les

superficies sont exprimées en hectare. L'information historique est comparée aux données actuelles issues de l'Inventaire Communal de 1988 (fiche "aménagement et territoire") qui est établi non pas à partir des exploitations agricoles comme le Recensement Général Agricole mais à partir du cadastre communal.

Seul l'ensemble des intitulés "bois", toutes classes agronomiques confondues, a été retenu car il est recensé aux deux dates. Les landes n'ont en revanche pas été étudiées car elles n'existent pas dans l'Inventaire Communal. Les données semblent significatives mais une grande prudence doit être observée car les intitulés peuvent varier d'une commune à l'autre. Aux cotés de la classe "bois", il est possible de trouver sur l'Ancien Cadastre les termes de "bois et taillis" ou "bois et futaies" et parfois "bois hêtre", "bois taillis et chêne", "bois hêtre taillis" et "pins, bois sapins", "bois châtaigneraie".... Quelquefois des contradictions apparaissent sur le cadastre d'une même commune. Deux rubriques étaient par exemple intitulées respectivement "bois chêne" et "bois chêne et bois taillis" sur une des communes du bassin de l'Ardèche. L'information a heureusement été synthétisée dans la rubrique "Résumé Général des Sections" qui se trouve au début ou à la fin de l'Etat des sections ou dans la rubrique "Récapitulation des Contenances et des Revenus imposables" située au début de la première matrice des propriétés foncières. Parfois, un volume supplémentaire récapitule les données par types de culture. Néanmoins, certains cadastres très altérés n'ont plus ces éléments et il convient alors de sommer les résultats section par section.

La question de la fiabilité des données actuelles peut se poser également. La cartographie effectuée sur le secteur de l'Ubaye a mis en évidence une commune sur laquelle la superficie boisée se réduisait nettement entre les deux dates, passant de 657 à 224 ha. Cette évolution, trop distincte de celle de la vallée, était erronée puisque les Services du cadastre estimaient, dans un récent récapitulatif par types de culture, le boisement de la commune à 1247 ha.

L'ensemble de ces données étant collecté, l'objectif sera de présenter une cartographie analytique et diachronique des surfaces boisées au milieu du XIX<sup>e</sup> siècle et en 1988. Le taux d'accroissement sera également spatialisé.

Deux problèmes se sont posés lors de l'étude comparative. Le premier concerne la modification de la superficie de certaines communes au cours du temps. Aussi, lorsque l'écart de la superficie communale entre les deux dates est faible (quelques pourcents), les taux de boisement ont été pondérés par la superficie de la commune. Par contre, lorsque l'écart est fort, la commune a été écartée de l'analyse car elle est cartographiée dans son extension actuelle et la validité de la comparaison est donc douteuse même avec des données pondérées. En effet, ce n'est plus le même espace qui est comparé et comme la localisation des bois peut considérablement varier au sein d'une commune, la partie cédée par celle-ci à sa voisine peut disposer d'un fort ou d'un faible pourcentage de bois mais rarement d'un pourcentage moyen. Le second problème concerne la date d'élaboration du cadastre qui peut osciller, selon les communes, de 1808 à 1920-23.

La représentation a été effectuée par cartographie automatique. La trame ainsi que les superficies actuelles des communes ont été extraites du CD Atlas de France publié par Argo Infographie et le GIP Reclus (CHF: Chadwyck - Healey, Paris, France) ce qui a permis un gain de temps très important puisque la phase de dessin a été évitée.

Outre les cartes de base, deux cartes annexes ont également été proposées afin de nuancer les évolutions observées. La première présente la variable "date de levé du cadastre" alors que sur la seconde sont identifiées les communes dont la superficie a largement varié entre les deux dates.

### 3.2.2.2 Le bassin versant de l'Ardèche

L'étude du cadastre ancien s'est révélée plus difficile sur ce secteur que sur les autres. La population étudiée est plus importante (78 communes) et comme sur certaines d'entre elles les données récapitulatives n'ont pas toujours été conservées, il a alors été nécessaire de comptabiliser les résultats section par section. C'est sur ce bassin que les superficies communales et les intitulés (bois, bois chêne..) ont le plus varié. Par

ailleurs, Tauriers et Largentière par exemple constituaient deux communes distinctes au XIX<sup>e</sup> siècle puis elles se sont associées et récemment dissociées ce qui fait que la carte elle-même n'était pas à jour. D'autre part, la présence de la châtaigneraie a réduit l'intérêt d'une telle analyse des surfaces boisées car cette occupation originale du bassin n'a été distinguée qu'au XIX<sup>e</sup> siècle. En 1988, la question était de savoir s'il fallait considérer qu'elle était ou non incluse dans la rubrique "bois". En revanche, des statistiques agricoles annuelles (questionnaires communaux) concernant les récoltes des années 1919 et 1940 (Archives Départementales de l'Ardèche, 12M217, 12M218, 12M219 et 12M298) ont été retrouvées et ont ainsi permis d'étudier deux dates intermédiaires entre le XIX<sup>e</sup> siècle et aujourd'hui.

L'étude du bassin versant de l'Ardèche n'a été abordée qu'à l'amont de la confluence avec la Beaume (fig. 78A). En effet, la variabilité spatiale de la ripisylve concerne essentiellement le tronçon de l'Ardèche à l'amont de cette confluence. Par ailleurs, le nombre de communes à traiter, est déjà très important et de nombreuses communes encore se partagent les bassins de la Beaume et du Chassezac.

La date d'élaboration des anciens cadastres oscille entre 1808 et 1913 dans l'Ardèche. Seuls 4% d'entre eux sont postérieurs à 1855 et 63% datent de 1830-33 (fig. 78B). La moyenne s'établit à 1831 et une distinction est faite entre les communes de montagne où le levé est postérieur à 1829 et les communes de piémont où le levé est effectué entre 1811 et 1827. La variabilité des superficies a été étudiée pour chacune des 4 périodes afin d'identifier les comparaisons aléatoires. Une dizaine de communes disposent ainsi d'une superficie variable (fig. 78C). Ce facteur limitant n'est pas plus élevé pour la période XIX<sup>e</sup> - 1988 que pour les autres périodes. Le problème se pose surtout pour Burzet, Mayres, Thuetz et Meyras. Néanmoins, la superficie totale du bassin versant varie assez peu d'une période à l'autre, 1940 faisant exception dans la mesure où 5 communes manquent (tab. 19).

L'étude statistique effectuée sur les valeurs globales (tab. 19) montre une réelle recolonisation végétale entre le XIX<sup>e</sup> siècle et 1988, le taux de boisement passant de 12% à 26% avec une valeur intermédiaire de 17,5% pour l'entre-deux-guerres. La croissance serait donc globalement de 100%.

Si l'on ne retient que les données statistiques brutes, le taux de boisement présente une évolution positive. Néanmoins, si les châtaigneraies et les landes sont prises en compte, cette évolution doit être nuancée. Le cadastre ancien distingue les classes "bois" et "châtaignier". Si la valeur de ces deux rubriques est sommée, 35 000 ha seraient boisés au XIX<sup>e</sup> siècle contre 26 000 ha aujourd'hui. Aussi, plusieurs questions se posent. Le descripteur "bois" est-il vraiment approprié dans ce secteur? La châtaigneraie dispose-t-elle d'une aptitude à retenir les flux hydriques et solides inférieure à celle d'un bois? Par ailleurs, l'étude de l'évolution de la lande entre le XIX<sup>e</sup> siècle et 1940 ne clarifie pas les résultats, le taux passant de 29,9 à 30,9% de la superficie entre les deux périodes.

Apprécier cette évolution à travers d'autres descripteurs est malheureusement difficile à envisager compte tenu de la nécessité d'avoir des données comparables. La superficie boisée est la seule donnée cadastrale actuelle et passée. Toutes les données agricoles disponibles aujourd'hui et notamment les superficies de landes ("friches et landes non productives") comptabilisées dans le RGA ont pour individus les exploitations et non les communes. Cette comptabilisation pose par ailleurs de sérieux problèmes lorsqu'il s'agit d'étudier l'évolution de la friche (Mergoil et Roudie, 1991). En effet, les surfaces abandonnées non rattachées à une exploitation échappent au champ de la statistique agricole. Si une surface exploitée est non rentable et non reprise par un autre exploitant, elle disparaît du champ de l'enquête.

Les taux d'accroissement des superficies boisées ont été étudiés période par période et commune par commune. Le tableau 20 présente une distribution des communes (en %) selon le type d'évolution de leur superficie boisée au cours d'époque contemporaine. Les trois signes successifs désignent l'évolution positive (+) ou négative (-) des superficies boisées aux cours des périodes XIX<sup>e</sup>/1919, 1919/1940 et 1940/1988.

Aucune évolution claire n'est mise en évidence. Seules 13,9% des communes ont une croissance positive et continue de leur superficie boisée. Une évolution totalement négative n'est par contre jamais observée. Les résultats permettent de penser qu'il est difficile d'affiner l'analyse à l'échelle communale. Les recensements de 1919 et 1940 n'ont sans doute donné qu'une estimation sommaire des ressources en bois alors que les superficies des communes étaient peu erronées. Sur certaines communes, les superficies boisées sont réduites à quelques hectares ce qui explique que les classes ++ et surtout +++ représentent respectivement 12,7 et 27,8% des communes. Ces deux recensements, effectués en période de guerre, étaient utilisés pour estimer les ressources agricoles potentielles pouvant être mises à la disposition de l'effort collectif. Aussi, cette situation a sans doute conduit un certain nombre de communes à sous-estimer leur ressource.

Tableau 19 - Variation de la couverture forestière du bassin versant de la moyenne Ardèche au cours des XIX<sup>e</sup> et XX<sup>e</sup> siècles (d'après le cadastre napoléonien, les statistiques agricoles annuelles des années 1919 et 1940 et l'Inventaire Communal de 1988).

|                          | Superficie du bassin versant (en ha) | Superficie de la forêt (en ha) | Taux d'occ. forestière (en % de la sup. totale) | Superficie de la forêt (chat. incl.) (en ha) | Superficie de la lande (en ha) | Superficie de la lande (en % de la sup. totale) |
|--------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|---|--|--------------------------------|---|
| XIX <sup>e</sup> siècle* | 111051                               | 13111                          | 11,9  | 35115  | 33206                          | 29,9  |
| 1919                     | 102197                               | 18154                          | 17,3  | -  | 27164                          | 26,6  |
| 1940**                   | 92191                                | 16630                          | 18,0  | -  | 28486                          | 30,9  |
| 1988                     | 104331                               | 26172                          | 26,4  | -  | -                              | -   |

\* cadastres levés entre 1808 et 1913 (moyenne des 78 communes : 1831).

\*\*cinq communes manquent.

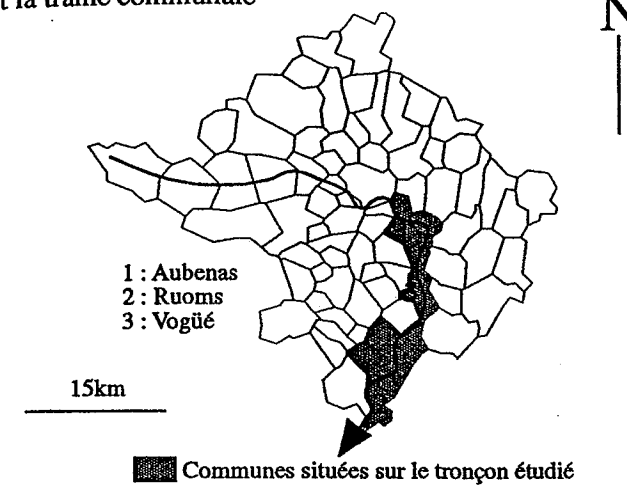
Tableau 20 - Analyse de l'évolution positive (+) ou négative (-) du boisement communal entre différents recensements forestiers : fréquence des communes par type d'évolution (d'après le cadastre napoléonien, les statistiques agricoles annuelles des années 1919 et 1940, l'Inventaire Communal de 1988).

| Evolution globale | non rens. | --- | --   | -    | +   | ++   | +++  | +++  |
|-------------------|-----------|-----|------|------|-----|------|------|------|
| fréquence (%)     | 6,3       | 6,3 | 15,2 | 12,7 | 5,1 | 27,8 | 12,7 | 13,9 |

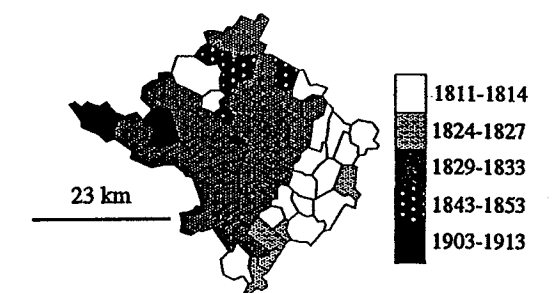
NB : les évolutions successives sont : 1. XIX<sup>e</sup>/1919, 2. 1919/1940 et 3. 1940/1988.

Compte tenu des remarques concernant les années 1919 et 1940, l'étude cartographique communale a été limitée aux deux périodes extrêmes. Les figures 78D montrent une réelle augmentation du taux de boisement. Si les zones de piémont (secteur Sud-Est) semblent peu touchées, le taux d'accroissement étant voisin de 50 à 200%, la région cévenole des Serres enregistre par contre une explosion de ce taux qui peut être multiplié par plus de 50. Ces constatations sont à nuancer en fonction de la répartition des 22 000 ha de châtaigneraies (fig. 78E). Le taux de boisement du XIX<sup>e</sup> siècle le plus élevé, châtaigniers inclus, caractérise davantage la région nord du bassin que la région des Serres. Or, c'est dans cette dernière région que la croissance du boisement a été la plus positive. Ces deux remarques indiqueraient donc que le reboisement observé statistiquement aurait réellement eu lieu dans une partie au moins du bassin indépendamment de l'évolution de la châtaigneraie. La différence entre la superficie boisée actuelle et la superficie boisée au XIX<sup>e</sup> siècle, châtaigniers inclus, est nettement négative ce qui signifie que le taux de boisement, si l'on intègre la châtaigneraie, seraient en

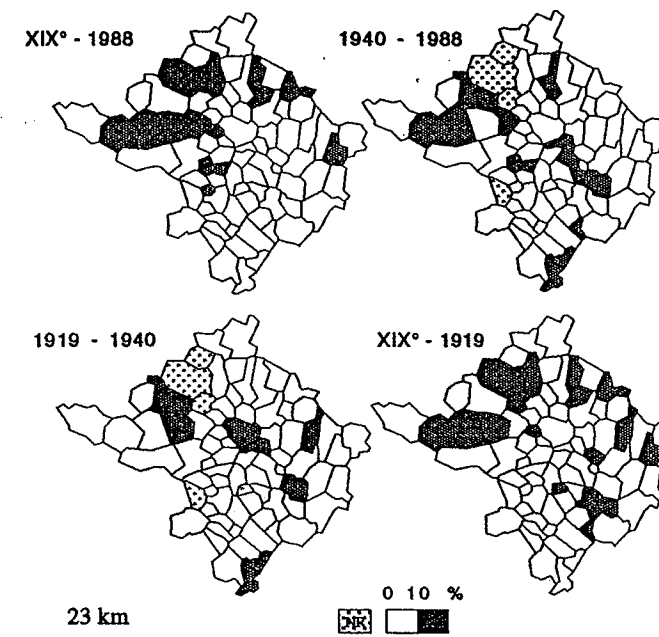
A. Le bassin versant de la moyenne Ardèche et la trame communale



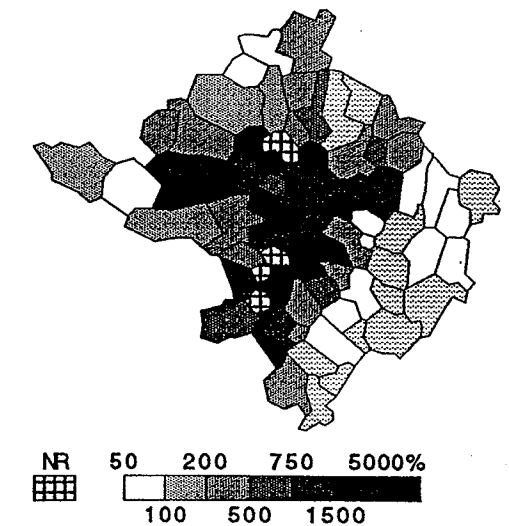
B. Date du levé du cadastre



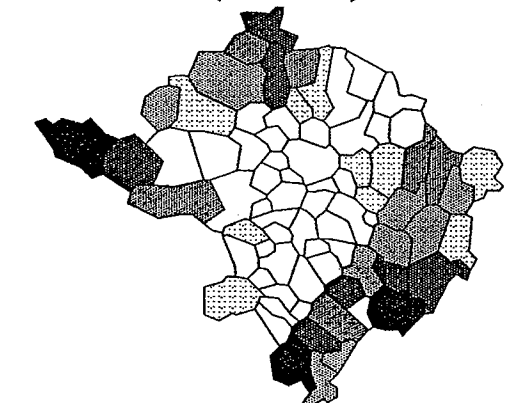
C. Variation de la superficie communale



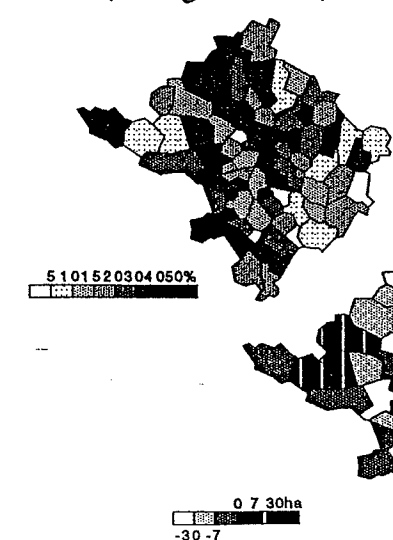
D. Taux d'accroissement de la superficie boisée entre 1808-1913 et 1988



E. Taux de boisement au XIX<sup>e</sup> siècle (1808-1913)



E. Taux de boisement au XIX<sup>e</sup> siècle (châtaignier inclus)



F. Différence entre la superficie boisée du XIX<sup>e</sup> siècle (chat. inclus) et celle de 1988

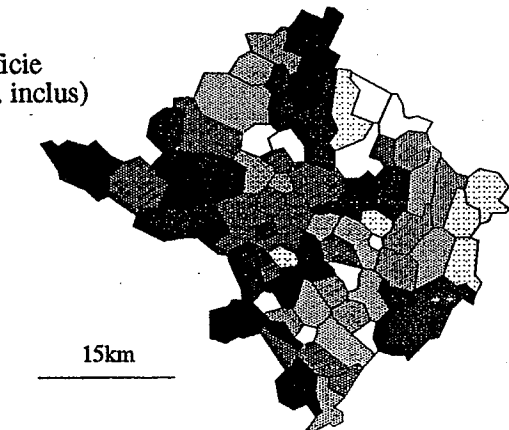


Figure 78 - Evolution contemporaine des superficies boisées cadastrées, communes du bassin versant de la moyenne Ardèche, XIX<sup>e</sup> et XX<sup>e</sup> siècles (d'après le cadastre napoléonien, les statistiques agricoles annuelles des années 1919 et 1940 et l'Inventaire Communal de 1988).

régression. Aussi, la question à laquelle nous n'avons pas encore pu répondre est de savoir comment se distribue la superficie des bois et des châtaigneraies du XIX<sup>e</sup> siècle entre les rubriques "bois" et "landes". En revanche, dans la région des Serres, la différence est positive. Indépendamment du châtaignier, les bois auraient donc progressé sur les communes de Chassiers, d'Ailhon... (fig. 78F).

Aussi, compte tenu de ces remarques, nos conclusions seront prudentes. Le taux de boisement le plus fort individualise une région qui n'est pas la zone des châtaigneraies. Celles-ci sont plutôt représentées dans le secteur nord comme sur les communes de Burzet, Laviolle, Antraigues... La régression observée est surprenante et sans doute infondée. Il est en effet admis que les montagnes ardéchoises ont été soumises à une intense recolonisation végétale par enrichissement et boisement (Bravard, 1993). P. Bozon (1961) affirme également que l'agriculture a reculé au cours du XIX<sup>e</sup> siècle au profit des landes et des forêts.

### 3.2.2.3 Le bassin versant du Giffre

Un règlement royal du 7 août 1723 interdit dans tout le duché de Savoie la coupe de futaies. En effet, le problème de la déforestation était alarmant. Les Royales Constitutions Sardes du 11 juillet 1729 prohibent l'exploitation et le résinage des arbres de futaies, les défrichements et la sortie du territoire de quelque espèce de bois que ce soit. Néanmoins, aucun service de surveillance n'existait et à la veille du XIX<sup>e</sup> siècle, le pillage des forêts était général (Mougin, 1914).

Selon cet auteur la déforestation de la plupart des forêts non soumises a été continuée jusqu'en 1914. De 1735 à 1908, la forêt de Savoie a perdu 17% de son étendue. Sur les cantons de Samoëns et de Taninges, les pertes ont été beaucoup plus faibles (de l'ordre de 3%), la forêt étant passée de 4 984 ha et 4 339 ha en 1735 à 4 761 et 4 284 ha en 1908. Les données concernant le seul bassin versant du Giffre (Mougin, 1914), confirment ce faible mouvement puisque la forêt serait passée de 10 800 ha en 1730 à 10 050 ha (22% de la superficie totale) en 1914, la réduction étant donc estimée à 4,2%.

A partir du XX<sup>e</sup> siècle, l'évolution s'est inversée et une progression du boisement a été observée. Une étude de l'évolution du couvert forestier au cours du XX<sup>e</sup> siècle dans le bassin versant du Giffre a été conduite sur 14 communes à partir des données cadastrales.

Le levé du cadastre est tardif et s'étend de 1872 à 1923 (fig. 79A) sans logique géographique apparente. La variabilité des superficies communales entre les deux périodes est nulle (fig. 79B) ce qui permet une très bonne comparaison et par ailleurs, les cadastres ont été levés avec une bonne précision et sont parfaitement conservés.

Le tableau 21 montre une croissance globale du boisement de +12,4% au cours du XX<sup>e</sup> siècle, avec un taux passant de 28,6 à 32,6% du bassin. Si cette croissance est positive sur toutes les communes, elle présente cependant une forte disparité spatiale puisqu'elle n'est que de 0,3% à Samoëns contre 38,3% à Saint-Sigismond (fig. 79C).

Elle ne touche que modérément les secteurs situés à l'amont du tronçon étudié. La commune de Sixt, la plus amont et la moins boisée, enregistre un faible taux d'accroissement, la superficie boisée passant de 20 ha en 1913 à 23,5 ha en 1988. La partie aval est en revanche plus boisée. Cette différence, qui existait déjà au début du siècle, s'est donc aujourd'hui accentuée.

Ce boisement semble être une initiative avant tout privée. En Savoie, malgré les ravages causés par les inondations, P. Mougin (1914) explique qu'aucun travail de reboisement ou de gazonnement n'aurait été déclaré d'utilité publique d'après les dispositions des lois de 1860 et 1864. Il aurait malgré tout existé des reboisements privés et communaux aidés par des subventions de l'Etat et du département en vertu des articles 1 et 2 de la Loi de 1860. Cet auteur semble se contredire car il explique plus loin, qu'il existe un périmètre de

restauration de l'Arve et que des corrections de torrents sont engagées et déclarées d'utilité publique par la loi du 27 juillet 1898. L'Etat est devenu propriétaire de quelques périmètres en danger à la suite de l'érosion torrentielle. En 1912, la commune de Samoëns a cédé par exemple 79 ha de terrains dans le bassin du Clévieux. Sur les 3 007 ha de ce secteur, 500 étaient en bois et la surface à restaurer d'après la Loi n'était que de 50 ha. Sur le Foron, la Loi déclarative d'utilité publique n'a concerné que 29 ha, soit seulement 0,56% du bassin (Mougin, 1914).

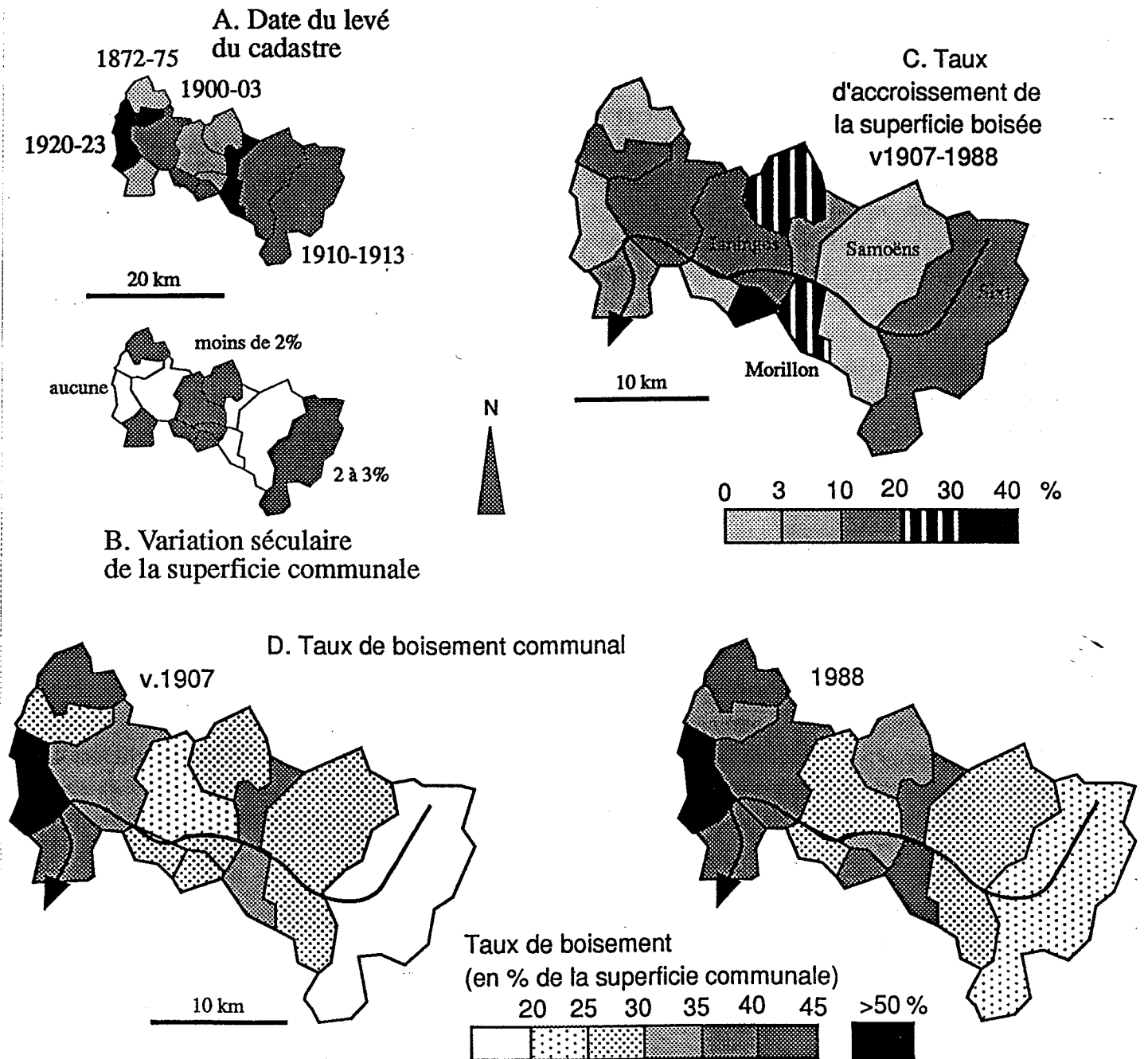


Figure 79 - Evolution des superficies boisées cadastrées au cours du XX<sup>e</sup> siècle, communes du bassin versant du Giffre moyen (d'après le cadastre ancien et l'Inventaire Communal de 1988).

Tableau 21 - Variation de la couverture forestière du bassin versant du Giffre au cours du XX<sup>e</sup> siècle (d'après le cadastre ancien et l'Inventaire Communal de 1988).

|       | Superficie du bassin versant (en ha) | Superficie de la forêt (en ha) | % de la forêt dans le bassin versant |
|-------|--------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|
| 1907* | 46 531                               | 13 325                         | 28,63                                |
| 1988  | 45 955                               | 14 978                         | 32,60                                |

\*Cadastrés levés entre 1872-1923 (moyenne: 1907, 86% d'entre eux étant levés entre 1900 et 1923).

L'action du RTM aura eu pour effet de réduire le charriage du Giffre. Les "Eaux et Forêts" se proposèrent en 1914 non seulement de reboiser le bassin de réception du Clévieux mais encore de corriger le lit par un élargissement et la construction d'ouvrages en gradins. En 1909 étaient déjà construits 7 barrages rustiques dans la gorge et 2 grands barrages en maçonnerie. Sur la Valentine, aucune action de défense ou de reboisement n'a été exécutée dans le bassin de réception mais en 1903, une digue longue de 235m était construite du côté de Samoëns en amont du pont de la route départementale. En 1909, une seconde digue de 243 m était construite en rive droite. A l'aval du pont, le lit du torrent est alors resserré entre deux perrés long de 170m. Le Foron de Taninges a également été endigué au niveau du cône de déjection en 1842 à l'aval de Taninges et dans Taninges en 1857 en rive droite et en 1859 en rive gauche. En revanche, aucun travail de correction n'a été conduit dans la montagne.

Ainsi, le service RTM a entrepris une politique de reboisement dans les bassins de réception des torrents affluents du Giffre moyen. Des ouvrages transversaux de type seuil dans les chenaux torrentiels ont également été construits afin de réduire les affouillements de berges, réduire la vitesse de l'eau... (Rousset-Mestrallet, 1986) et finalement les flux solides.

### 3.2.2.4 Le bassin versant de l'Ouvèze

L'évolution des superficies boisées des communes du bassin versant de l'Ouvèze (fig. 80A) a été étudiée entre la première moitié du XIX<sup>e</sup> siècle et 1988.

Une forte colonisation par les formations arborées est observée sur le haut bassin puisque le taux de boisement, qui était de 20,6% en 1831, atteint 33,2% en 1988 (tab. 22). La croissance est donc estimée à +65% ce qui représente un gain de terrains boisés de 111 km<sup>2</sup>.

Tableau 22 - Variation de la couverture forestière du bassin versant de l'Ouvèze au cours des XIX<sup>e</sup> et XX<sup>e</sup> siècles (d'après le cadastre napoléonien et l'Inventaire Communal de 1988).

|                          | Superficie du bassin versant (en ha) | Superficie de la forêt (en ha) | % de la forêt dans le bassin versant |
|--------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|
| XIX <sup>e</sup> siècle* | 83 370                               | 17 190                         | 20,6                                 |
| 1988                     | 85 200                               | 28 290                         | 33,2                                 |

\*Cadastrés levés entre 1809-1837 sur les 46 communes (moyenne: 1831).

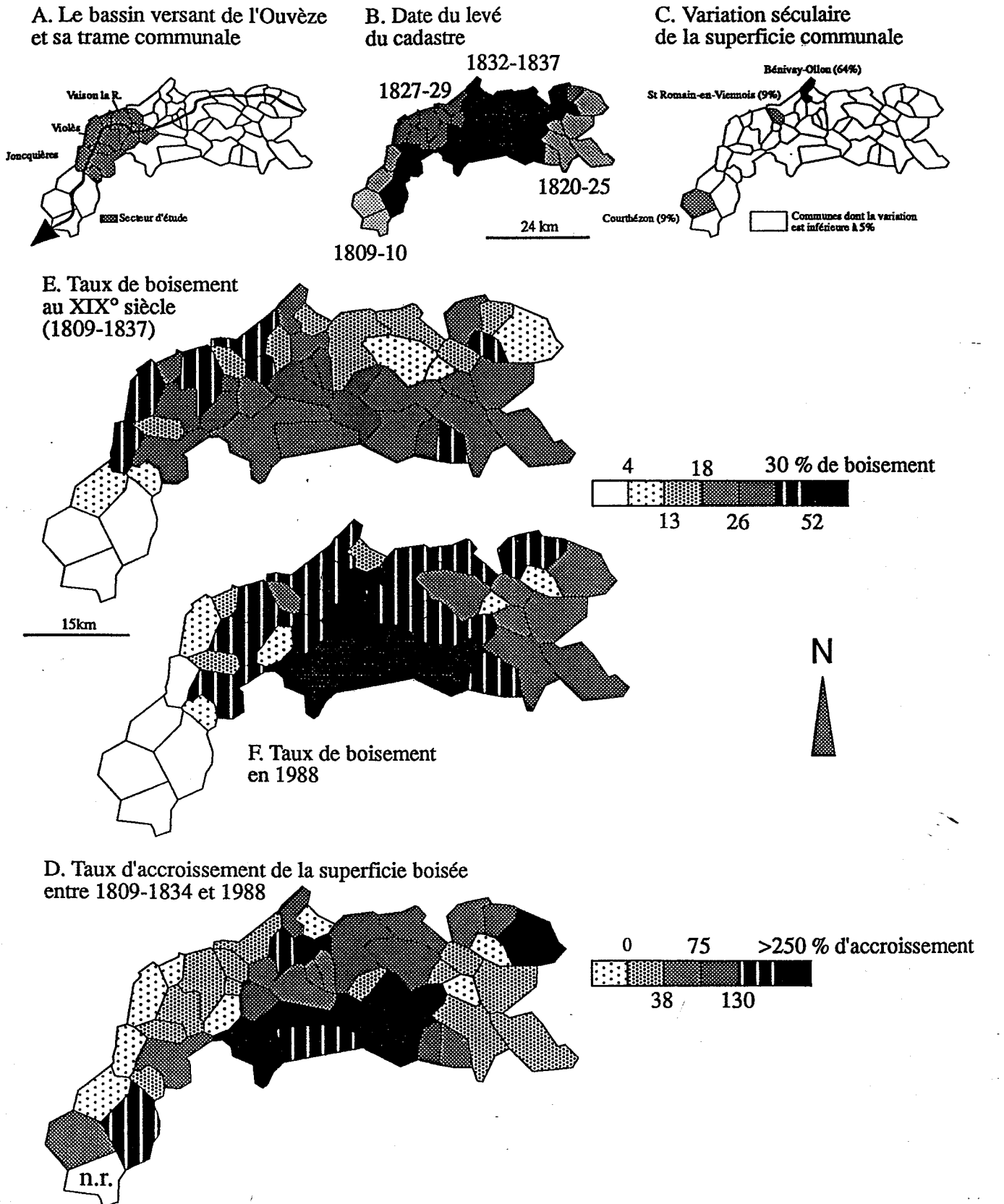


Figure 80 - Evolution des superficies boisées cadastrées au cours des XIX<sup>e</sup> et XX<sup>e</sup> siècles sur les communes du bassin versant de la moyenne Ouvèze (d'après le cadastre ancien et l'Inventaire Communal de 1988).



Le levé du cadastre a été effectué entre 1809 et 1837 mais c'est au cours de la période 1827-37 que la plupart des communes disposèrent de ce document (fig. 80B). Seules trois communes, Bénivay-Ollon, St-Romain-en-Viennois et Courthézon, présentent une réelle variation de leur superficie au cours de l'époque contemporaine (fig. 80C).

Compte tenu de ces remarques, l'étude proposée peut être comparative. Parmi les 46 communes étudiées, 8 ont un taux d'accroissement négatif. Si l'on observe leur localisation, cinq se situent en plaine (Violès, Jonquières, Roaix, Rasteau, Crestet). Les taux d'accroissement (fig. 80D) les plus forts ont été observés sur le versant Nord du Ventoux. Les taux dépassent 250% à Malaucène, Brantes et Saint-Léger-du-Ventoux.

Le taux de boisement était élevé au XIX<sup>e</sup> siècle dans la vallée de l'Ouvèze à la sortie des Baronnies et à la hauteur de Vaison (plus de 30% de la superficie était alors boisée sur les communes de Vaison, Faucon, Rasteau) et dans la vallée du Toulourenc (fig. 80E). Entre 1831 et 1988, l'explosion arborée toucha l'ensemble du bassin versant montagneux : vallées du Toulourenc et de la Derbous et dans une moindre mesure haute vallée de l'Ouvèze (taux supérieur à 130% à Vercoiran, St-Auban-sur-Ouvèze...). Dans ce dernier secteur, le taux de boisement au XIX<sup>e</sup> siècle n'excédait pas 10%.

Aussi, l'ensemble des Baronnies qui ont aujourd'hui un taux de boisement supérieur à la moyenne nationale (fig. 80F) ont connu une très nette modification de leur couvert végétal depuis un siècle et demi. Les services RTM ont travaillé à ce reboisement puisque le périmètre concerné couvre 1 351 ha (lois déclaratives d'utilité publique de 1895 et 1906). Des plantations ont été effectuées par exemple sur la commune de Malaucène en Pin noir d'Autriche entre 1894 et 1908 ou sur la commune de Reilhanette en résineux et en feuillus entre 1903 et 1910 (Mougin, 1931).

### 3.2.2.5 Le bassin versant de l'Ubaye

L'évolution des superficies boisées des communes du bassin versant de l'Ubaye (fig. 81A) a été étudiée à partir du cadastre entre la première moitié du XIX<sup>e</sup> siècle et 1988. Sur les 13 communes, seule la superficie de la commune de Saint-Vincent-les-Forts, qui se situe néanmoins à l'aval de notre secteur d'étude, a réellement subi une modification de l'ordre de 20%. Le cadastre, levé dans les années 1810-1816 à l'aval, ne sera terminé à l'amont que dans les années 1840 (fig. 81B). Outre cette différence chronologique, notre étude a également du prendre en compte les regroupements de communes, telles que Le Lauzet et Ubaye ou Méolans et Revel, qui ont eu lieu au cours de la période.

Les données collectées montrent ainsi que la superficie forestière est passée de 101 km<sup>2</sup> à 324 km<sup>2</sup> entre 1833 environ et 1988 (tab. 23 et 24), la croissance globale étant estimée à +320%. Ces chiffres sont semblables à ceux avancés par P. Chondroyannis (1992) qui note une importante progression des forêts en Ubaye depuis deux siècles. Les surfaces boisées passent de 50 km<sup>2</sup> en 1750 (carte de Cassini) à 100 km<sup>2</sup> en 1850 (10 500 ha de peuplements naturels d'après l'enquête de 1885 sur le périmètre RTM de l'Ubaye) et à 270 km<sup>2</sup> en 1986 (IFN).

L'étude conduite aux Archives Départementales permet d'affiner encore ces chiffres. Un document de 1848 (7M177) donne "l'état de consistance des terrains situés en montagne susceptibles d'être soumis à des travaux de reboisement dans le département des Basses Alpes" (tab. 23). Les surfaces susceptibles d'être boisées représentent 40 000 ha, soit 4 fois les superficies effectivement boisées à cette époque. Un autre document (7M177), le "plan d'ensemble de la mise en valeur des terrains incultes de la vallée de l'Ubaye" levé en 1863 à la suite de la loi du 28 juillet 1860, estime à 20 000 ha les superficies à reboiser auxquelles s'ajoutent 1 341 ha à broussailler et 393 ha à enherber (tab. 23).

Tableau 23 - Variation de la couverture forestière du bassin versant de l'Ubaye au cours des XIX<sup>e</sup> et XX<sup>e</sup> siècles (d'après le cadastre ancien et l'Inventaire Communal de 1988).

|                          | Superficie du bassin versant (en ha) | Superficie de la forêt (en ha) | % de la forêt dans le bassin versant |
|--------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|
| XIX <sup>e</sup> siècle* | 98 000                               | 10 140                         | 10,3                                 |
| 1988                     | 98 200                               | 32 450                         | 33,0                                 |

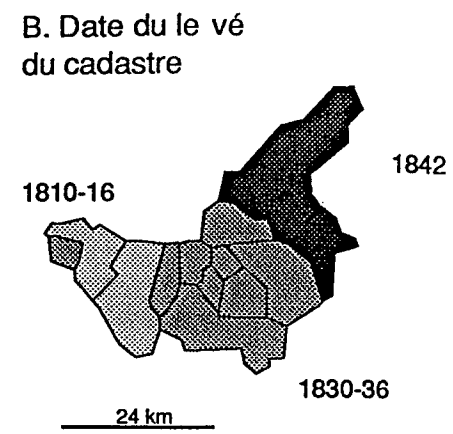
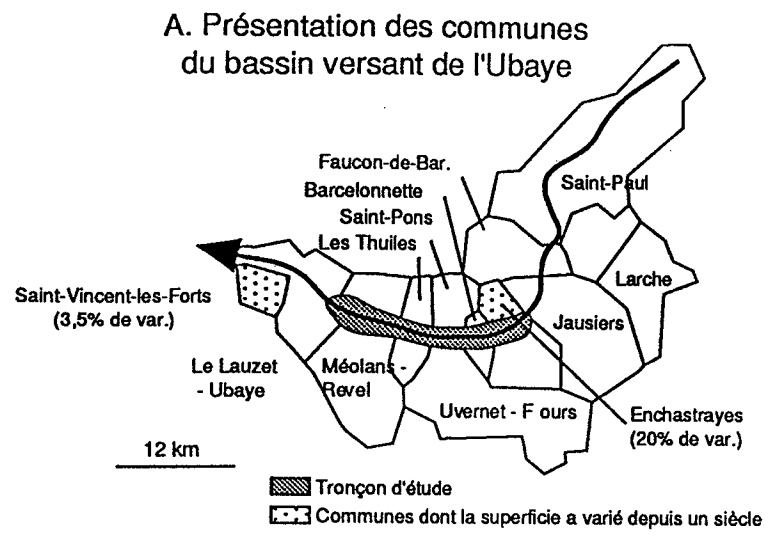
\*Cadastrés levés entre 1813-1842 sur 13 communes (moyenne: 1833).

Tableau 24 - Récapitulatif par communes des surfaces boisées (d'après de multiples sources).

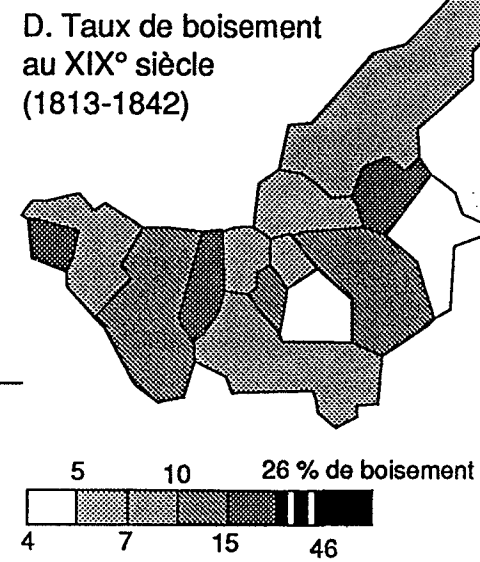
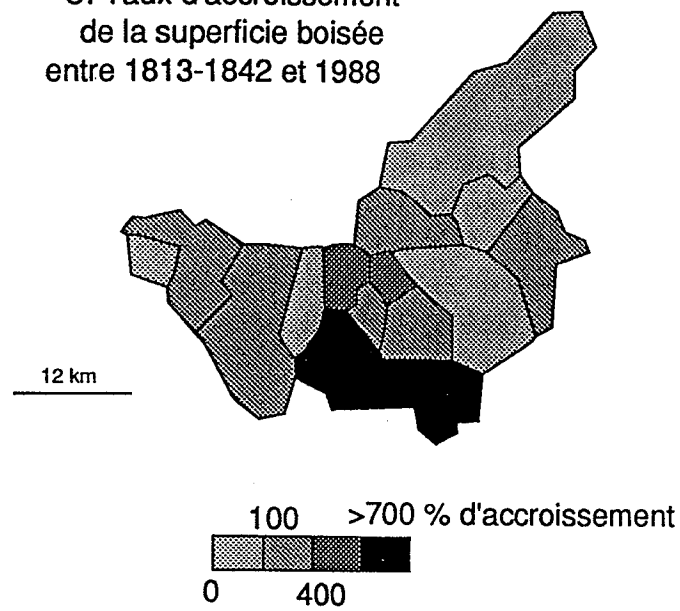
| COMMUNES                      | Hectares de bois entre 1813 et 1842 (cadastre) | Surfaces susceptibles d'être boisées en 1848 (en ha) | Objectifs de reboisement en 1863 (en ha) | Hectares de bois en 1988 (Inventaire Communal) |
|-------------------------------|--|--|--|--|
| Barcelonnette                 | 184  | 612  | 86                                       | 639  |
| La Condamine - Chatelard      | 362  | 1909   | 1585                                     | 979  |
| Enchastrayes                  | 174  | 3264   | 487                                      | 733  |
| Faucon - de - Barcelonnette   | 99   | 754  | 312                                      | 711  |
| Jausiers                      | 1299   | 5926   | 2469                                     | 2189   |
| Larche                        | 277  | 3212   | 897                                      | 971  |
| Le Lauzet - Ubaye             | 624  | 2801   | 718                                      | 2372   |
| Meyronnes                     | 686  | 750  | 760                                      | 1017   |
| Méolans - Revel               | 1661   | 4482   | 1989                                     | 5027   |
| Saint - Paul                  | 1929   | 6658   | 4349                                     | 2226   |
| Saint - Pons                  | 199  | 1700   | 1213                                     | 1416   |
| Saint - Vincent - les - Forts | 703  | 604  | 167                                      | 1035   |
| Les Thuiles                   | 657  | 1754   | 1425                                     | 1247   |
| Uvernet - Fours               | 1287   | 6244   | 3094                                     | 11884  |
| <b>Total</b>                  | <b>10141</b>                                   | <b>40670</b>   | <b>19551</b>                             | <b>31423</b>                                   |

Au XIX<sup>e</sup> siècle, certaines communes avaient un taux de boisement extrêmement faible (fig. 81D). Faucon de Barcelonnette ou Saint-Pons, sur lesquelles se situent deux torrents puissants, le Faucon et le Riou Bourdoux, avaient par exemple un taux de boisement de 6%. Au XIX<sup>e</sup> siècle, la Provence était peu boisée, la superficie en bois était de l'ordre de 10% et certaines communes avaient un taux voisin de 0%. Par ailleurs, la répartition des bois et leur superficie ne semblent pas avoir évolué entre la fin du XVIII<sup>e</sup> et le milieu du XIX<sup>e</sup> siècle puisqu'il existe beaucoup de similitudes entre la carte dite de Cassini et le cadastre ancien (Douguedroit, 1976).

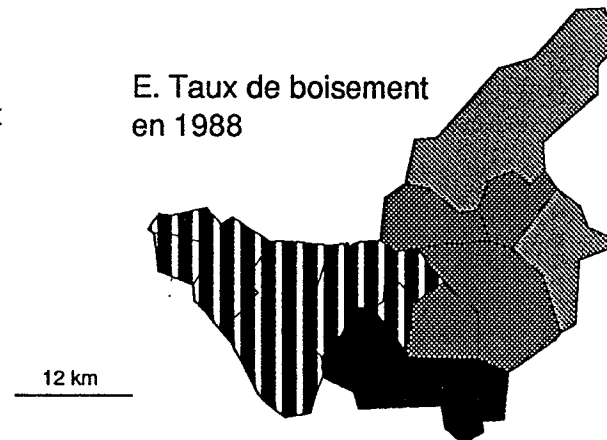
La recolonisation forestière fut globale et toucha toutes les communes (fig.81C). 70% d'entre elles enregistrèrent plus qu'un doublement de leur taux et ce phénomène dépassa 700% dans le bassin du Bachelard (Commune d'Uvernet-Fours). Aussi, De nombreuses communes ont aujourd'hui un taux de boisement très nettement supérieur à la moyenne nationale. Uvernet-Fours est boisée sur les 9/10<sup>e</sup> de sa superficie alors que Faucon de Barcelonnette et Saint Pons ont un taux de boisement supérieur à 40%. Avec un taux de boisement de 33%, l'Ubaye est donc une région de montagne relativement boisée (fig. 81E) puisque si les préalpes du Nord ont un taux qui dépasse les 38%, les vallées internes (Tarentaise ou Maurienne) ont une superficie en bois voisine de 15% (Avocat, 1979).



**C. Taux d'accroissement de la superficie boisée entre 1813-1842 et 1988**



**E. Taux de boisement en 1988**

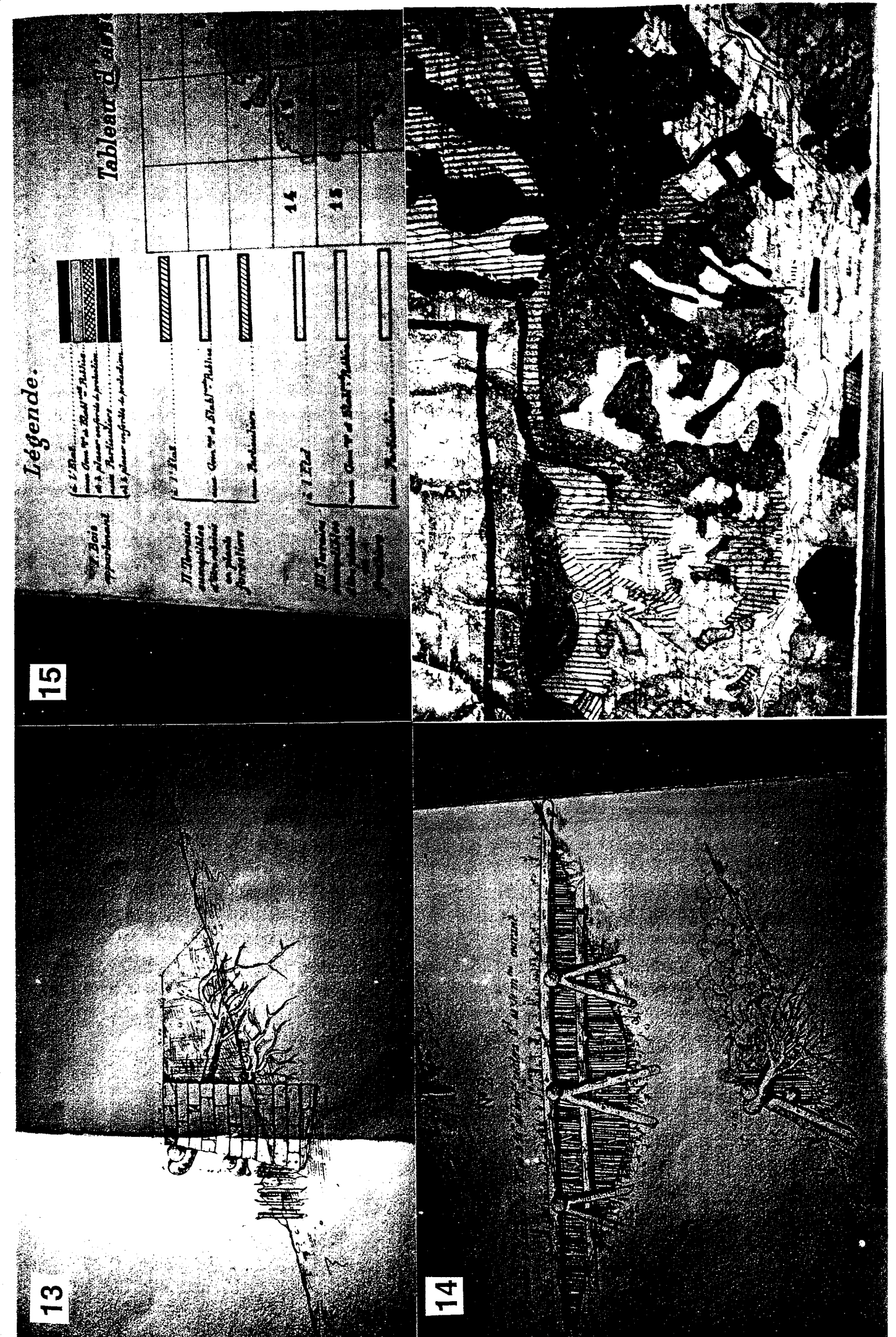


**Figure 81 - Evolution des superficies boisées cadastrées au cours des XIX° et XX° siècles, communes du bassin versant de l'Ubaye (d'après le cadastre ancien et l'Inventaire Communal de 1988).**

**Photographie 13 - Les barrages en pierres sèches et boisages préconisés par le service RTM en Ubaye au XIX° siècle (Archives Départementales des Alpes de Haute-Provence).**

**Photographie 14 - Fascines et chevalet préconisés par le service RTM en Ubaye au XIX° siècle (Archives Départementales des Alpes de Haute-Provence).**

**Photographie 15 - Extrait de la carte départementale des bois et terrains susceptibles d'être replantés en 1860 par le service RTM, exemple du bassin versant du Riou Bourdoux (Archives Départementales des Alpes de Haute-Provence).**



Plusieurs raisons expliquent ce phénomène. L'exode rural a provoqué une baisse de la pression démographique et de l'effectif des troupeaux qui a été favorable à une reprise spontanée des forêts. Depuis, le maximum démographique qui a été atteint en 1860 dans les Alpes de Haute-Provence, la population s'est réduite de 75 à 80%. Il n'existe cependant pas toujours une stricte relation entre le taux d'augmentation du boisement et la baisse de la population. Dans le bassin inférieur de la Tinée (Alpes Maritimes), le taux de boisement a baissé et la population s'est réduite de 80%. Aussi, la baisse de la pression exercée par les troupeaux est sans doute un facteur tout aussi important (Douguedroit, 1976). Le recul de l'activité pastorale a également facilité la prise en charge du reboisement par l'administration des "Eaux et forêt" qui a accompli un travail exceptionnel dans le bassin de l'Ubaye.

En Ubaye, le reboisement était d'abord volontaire et à des fins de protection. C'est le plus grand périmètre de restauration français. Ses auteurs affirment que les essences ont été sélectionnées en fonction de leur aptitude à fixer le sol (enracinement, vitesse de reproduction). Dès 1892, 3 500 ha ont été replantés en Pins noirs d'Autriche. En 1863, les premiers seuils étaient construits sur le torrent du Faucon et les travaux de correction s'étalèrent sur un demi siècle (1890-1950). Suite à la loi déclarative d'utilité publique du 1 Août 1905, le périmètre de reboisement était de 12 600 ha (Avocat, 1979). Dès cette date, 8 589 ha furent déjà reboisés et 1 605 devaient l'être (Mougin, 1931). Comme le reboisement allait réduire les pâturages, 5 698 ha devaient être irrigués en complément de ces travaux.

La politique de reboisement entreprise par le RTM après 1860 a atteint son apogée sur l'Ubaye. Dynamique et technicienne, elle nous a légué de superbes documents tels que les dessins des barrages construits sur les ravins affluents en pierres sèches et boisages (photographie 13) ou en fascines et chevalet (photographie 14). Une carte départementale sur laquelle sont indiqués les bois et terrains susceptibles d'être replantés en 1860 (carte d'état majeur au 1/80 000°, Archives Départementales, 7M180, photographie 15) a été minutieusement levée et colorée et porte une légende très détaillée sur laquelle sont distingués des espaces selon le type de propriété, les responsables publics et privés chargés du reboisement... Elle illustre bien cette phase de transformation des Alpes du sud.

Le Cas du Riou Bourdoux, surnommé "le monstre", est l'exemple le plus spectaculaire, le plus achevé des travaux RTM (Combes, 1982; Chondroyannis, 1992). Le périmètre de restauration sur l'Ubaye fut confié au service de reboisement de P. Demontzey. La correction a d'abord été effectuée sur les torrents les moins fougueux tels que le Faucon en 1861, le Labouret en 1862, les Sanières et le Riou Chanal en 1863 et finalement le Riou Bourdoux en 1866.

De 1866 à 1876, le gazonnement porta sur un périmètre obligatoire de 1 392 ha de terrains communaux. En 1873, 685 ha des pâturages les moins dégradés étaient enherbés et le traitement du torrent lui-même pouvait commencer. Un périmètre de reboisement de 1 827 ha était défini et les terrains privés étaient progressivement acquis à l'amiable. Le plan de correction comporta 3 phases : 1. reboisement rapide de tous les terrains plus ou moins stables, 2. correction de toutes les ravines du bassin supérieur, 3. traitement du chenal d'écoulement. De 1875 à 1881, 745 ha étaient reboisés et 1 285 petits barrages de pierres sèches étaient construits dans les ravines. En 1880, le haut bassin était maîtrisé. La correction du chenal d'écoulement entraîna la construction d'un escalier de barrage afin de dissiper l'écoulement et de stabiliser les versants qui devaient alors se végétaliser. En 1892, un lit était construit dans le cône de déjection dans l'axe du cours amont et le chenal d'origine était armé de 37 seuils. Au sommet du cône, un barrage à double déversoir dirigeait les eaux dans le nouveau chenal, le trop plein se déversant dans l'ancien lit en cas de crue. En 1950, une vingtaine de barrages en bétons ont encore été édifiés sur le Riou Bourdoux afin de limiter l'envasement de la retenue de Serre-Ponçon.

L'étude diachronique des statistiques cadastrales, basée sur des données historiques dont la fiabilité peut être discutée, a permis néanmoins de mettre en évidence une évolution quantifiée sur une durée relativement longue.

Si les travaux de restauration des terrains en montagne ont conduit à une très forte progression du boisement dans les bassins de l'Ouvèze et de l'Ubaye, le Faucigny présente une recolonisation plus modeste. Quant à l'Ardèche, compte tenu des données statistiques ambiguës, il est difficile de se prononcer.

Néanmoins dans ce dernier cas, le reboisement ne semble pas un élément caractéristique. S'il y a effectivement une phytostabilisation des versants, celle-ci ne peut être le fait que de friches ou de landes dont la représentation statistique est difficile à étudier diachroniquement.

### 3.3. Variabilité diachronique des flux et explication de la recolonisation végétale

Il est nécessaire de bien dissocier les phénomènes relevant de modifications hydroclimatiques pluriséculaires et les phénomènes relevant de cycles hydrologiques pluridécennaux. Ces deux mouvements influent sur la variation spatiale de la couverture végétale mais le premier peut être à l'origine d'une biométamorphose c'est-à-dire d'une transformation majeure du couvert ripicole alors que le second ne provoque qu'un bioajustement temporaire, une fluctuation spatiale du contact entre la bande active et la forêt alluviale.

Sur la rivière d'Ain, la recolonisation des formations arborées dans la bande active, maximale entre 1945 et 1970 correspond à une période de réduction de l'hydraulicité. Si l'hydrologie n'est pas à l'origine de la biométamorphose, elle semble avoir néanmoins accentué le phénomène en lui permettant de s'étendre dans la bande active, la végétation s'ajustant à ces nouvelles conditions de flux. Il y a donc bien sur cette rivière à la fois une biométamorphose et un bioajustement. Les barrages constituent aujourd'hui un important facteur d'explication car ils perturbent, en écrétant les crues, l'ajustement de la végétation aux nouvelles conditions d'écoulement (phase humide). Il est possible de penser qu'une recolonisation végétale naturelle de la bande active liée à une période de moindre hydraulicité est pérennisée finalement par l'intervention de l'homme sur les flux. Néanmoins, la vigueur de l'ajustement naturel de la végétation dans la bande active au cours des années 1950-1970 dépend-elle uniquement de l'hydraulicité? L'explosion des formations arborées en lit majeur d'origine anthropique n'est-elle pas le mouvement fondamental comme le cas suivant peut le laisser penser?

Sur l'Ardèche, la question est de savoir si les barrages ont réellement favorisé une recolonisation végétale de la bande active. La réponse est négative puisque cette recolonisation est calée sur une courte période (1950-1970) qui est antérieure à la construction des barrages. Aussi, correspond-elle paradoxalement d'après la figure 76C à la période de la plus forte hydraulicité observée depuis 1950. Néanmoins, cette recolonisation végétale de la bande active peut être une réponse à des changements hydrologiques à plus long terme puisqu'une réduction beaucoup plus marquée des pics de crue est reconnue à l'orée du XX<sup>e</sup> siècle. Celle-ci a pu entraîner latéralement une réelle atténuation de l'énergie hydraulique et un bioajustement dynamique marqué par une recolonisation de la bande active reconnue par ailleurs sur le cadastre. La question la plus difficile est finalement de savoir si cette atténuation de l'hydraulicité est d'ordre naturel (modification du régime des précipitations) ou anthropique (occupation du bassin versant).

Sur le Giffre, les données de P. Mougin font clairement apparaître l'influence du Petit Age Glaciaire sur la fréquence des inondations. Au cours des XVIII<sup>e</sup> et XIX<sup>e</sup> siècles, les inondations sont plus nombreuses alors que le taux de boisement ne varie pas beaucoup. Cette évolution naturelle, reconnue par ailleurs dans d'autres régions, aurait pour effet d'augmenter la bande active aux dépens du lit majeur. La largeur de cette bande active se réduit ensuite par végétalisation entre 1890 et 1934 en même temps que les pics de crue.

La forêt alluviale du Giffre apparaît durant les XVIII<sup>e</sup> et XIX<sup>e</sup> siècles alors que le nombre des crues s'accroît progressivement. Ces deux mouvements paraissent contradictoires mais ils ne le sont pas car la forêt a en effet été favorisée par l'homme au moment des crues (entre 1734 et 1890) afin de se protéger des débordements croissants de la rivière.

Après 1945, une réduction des pics de crue est statistiquement mise en évidence mais elle est si faible qu'il est difficile de déduire une progression synchrone de la végétation dans la bande active. Durant cette période, il a été par ailleurs démontré que la couverture forestière n'avait subi qu'une très faible variation spatiale.

Sur l'Ouvèze, une tendance globale à la réduction des pics de crue avant l'événement de 1992 peut être identifiée (fig. 76E). Cette tendance brève pourrait expliquer la recolonisation végétale observée dans la bande active de cette rivière. Comme nous l'avons constaté sur les photographies aériennes, l'ajustement de la végétation peut être en effet rapide (moins de 20 ans). D'autre part, sur cette rivière, la recolonisation importante entre 1947 et 1973 se prolonge ensuite jusqu'à aujourd'hui. Aussi, l'adéquation dans le temps des deux phénomènes permet de reconnaître le rôle de la réduction des pics de crue dans la recolonisation végétale dans la bande active, la crue de 1992 induisant un réajustement sévère des marges végétales aux flux. Dès lors, une courte période de relevés hydrologiques, bien calée dans le temps par rapport à la dynamique de la couverture végétale à expliquer, peut apporter des informations déterminantes en terme de causalité.

La recolonisation végétale, observée sur l'Ubaye et calée sur le début du siècle, ne peut pas être clairement corrélée à une quelconque modification hydrologique faute de données. Néanmoins, le travail gigantesque accompli par le RTM dans la seconde moitié du XIX<sup>e</sup> siècle sur le bassin versant semble avoir été un succès. La biométamorphose, observée sur le cours lui-même semble en effet liée à des causes non pas endogènes (les populations se sont détournées du torrent et de ses marges) mais exogènes. Seule une modification des flux peut expliquer l'explosion végétale observée dans la bande active de l'Ubaye à l'orée du XX<sup>e</sup> siècle. L'argument de A. Douguedroit concernant le rôle négligeable des plantations de Pins noirs peut être discuté. En effet, la recolonisation végétale dépasse les 30% de la superficie et n'est pas liée à la seule volonté du RTM. Une recolonisation spontanée à la suite de la déprise rurale existe aussi avec des essences locales qui présentent des capacités stabilisatrices reconnues. Les travaux de correction torrentielle ont sans doute réduit la charge et stoppé l'exhaussement du lit. La recolonisation végétale de la bande active peut être calée dans le secteur des Thuilles à 1910-1920; des analyses dendrochronologiques effectuées par M. Borelly, agent forestier aux Thuilles, permettent d'estimer l'âge des pins situés en lit majeur à 70-75 ans, soit quelques années seulement après les grands travaux de correction. La chronologie serait donc concordante.

La variabilité hydrologique est comparée sur l'Ubaye après 1945 avec la mobilité des marges végétales; 5 séries photographiques ont été dépouillées (fig. 82).

Depuis 1945, l'extension végétale des marges de l'Ubaye semble contrôlée par l'hydrodynamique. La période de 1970 à 1990 durant laquelle est observée une réduction des pics de crue correspond en effet à une recolonisation végétale de la bande active. Inversement, le recul de la couverture végétale entre 1948 et 1956, correspond à une période de forte hydraulicité. Les pics de crue annuels augmentent entre 1941 et 1957 et favorisent un recul de la végétation riveraine. La bande active dispose au moment de la crue millénale de 1957 d'une largeur importante. La forêt en s'ajustant à des crues d'ampleur croissante aurait résisté ainsi à

l'ultime événement et sa destruction serait limitée. Aucune réduction de la superficie forestière n'a donc été constatée entre les photographies de 1956 et 1971. 15 ans séparent les deux séquences photographiques sur lesquelles repose notre argumentation et aucune série photographique n'est disponible entre ces deux dates. Il est possible de penser qu'une période aussi longue aurait du laisser le temps à la végétation, largement détruite, de se réajuster. Cette hypothèse peut être rejetée car il semble bien que la végétation ait été peu atteinte sur cette partie du cours. C. Lecarpentier (1963), qui a travaillé sur la rivière après la crue, précisa que celle-ci s'était atténuée à partir de la zone de tressage située à l'amont de Barcelonnette. Une analyse dendrochronologique est en cours afin de confirmer ou d'infirmer notre hypothèse.

Par conséquent, la réaction de la ripisylve de l'Ubaye est ainsi fort différente de celle observée sur l'Ouvèze à la suite de la crue du 22 septembre 1992, puisque cette dernière est survenue après une période de réduction des pics de crue et une végétalisation de la bande active.

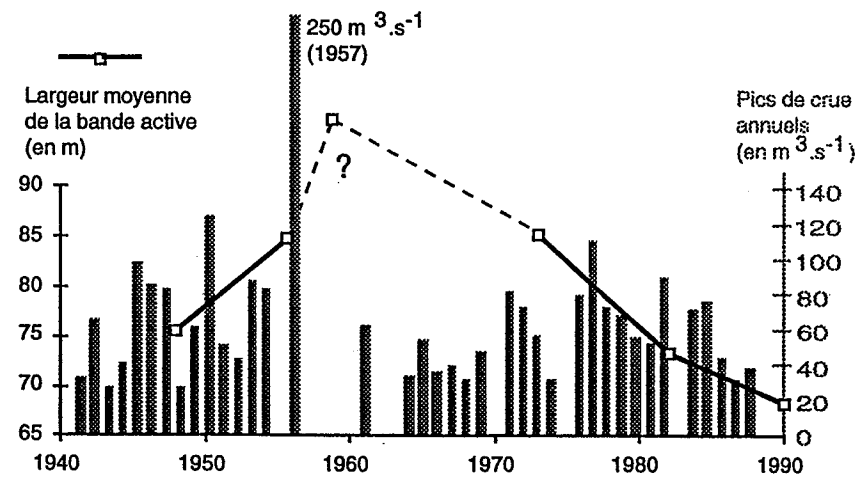


Figure 82 - Evolution de la largeur moyenne de la bande active et des pics de crue annuels entre 1945 et 1990 sur la moyenne vallée de l'Ubaye (d'après les données de la banque Hydro et des photographies aériennes).

## Conclusion

La comparaison des variations hydrologiques et de la couverture végétale riveraine des cinq cours d'eau étudiés a permis de mettre en évidence trois phénomènes :

- à l'orée du XX<sup>e</sup> siècle, la bande active du Giffre, de l'Ubaye et de l'Ardèche s'est réduite. Ce phénomène semble corrélé à une hydrologie déficiente liée à des données humaines (sur l'Ubaye, les nombreux travaux de correction le laissent penser) ou à des données naturelles (sur le Giffre, le couvert forestier du bassin versant a peu varié entre les XVIII<sup>e</sup> et XX<sup>e</sup> siècles). Ce mouvement majeur a concerné des superficies recolonisées très importantes.
- Des phases plus courtes d'ajustement de la végétation à l'hydrologie ont été observées sur l'Ubaye, l'Ain (quoique dans ce cas l'interférence avec la recolonisation en lit majeur induise un doute) et l'Ouvèze après 1970. Ces ajustements décennaux ne peuvent s'apparenter à une biométamorphose. Ils ont une chronologie courte et une extension spatiale limitée.
- Les barrages écrêteurs peuvent également induire un bioajustement. Ils réduisent aujourd'hui par exemple les capacités d'ajustement végétale de l'Ain.

Après avoir présenté de manière analytique les causes de la mobilité spatiale des marges arborées à la suite de la modification de l'occupation du lit majeur, de la géométrie de la bande active et des flux liquides et solides, une synthèse est nécessaire. Des modèles d'évolution seront également présentés.

### **III. Modèles et synthèse explicative**

Par sa stratégie d'occupation ou d'abandon, volontaire ou involontaire, du lit majeur ou du bassin versant, l'homme intervient sur la rivière. Pourtant, son rôle n'est que partiellement pris en compte dans la notion d'hydrosystème alors qu'il est au coeur de son évolution. L'étude des rivières en Europe ne peut en effet être entendue que dans le cadre d'hydrosystèmes anthropisés.

Une synthèse des changements et de leurs causes, rivière par rivière, sera proposée avant de présenter une typologie des biométamorphoses et les grandes évolutions biostructurales contemporaines.

#### **1. Synthèse des changements et de leurs causes**

Dans un souci de clarté, l'évolution contemporaine des marges boisées sera présentée successivement sur chacune des rivières, puis nous nous efforcerons de regrouper les différents modèles d'évolution (fig. 83) afin de les comparer.

##### **1.1 L'Ain**

###### **1.1.1 Analyse critique de la métamorphose fluviale**

Les causes des changements contemporains de la végétation riveraine et des formes fluviales de la rivière d'Ain ont déjà été bien étudiées (J.P. Bravard *et al.*, 1990). Néanmoins, le problème a été posé en terme de métamorphose physique. Aussi, quelques éléments méritent d'être précisés, voire rediscutés, la démarche biogéographique entreprise ici favorisant une autre approche des changements.

P. Fagot *et al.* (1988) ainsi que J.P. Bravard (1991) expliquent que depuis les années 1950, le chenal s'incise et adopte un tracé faiblement sinueux bien que les processus de migration latérale soient localement conservés. Cette tendance à l'incision, croissante vers l'aval, observée au cours de l'Holocène, s'accélère depuis une dizaine d'années. En même temps, la largeur du lit mineur s'est réduite; le nombre d'hectares de bancs de galets a ainsi régressé d'un tiers entre 1945 à 1965. Selon eux, les nouvelles conditions imposées à l'Ain seraient dues à des facteurs naturels et anthropiques non synchrones (fig. 84).

La réduction des flux liquides et solides serait la principale cause des changements. Le lit majeur s'est boisé en réponse à une forte réduction des contraintes hydrauliques. Cette recolonisation naturelle des brotteaux serait également liée à la déprise rurale, ceux-ci servant traditionnellement de pâturage. Les Peupliers noirs, dont le développement date de moins de 40 ans (Fagot *et al.*, 1989), ont fixé le lit et réduit la recharge latérale en sédiments. De plus, l'incision, accélérée dans les secteurs où le substrat rocheux n'affleurerait pas, a été favorisée encore par les aménagements humains tels que les digues latérales, les ponts routiers et autoroutiers... qui canalisent les divagations.

La démarche esquissée était avant tout destinée à expliquer la modification du style géomorphologique et le phénomène contemporain de l'incision. Compte tenu des récents résultats, quelques nuances sont proposées:

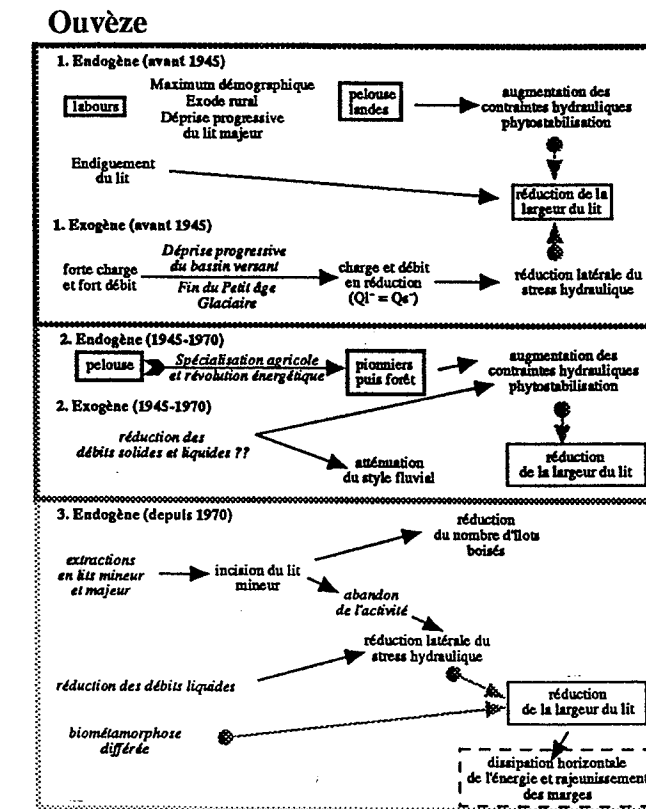
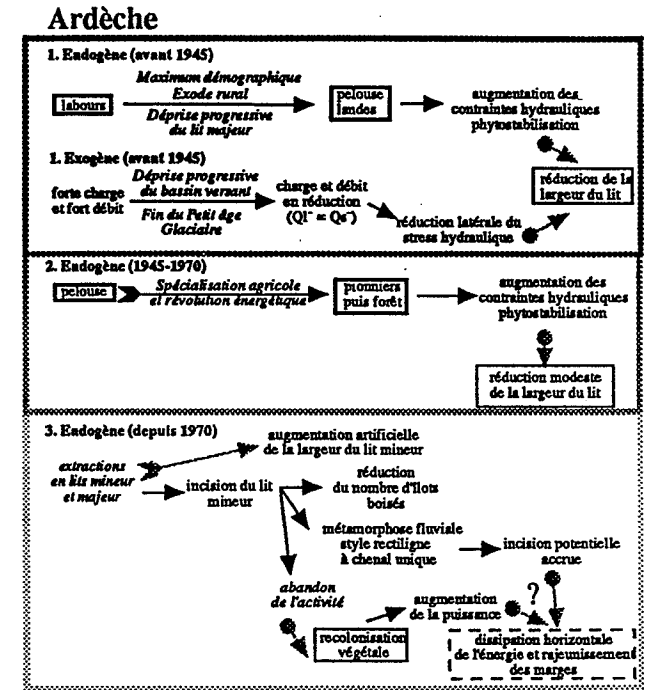
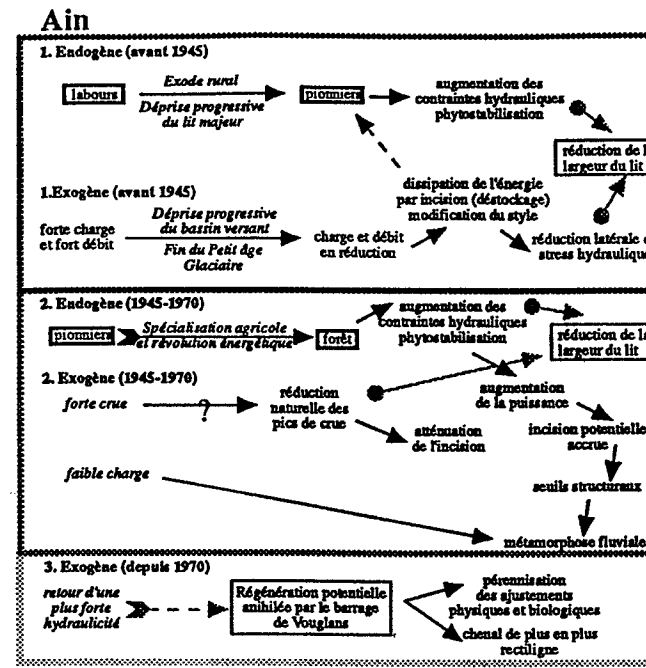
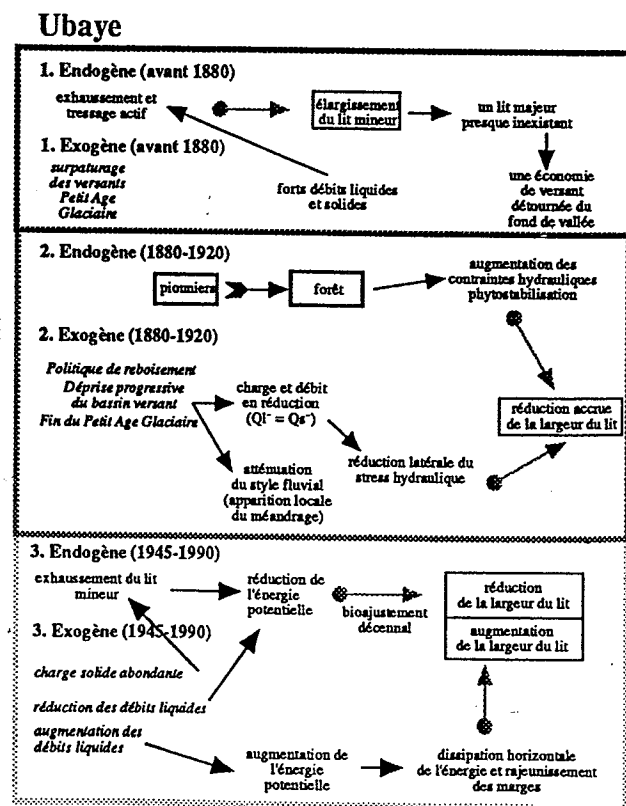
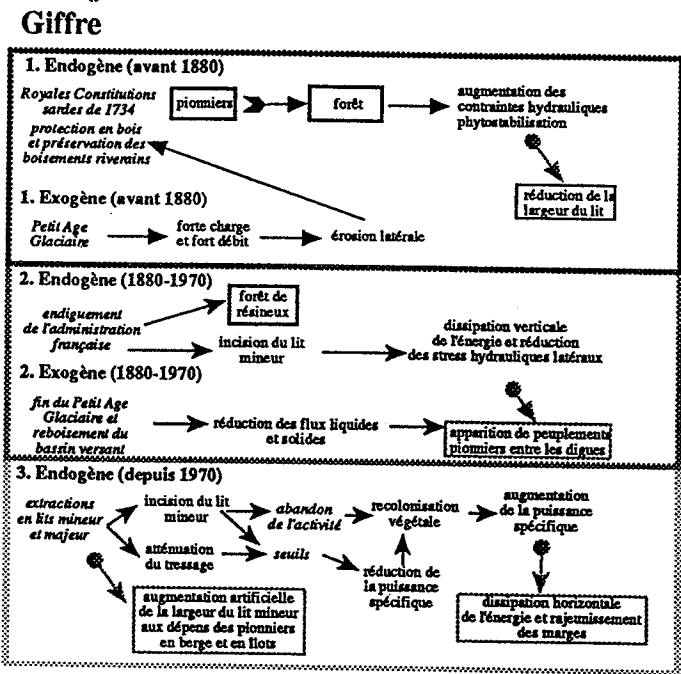
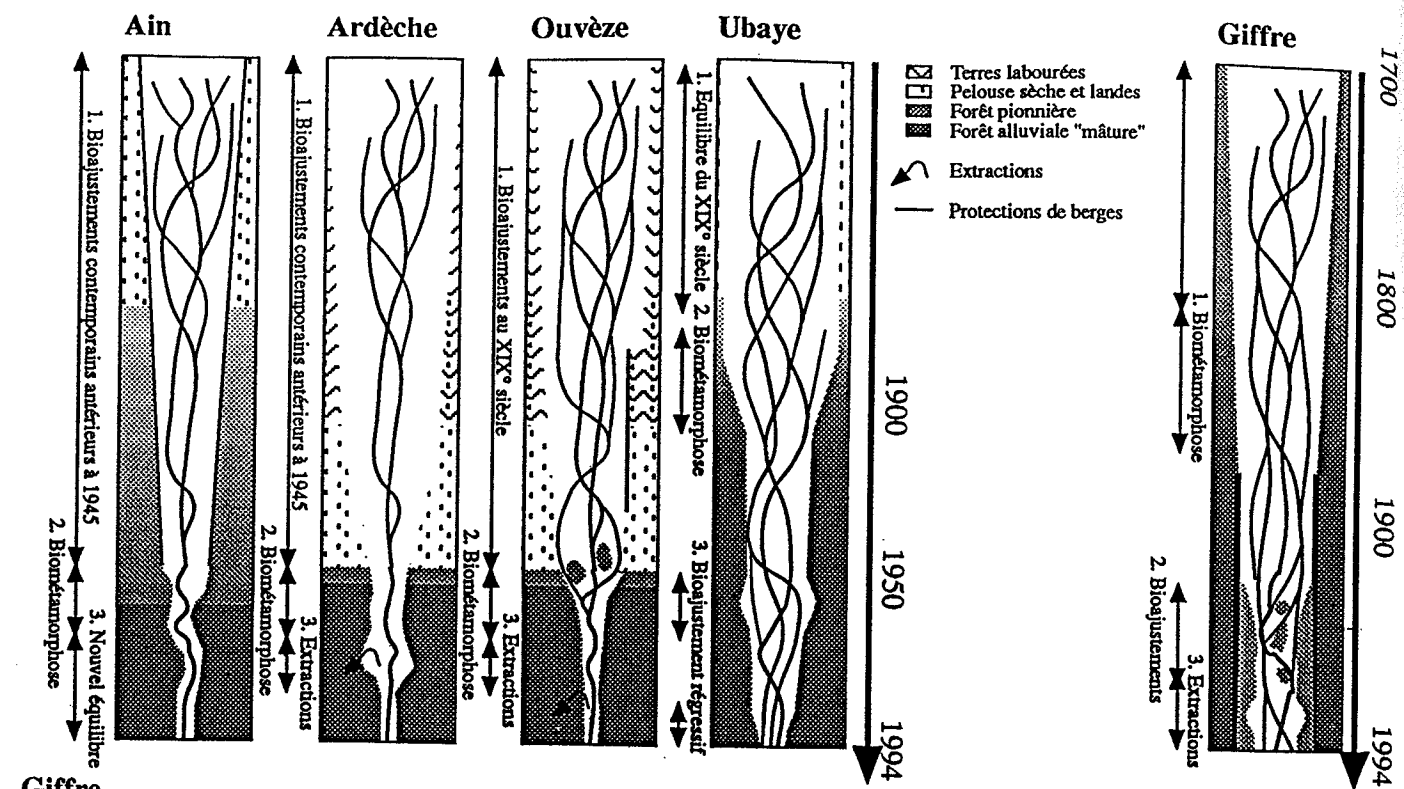


Figure 83 - Modèles explicatifs élémentaires de la dynamique spatiale et temporelle des marges boisées des cinq rivières d'étude.

- L'incision est-elle réellement un phénomène actuel? D'après l'analyse des profils, cette incision semble antérieure à la recolonisation végétale et il est donc difficile de diagnostiquer une réelle incision au cours de la période 1976 - 1986. Pourtant, l'analyse des puissances hydrauliques pourrait le laisser penser. L'augmentation possible de la pente et la réduction de la largeur de la bande active conduisent à une concentration des eaux dans un chenal et à l'accélération des vitesses d'écoulement, c'est-à-dire à l'augmentation de la puissance spécifique. Cette dynamique tend à favoriser l'incision du fond du lit. Celle-ci devrait donc être théoriquement plus importante aujourd'hui que dans le passé. Néanmoins, le pavage et l'exhumation des dépôts morainiques consécutifs à l'incision contemporaine ont stoppé le mouvement.

Par conséquent peut être convient-il de dissocier incision et biométamorphose. La métamorphose fluviale contemporaine peut ainsi correspondre à plusieurs séquences chronologiques connues. Elle peut marquer la fin d'un mouvement pluriséculaire qui touche le cours de l'Ain depuis la récession du glacier würmien du Rhône ou au contraire la fin d'un épisode plus court concernant uniquement la période contemporaine. P. Mandier (1988) a montré que le Rhône s'enfonça dans les terrasses fluvio-glaciaires à la suite du retrait du glacier rhodanien. Or, ce Rhône qui est le niveau de base de l'Ain, contrôlait son profil en long, qui par ajustement dynamique s'enfonça à son tour. Ce mouvement atteint un paroxysme au Tardiglaciaire et se prolongea à l'Holocène. J.P. Bravard (1986a) a repéré les différents niveaux de terrasses emboîtées ainsi que les tracés successifs connus du cours de l'Ain depuis cinq siècles dans la zone de confluence. Néanmoins, l'incision observée est extrêmement active (plus de 2 m) sur une période pourtant très courte. Il est donc difficile de concevoir un tel mouvement dans une perspective millénaire. Seule une modification contemporaine des flux liquides et solides peut être à l'origine d'un tel changement.

- Les causes avancées par les auteurs pour expliquer la réduction des flux solides peuvent être discutées car l'incision intervient en effet avant la mise en place des barrages. D'autre part, la recharge sur le tronçon est-elle vraiment contrariée par l'homme? Cet argument est discutable car le nombre de tronçons stabilisés latéralement est faible comparé à d'autres rivières, plus canalisées et pourtant moins atérées.

Trois phases chronologiques permettent d'expliquer l'évolution contemporaine des descripteurs physiques :  
 - Avant 1920, les débits liquides (Ql) et solides (Qs) sont élevés mais Ql est supérieur à Qs. L'enfoncement serait le résultat de ce déséquilibre. Il dépendrait d'une réduction des apports solides et d'un déstockage consécutif des sédiments du tronçon. Cette réduction des apports solides, indépendante d'une modification des flux liquides, ne peut s'expliquer que par une modification de la mise en valeur du bassin versant. La déprise rurale et l'enfrichement sont sans doute les principaux facteurs bien qu'aucun argument ne puisse encore le confirmer.

-1920-1970 : Ql est toujours supérieur à Qs. Le rééquilibrage de la géométrie du lit à la modification des flux se fait par enfoncement mais ce dernier se ralentit car le plancher alluvial est progressivement stabilisé par une explosion végétale dans la bande active et le profil en long se cale progressivement sur des seuils structuraux exhumés. La réduction de la charge et la dissipation verticale de l'énergie provoquent le passage progressif du tressage au méandrage puis à la sinuosité.

- depuis 1970 : Ql et Qs sont faibles. Ql s'est réduit naturellement et artificiellement, le barrage de Vouglans écrétant les crues depuis 1968. Cette artificialisation des débits et la réduction de leur capacité morphogène ont favorisé une colonisation végétale de la bande active et les bancs de galets se sont stabilisés. La raréfaction de la charge a provoqué une métamorphose fluviale et le passage d'un lit large à bancs de galets mobiles et émergés une grande partie de l'année à un lit plus profond, unique et presque totalement mouillé.

Après avoir présenté brièvement la métamorphose fluviale de l'Ain, nous utiliserons ces acquis pour expliquer la recolonisation végétale contemporaine de cet hydrosystème.

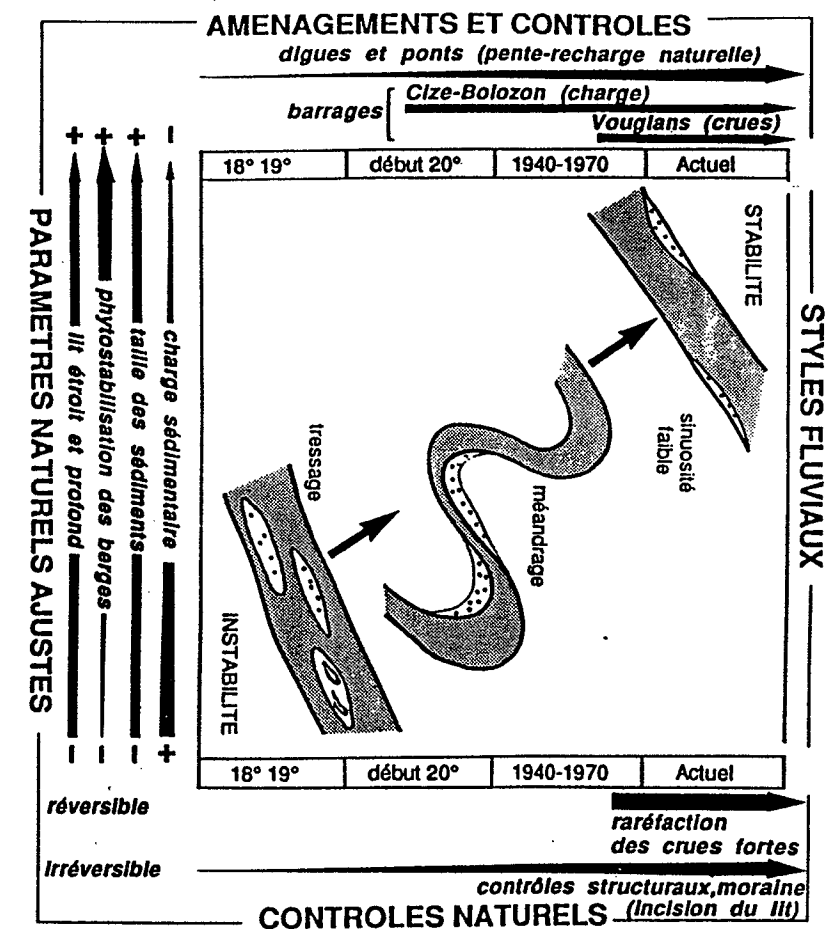


Figure 84 - La métamorphose de l'Ain, facteurs naturels et anthropiques (d'après P. Fagot *et al.*, 1988).

### 1.1.2 La recolonisation végétale de l'Ain

Sur l'Ain, deux phases chronologiques et biodynamiques peuvent être distinguées (fig.83) :

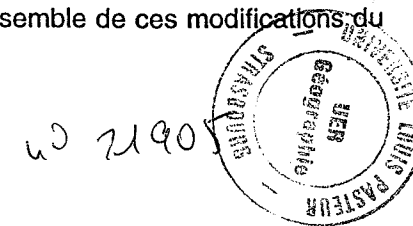
- une phase d'ajustement de la végétation riveraine à la modification des paramètres physiques et anthropiques (1850-1950),
- une phase de biométamorphose en lit majeur (1945-70).

La durée et la vitesse des changements varient d'une phase à l'autre. La première correspond à des mécanismes séculaires alors que la seconde s'inscrit dans une dynamique à plus court terme.

#### - une phase d'ajustement de la végétation riveraine

Cette phase n'a pas été marquée par une explosion des formations arborées mais par une modification majeure du couvert végétal en lit majeur. Une réduction progressive de la bande active a été observée entre le XIX° siècle et 1945. Deux causes peuvent intervenir pour expliquer ce phénomène :

- La première, d'ordre endogène et anthropique, est survenue après le maximum démographique atteint en 1850. A la suite de la déprise rurale de la fin du XIX° siècle, une déprise relative a pu, comme sur l'Ardèche, toucher le lit majeur. De 1830 à 1940, ce dernier aurait donc été soumis à un développement croissant des stades pionniers de la forêt alluviale aux dépens de zones de pâtures. En revanche, le passage de terres labourées à des prairies n'a pas été réellement constaté sur cette rivière. L'ensemble de ces modifications du





couvert végétal provoqua un changement des conditions biomécaniques, une stabilisation accrue des berges et donc, avant même le reboisement, une réduction synchrone de la largeur du lit.

- La seconde cause de la progression du végétal dans la bande active correspond à une réduction des flux hydriques et minéraux. Elle pourrait être liée à une modification de l'occupation anthropique du bassin versant ou à un changement climatique, la fin du Petit Age Glaciaire qui ont réduit la disponibilité de la charge et les pics de crue. Ce phénomène a pu provoquer un ajustement du lit de la rivière à ces nouvelles conditions dynamiques, la réduction latérale de l'énergie hydraulique favorisant une réduction de la largeur de la bande active.

La résultante de ces deux ensembles de causes conduit à une réduction progressive de la bande active. Ce mouvement continu et lent s'oppose à la mutation brutale des années 1945-1970. En outre, il paraît difficile d'attribuer un rôle quelconque aux barrages au cours de cette période, le premier n'étant mis en service qu'en 1931. D'autre part, l'ajustement de la végétation a pu agir sur la métamorphose fluviale en stabilisant les berges et en réduisant les flux solides.

### - une phase de biométamorphose en lit majeur (1945-70).

Cette seconde phase a été marquée par une explosion de la forêt dans le lit majeur et la bande active. L'abandon par l'homme du lit majeur est la raison principale de ce phénomène. La crise de la société rurale traditionnelle au moment de la Libération et corrélativement la spécialisation céréalière et le recul de l'élevage vivrier, la révolution de l'énergie fossile et la fin de l'utilisation du bois de chauffe sont les facteurs principaux d'explication. L'explosion arborée en lit majeur a induit de nouvelles conditions de dissipation d'énergie et le bioajustement dans la bande active est alors une réponse à ces modifications internes. Il est admis qu'un cours d'eau forestier dispose en effet d'un lit plus étroit qu'un cours d'eau non forestier pour des conditions de débit semblables. Les années 1960-80 ont été par ailleurs marquées par une moindre hydraulicité favorable à un bioajustement décennal.

En outre, nous avons montré que l'enfoncement du lit s'était ralenti au moment de l'explosion arborée. Ce phénomène peut paraître contradictoire car il est admis que la réduction de la largeur augmente l'énergie spécifique du cours d'eau susceptible de favoriser un regain d'érosion. Néanmoins ce phénomène intervient alors que les pics de crue se sont réduits et que des seuils structuraux ont été exhumés. Par ailleurs, il peut y avoir une végétalisation des bancs de galets sans que ce phénomène s'accompagne nécessairement d'un enfoncement de la ligne d'eau. Seul le fond du lit peut s'être modifier afin de conserver une certaine capacité d'écoulement. Dans ce cas, un simple ajustement de la géométrie du chenal répond aux nouvelles conditions biologiques endogènes. Néanmoins, la dissipation d'énergie est encore nécessaire et s'exerce latéralement ce qui explique que la rivière dispose alors d'un style à méandres.

La recolonisation dans la bande active se poursuit aujourd'hui pour des raisons anthropiques. Depuis peu, un nouveau cycle de forte hydraulicité se développe mais les capacités de régénération de la rivière sont atténuées car le barrage de Vouglans réduit les crues morphogènes. Dans ce cas, la régression prévisible du couvert forestier n'est pas possible, celui-ci exerce au contraire un contrôle latéral qui pourrait expliquer que le chenal à méandres devienne de plus en plus rectiligne.

## 1.2 La recolonisation végétale de l'Ardèche

La rivière Ardèche a également été marquée par une intense biométamorphose au cours de la période 1950-70 (fig. 83). L'explosion arborée en lit majeur a provoqué une réduction modeste de la bande active qui

contraste avec celle observée sur l'Ain. Parallèlement, la géométrie de la rivière s'est modifiée: le nombre de transects à chenal unique a augmenté et le taux de sinuosité s'est réduit. La question se pose alors de savoir si la biométamorphose est capable de conditionner une métamorphose fluviale c'est-à-dire provoquer, au delà d'une réduction de la largeur de la bande active, une transformation du style. L'étroite relation chronologique conforterait cette hypothèse.

Expliquer pourquoi la bande active ne s'est que modérément réduite est moins aisé. Trois facteurs peuvent intervenir :

- L'incision enregistrée sur la rivière est sans doute postérieure à l'explosion des formations arborées. Or sur l'Ain, ce phénomène était susceptible d'intervenir en réduisant latéralement l'énergie hydraulique.

- La couverture végétale en 1945 n'est pas la même sur l'Ain et sur l'Ardèche. Alors que les marges de la première rivière sont occupées par des ligneux bas ou une zone de landes, celles de la seconde sont le plus souvent occupées par une pelouse dont les capacités stabilisatrices peuvent être supérieures.

- La géométrie du lit est également différente d'une rivière à l'autre. L'Ain présentait une bande de tressage et une superficie en galets très importantes alors que le lit de l'Ardèche, le plus souvent à chenal unique et sinueux, présente une surface émergée en galets beaucoup plus faible.

Comme la bande active s'est déjà réduite avant 1945, il est possible de penser que la période 1950-70 a marqué comme sur l'Ain, l'aboutissement d'un processus séculaire d'abandon progressif du lit majeur. La dynamique endogène joue un rôle primordial puisque le passage du labour à la pâture dans la seconde moitié du XIX<sup>e</sup> siècle a modifié la rugosité hydraulique du tronçon et induit un probable ajustement du lit à ces nouvelles conditions. Par ailleurs, une réduction des flux liquides et solides a été également signalée. Ce mouvement de bioajustement s'est déroulé en effet lors d'une phase de moindre hydraulicité correspondant à la fin du Petit Age Glaciaire et à la déprise rurale du bassin versant, le maximum démographique étant atteint entre 1840 et 1860.

Depuis 1970, l'intervention de l'homme sur la bande active est telle qu'il est possible de distinguer une troisième période. L'extraction en lit mineur au cours des années 1970 a provoqué une métamorphose fluviale caractérisée par la simplification du tracé (réduction du taux de sinuosité et du nombre d'îlots boisés), l'enfoncement du lit mineur et sa déconnexion avec les milieux annexes.

L'abandon récent des extractions a engendré une très forte recolonisation végétale des sites d'extraction et un bioajustement vis-à-vis des flux entrants. Cette réduction de la bande active a conduit à une nette augmentation des puissances unitaires et l'Ardèche recherche un équilibre par ajustements longitudinaux et latéraux de sa géométrie. Actuellement, la rivière ne dispose pas encore d'une énergie potentielle susceptible de mettre en mouvement une charge abondante capable de restaurer le tronçon. Cette énergie ne peut pas être dissipée verticalement dans la mesure où le substratum affleure de plus en plus. Peut-être pourra-t-elle alors rajeunir le contact bande active - lit majeur malgré la déconnexion altitudinale.

## 1.3 La recolonisation végétale du Giffre

La recolonisation végétale observée sur le Giffre présente une chronologie très différente de celle des autres rivières (fig. 83). L'explosion des formations arborées a touché le lit majeur dès l'époque sarde, soit plus d'un siècle avant celle de l'Ain et de l'Ardèche.

Les résultats permettent de distinguer trois périodes : avant 1880, 1880-1970, depuis 1970.

Le Giffre est donc une rivière originale car elle dispose d'une forêt en lit majeur antérieure à 1880. Cette forêt est d'origine anthropique puisqu'elle a été favorisée par une politique sarde de protection des berges par végétalisation (Royales Constitutions de 1734). D'après les documents étudiés, il semble que la bande active se

soit réduite au cours des XVIII<sup>e</sup> et XIX<sup>e</sup> siècles alors que la rivière disposait de forts débits solides et liquides (Petit Age Glaciaire). Ce cas démontre que la végétation riveraine peut contrôler, avec une certaine efficacité, la largeur de la bande active.

Entre 1880 et 1934, la largeur de la bande active s'est encore réduite. Cette revégétalisation pionnière semble liée à deux phénomènes. Le premier est exogène et correspond à une réduction des flux liquides et solides à la suite de la fin du Petit Age Glaciaire et d'une revégétalisation du bassin versant. Le second d'origine endogène est dû à une politique active d'endiguement entreprise sur le Giffre moyen à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle. Cette modification artificielle de la géométrie du lit a eu pour effet d'augmenter les vitesses et les puissances hydrauliques et a induit une dissipation verticale de l'énergie et une incision du lit. Cette nouvelle modification de la géométrie provoqua une réduction latérale de l'énergie hydraulique et un développement de la végétation sur un linéaire étroit en pied de digue (photographie 11). L'incision entretient ce phénomène en augmentant la capacité d'écoulement du chenal en eau.

Depuis 1945, la couverture végétale riveraine a été surtout modifiée par l'homme. Quelques processus de bioajustement ont néanmoins été observés. Les extractions en lit mineur ont profondément perturbé la rivière et augmenté artificiellement la largeur du lit aux dépens des pionniers. Le contact entre la forêt alluviale et la bande active a été modifié au moment de l'activité extractive et la connexion de ces deux unités s'est qualitativement réduite. Le nombre d'îlots boisés est en régression et les stades pionniers résiduels sont de moins en moins inondés. Il paraît malgré tout difficile de parler de métamorphose dans la mesure où le style fluvial, bien qu'atténué, n'a globalement pas changé. Depuis l'arrêt des extractions, la bande active a été soumise à une revégétalisation qui augmente la puissance spécifique. Ce phénomène illustre parfaitement la recherche de l'équilibre naturel entre les flux et la géométrie du lit. La renaturation en cours est partiellement favorisée par la construction de seuils successifs destinés à tenir le profil en long. A l'amont de chacun d'eux, la réduction de la pente et donc de l'énergie de la rivière sont favorables au dépôt de la charge et à une recolonisation végétale de pionniers hygrophiles.

#### 1.4 La recolonisation végétale de l'Ouvèze

Les données recueillies sont moins nombreuses sur l'Ouvèze que sur les rivières précédentes compte tenu de sources plus rares et moins riches. Néanmoins, plusieurs éléments intéressants ont été retenus (fig. 83).

Comme sur l'Ain et l'Ardèche, le lit majeur de la moyenne Ouvèze a été soumis à une transformation progressive contemporaine de son occupation. Alors que sur le cadastre ancien, il était très souvent en contact direct avec des marges cultivées, labourées et rarement boisées, il était occupé par une pelouse ou une lande en 1947 et une forêt en 1970.

La biométamorphose présente la même chronologie et sans doute les mêmes causes que celles observées sur les autres rivières de piémont. Ce mouvement est lié à une déprise agricole qui s'est effectuée en deux temps, à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle et en 1945. Si la première rupture n'a pas été reliée directement avec un autre phénomène, celle de 1945 en revanche correspond à un minimum démographique jamais atteint depuis 1880 et à une révolution agricole qui est caractérisée dans cette région rurale par une spécialisation viticole et une concentration de l'activité sur les terroirs les plus intéressants.

Chaque modification de l'occupation du lit majeur s'est accompagnée d'une importante réduction de la bande active. Outre les nouvelles conditions de rugosité hydraulique correspondant à chaque modification de l'occupation du lit majeur, plusieurs facteurs expliquent ce phénomène à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle. La politique d'endiguement a restreint artificiellement la bande active de l'Ouvèze puisque les ouvrages ont été volontairement positionnés à l'intérieur de celle-ci. La déprise rurale du haut bassin, l'importance des travaux du

service RTM notamment sur le versant nord du Ventoux, et la fin du Petit Age Glaciaire ont également contribué à réduire la charge solide et l'ampleur des crues et à favoriser un ajustement de la bande active.

L'explosion arborée en lit majeur entre 1945 et 1970 a joué également un rôle déterminant dans la réduction de la bande active. Par ailleurs, la recherche d'un nouvel équilibre géomorphologique s'est manifestée aussi par une atténuation du style tressé. Si une relation chronologique étroite existe entre la dynamique arborée en lit majeur et un amoindrissement du style, des réserves sont formulées quant à leur lien de causalité. Cette modification physique n'est-elle pas, comme sur beaucoup de rivières, un des derniers signes d'une évolution séculaire correspondant à une modification hydrologique? Malheureusement comme l'évolution des débits avant 1970 n'est pas connue, il apparaît difficile de confirmer ou d'infirmer l'importance respective des causes biologiques et hydrologiques.

Depuis 1970, comme le nombre d'îlots boisés, la bande active continue à se réduire alors que les autres indicateurs du style sont restés stables. L'extraction en lit mineur, qui a engendré une importante incision de certains secteurs, semble être le facteur principal d'explication de cette réduction. Malgré tout, les secteurs les plus incisés ne correspondent pas aux secteurs soumis à la plus forte colonisation végétale. D'autres causes ont donc pu intervenir pour expliquer la réduction de la largeur de la bande active. La biométamorphose qui a touché le lit majeur entre 1945 et 1970, peut avoir eu des effets différés. La réduction de la bande active entre 1945 et 1970 serait liée dans ce cas à des peuplements pionniers qui n'ont atteint leur maturité, le stade de forêt, qu'après 1970. En outre, la tendance à la réduction des pics de crue enregistrée de 1970 à 1992 peut être propice à ce bioajustement.

#### 1.5 La recolonisation végétale de l'Ubaye

La végétation riveraine de l'Ubaye, comme celle du Giffre, présente une évolution contemporaine originale (fig. 83). La forêt alluviale était absente du lit majeur avant 1880. Par ailleurs, celui-ci est très étroit et le fond de vallée était occupé par une bande de tressage active de Jausiers à Méolans. Cet équilibre, qui repose sur des flux solides et liquides importants, correspondait à une période de péjoration climatique et de surpâturage de versants alors plus sensibles à l'érosion.

Le lit majeur résiduel et une grande partie de la bande active ont été soumis à une biométamorphose entre 1880 et 1920. Ce phénomène, qui toucha d'abord un espace abiotique, était indépendant d'une quelconque modification de l'occupation du fond de vallée. Par ailleurs, l'économie rurale traditionnelle était d'abord une économie de versant.

Cette évolution s'est accompagnée d'une modification du style fluvial sur certains secteurs. A l'aval des Thuiles, le style en tresses a été remplacé par un style à méandres. La cause principale de ce phénomène correspond à une politique volontariste de reboisement de 30% de la superficie du bassin à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle. Celle-ci a en effet atteint une grande importance en raison de l'exode rural et de la déprise progressive des alpages. Par son ampleur et son étroite relation chronologique avec l'action de l'Etat, la biométamorphose de la moyenne Ubaye est donc assez unique. Malgré tout, la fin du Petit Age Glaciaire peut également avoir favorisé cette dynamique biologique.

Depuis 1945, quelques phénomènes de bioajustement ont été assez bien mis en évidence. Une augmentation entre 1948 et 1956 et une réduction après 1982 de la largeur de la bande active sont en étroite relation avec l'évolution des pics de crue. Le mouvement observé entre 1945 et 1956 est assez original puisque la variation de la largeur de la bande active est en opposition avec celle observée sur les rivières de piémont. Ces phénomènes d'ajustement ne semblent pas avoir de correspondances étroites avec les indicateurs géomorphologiques. En effet, la bande active s'élargit entre 1948 et 1956 alors que le taux de

sinuosité et le nombre moyen de chenaux se sont réduits. Inversement, après 1982, la bande active se rétracte alors que le taux de sinuosité augmente.

La zone de tressage située à l'amont de Barcelonnette présente une évolution spécifique. Le reboisement de la bande active a été continu de 1948 à 1991. Ce phénomène est sans doute largement dépendant d'un brutal exhaussement du lit en 1957 qui a imposé une réduction de la pente et de la puissance hydraulique. Un bioajustement pluridécennal de la géométrie du lit est donc en cours à la suite de la réduction de l'énergie de la rivière.

La recolonisation végétale des marges de l'Ain est principalement liée à des facteurs endogènes entre 1850 et 1970. Les deux phases distinguées font partie d'un seul et même mouvement de revégétalisation. Ce dernier s'accélère seulement en 1945 à la suite de l'abandon final de cet espace par les communautés rurales traditionnelles et du passage de l'arbuste à l'arbre et s'étend également à la bande active. Ce dernier phénomène est habituel lorsque survient une biométamorphose mais des facteurs secondaires et exogènes sont également intervenus dans ce processus.

Le lit majeur de la moyenne Ardèche est caractérisé par une déprise progressive depuis le XIX<sup>e</sup> siècle. Cette évolution a été marquée par deux événements majeurs : le passage du labour à la pelouse et de la pelouse à la forêt. Cette dynamique a modifié la rugosité hydraulique du tronçon et provoqué une réduction continue de la largeur de la bande active.

Les extractions récentes ont d'abord contrarié l'évolution précédente mais leur arrêt a finalement accéléré la métamorphose physique et biologique du tronçon.

Le Giffre a lui été soumis à une biométamorphose d'origine anthropique dès l'époque moderne. Depuis cette période, seuls quelques bioajustements de moindre ampleur, liés à l'homme (reboisement du bassin versant, endiguement, extraction) et à la nature (fin du Petit Age Glaciaire) ont pu être identifiés.

L'Ouvèze a subi au cours de l'époque contemporaine la même évolution biogéographique que l'Ardèche et l'Ain. Son lit majeur a été soumis à une biométamorphose entre 1945 et 1970 qui s'est accompagnée d'une forte réduction de la bande active et d'une modification du style fluvial. La tendance à la réduction des pics de crue depuis cette date explique que la recolonisation végétale de la bande active se soit prolongée ensuite.

L'Ubaye enfin, a subi une biométamorphose précoce entre 1880 et 1920, correspondant à une atténuation des flux liquides et solides à la suite du reboisement volontaire d'un tiers du bassin versant. Cette dynamique toucha une grande partie de la bande active.

Depuis 1948, les marges végétales progressent et régressent au gré de périodes de plus ou moins forte hydraulicité.

## 2. Typologie des biométamorphoses et des différents mécanismes fonctionnels

Nous présenterons dans ce second point les principales biométamorphoses qui ont touché les rivières alluviales du Sud-Est de la France au cours de la période contemporaine.

Par ailleurs, l'analyse des cinq rivières d'étude permettra également de mettre en évidence les grandes fluctuations contemporaines de la superficie des forêts riveraines.

## 2.1 Typologie de la biométamorphose des lits fluviaux dans la France du Sud-Est

Trois principaux types de biométamorphose, d'explosion des formations arborées en lits mineur et majeur, sont aujourd'hui reconnus sur les rivières alluviales de montagne et de piémont du Sud-Est de la France. Chacune présente une chronologie et une localisation géographique particulière (Piégay *et al.*, 1994a).

### **2.1.1 Les forêts alluviales intramontagnardes de protection**

Certaines forêts alluviales intramontagnardes peuvent être anciennes malgré la pression exercée par les populations sur des espaces considérés comme potentiellement productifs. Elles ont été considérées par les autorités comme des moyens de lutte naturelle à encourager, voire à imposer aux communautés rurales riveraines. En Suisse, les mises à ban de forêts alluviales existent dès le XIV<sup>e</sup> siècle (Schuler, 1994). En 1688, la Souveraine Chambre des Comptes de Savoie interdit de couper bois et taillis le long du Clévioux, le torrent de Samoëns, "à 10 toises près du torrent dans les comunages" (Rousset-Mestrallet, 1985). Si ces premières mesures sont précoces, P. Mougins (1914) considère que la législation torrentielle n'est apparue qu'en 1729 en Savoie.

C'est dans le cadre du respect de cette législation qu'il faut sans doute interpréter la présence sur la Mappede sarde (1734) d'un corridor arbustif dans la vallée du Giffre. Les conditions hydroclimatiques ont sans doute joué un grand rôle dans le maintien d'une telle politique jusqu'à la fin du Petit Age Glaciaire. La fréquence de l'inondation de la plaine de Samoëns-Taninges augmente en effet considérablement à partir du XVIII<sup>e</sup> siècle. Pour des raisons qui tiennent sans doute à l'histoire des sociétés riveraines et des réglementations ainsi qu'aux fluctuations hydroclimatiques régionales encore très mal connues, certaines ripisylves intra-alpines sont donc d'installation précoce.

La politique suivie sur le Haut-Rhône savoyard avant 1860 était semblable à celle observée sur le Giffre (Bravard, 1981). L'obligation faite par les communes d'entretenir des peupliers dans les fies visait à fournir du bois de longueur et la pratique de la taille blanche tous les 3 ou 6 ans permettait l'accueil du bétail dans les "brotteaux". La ripisylve, comme au coeur des Alpes, était une réalité à la fois économique et défensive.

### **2.1.2 Le reboisement spontané des rives fluviales dans les vallées faiblement aménagées**

Le reboisement spontané récent de corridors alluviaux de piémont constitue le second type de biométamorphose.

Même si la chronologie de la mise en place des ripisylves n'est pas homogène dans les différentes vallées de la France du Sud-Est, un des faits majeurs de l'histoire des rivières est le boisement des rives depuis une quarantaine d'années. La chronologie et les causes de cette métamorphose biologique diffèrent néanmoins d'une rivière à l'autre.

La recolonisation végétale n'est enregistrée qu'à partir de la fin des années 1940 le long de l'Ain, de l'Ardèche et de l'Ouvèze, avant de s'essouffler au début des années 1970, une fois l'espace disponible occupé. Elle s'effectue indistinctement au détriment du lit vif et des espaces ouverts bordant le lit des cours d'eau. La cause principale de cette recolonisation est le progressif abandon des usages agricoles traditionnels. Dès la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, un premier exode agricole provoque l'abandon des espaces les moins productifs et les plus menacés de telle sorte que les terres labourables évoluent en landes sèches pâturées ou arbustives.

Après la dernière guerre, les mutations de l'agriculture au profit de spécialisations régionales et de pratiques intensives s'accompagnent d'un abandon de l'élevage extensif, celui des chèvres en Ardèche ou celui des bovins dans les "brotteaux" de l'Ain.

Sur l'Ubaye, ce sont les travaux de correction torrentielle et le reboisement des versants qui, en réduisant les flux liquides et solides, semblent avoir favorisé une recolonisation végétale spontanée dans le lit mineur de la rivière (photographies 16 et 17). Ce cas, sans doute peu répandu, présente une double originalité :

- la biométamorphose est précoce puisqu'elle a touché la vallée à l'aube du XX<sup>e</sup> siècle,
- les causes du phénomène sont anthropiques et ont une origine extérieure au tronçon puisqu'elles n'interviennent pas directement sur la géométrie du lit mais sur les flux qui la façonnent.

### 2.1.3 L'explosion végétale dans les vallées aménagées

Le troisième type de biométamorphose, observé dans les vallées aménagées, est étroitement dépendant d'ouvrages qui ont modifié les conditions d'équilibre entre les flux et la géométrie du lit. Par conséquent, chaque cas est spécifique puisque sa chronologie et sa localisation correspondent à celles de l'aménagement.

L'aménagement des cours d'eau pour la production hydroélectrique ou pour la fourniture d'eau à usage agricole et urbain a sévèrement modifié l'hydrologie de certaines rivières à fond caillouteux ainsi que le transport de la charge de fond. C'est le cas, par exemple, des vieux Rhône depuis 1953 (date de mise en service de Donzère-Mondragon) et de la Durance court-circuitée depuis la réalisation du réservoir de Serre-Ponçon et du canal de Provence en 1959.

La réduction du périmètre mouillé favorise le développement des ligneux pendant la période végétative et la réduction du transport solide diminue les contraintes exercées sur la végétation en place. Il en résulterait un envahissement du lit vif malgré le passage de crues si les cahiers des charges de la Compagnie nationale du Rhône et d'E.D.F. ne prévoyaient pas un essartage régulier. Les vieux Rhône doivent en effet assurer l'écoulement des crues dans des conditions identiques à celles qui prévalaient avant l'aménagement tandis que le domaine public durancien doit assurer l'écoulement d'une crue de  $1600 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  à Cadarache (Gondé, 1981). Les tronçons de cours d'eau où cette politique n'est pas mise en oeuvre, comme à l'aval des réservoirs du Drac entre le réservoir de Saint-Georges-de-Commiers et le confluent de la Romanche, donnent une image de ce que peuvent être les lits fluviaux soumis à ce type de biométamorphose (Pautou *et al.*, 1993; Peiry et Vivian, 1994).

## 2.2 Les grandes fluctuations contemporaines de la superficie des forêts riveraines

Trois principaux phénomènes ont marqués les marges végétales des cours d'eau étudiés au cours de l'époque contemporaine :

### - La recolonisation en lit majeur

Les cinq rivières étudiées ont toutes connues une biométamorphose à différentes périodes au cours des deux derniers siècles.



Photographie 16 - La végétation alluviale à la confluence de l'Ubaye et du torrent de la Gimette au droit du village des Thuiles, une formation basse et discontinue en 1895  
{source : service RTM de Digne}.



Photographie 17 - La végétation alluviale à la confluence de l'Ubaye et du torrent de la Gimette au droit du village des Thuiles, une formation arborée mûre en 1993.

Dans tous les cas, l'homme a été à l'origine de ce phénomène soit en modifiant la dynamique des flux par le reboisement du bassin versant ou la construction d'ouvrages, soit en favorisant volontairement un corridor forestier, soit encore en abandonnant cet espace alors soumis spontanément à la croissance et à la multiplication naturelles de plantes arborées et arbustives. La période 1945-1970 est ainsi une des phases fondamentales de cette dynamique puisqu'elle a été identifiée sur trois des cinq rivières. Elle correspond à une révolution agricole qui a touché la plupart des campagnes françaises et conduit à une spécialisation culturelle, la céréaliculture, l'arboriculture ou la viticulture se concentrant sur les meilleures terres.

Le lit majeur est donc aujourd'hui plus naturel qu'il ne l'était dans le passé. Ses communautés végétales s'inscrivent à nouveau dans une évolution climacique, le stade ultime des successions écologiques, si aucune phase régressive n'intervenait, correspondrait en effet en Europe à une forêt. Comme ce reboisement réagit à des facteurs endogènes, il se manifeste avec une extrême rapidité, en moins de 20 ans sur les rivières de piémont et correspond finalement à un processus banal d'enrichissement, typique d'une déprise spatiale telle que l'on peut l'observer aujourd'hui dans certaines régions agricoles.

Cependant, en offrant un compartiment forestier à l'hydrosystème, cette renaturation modifie profondément les conditions physiques, et sans doute chimiques et trophiques, du compartiment aquatique. Cette biodynamique peut par exemple influencer le style géomorphologique; la biométamorphose semble ainsi sur l'Ouvèze avoir atténué les caractéristiques du tressage de la rivière.

Ainsi, la gestion de tels espaces doit aujourd'hui prendre en compte ces modifications, peut-on en effet préconiser les mêmes interventions que dans le passé alors que la rivière qui était autrefois un hydrosystème mis en valeur, est aujourd'hui un hydrosystème forestier?

#### - La réduction de la bande active au cours du XIX<sup>e</sup> siècle et du début du XX<sup>e</sup> siècle.

Ce phénomène semble être en étroite relation avec la biométamorphose qui a touché les lits majeurs. Il apparaît évident que la largeur des cours d'eau soumis au reboisement de leurs marges est plus étroite aujourd'hui que dans le passé. Néanmoins, sur les rivières de piémont, la rétraction de la bande active a été observée avant même l'explosion des formations arborées en lit majeur.

La modification de l'occupation du lit majeur et la reconversion de ces terrains au cours du XIX<sup>e</sup> siècle sont sans doute à l'origine d'une telle évolution. Nous avons montré que sur l'Ouvèze et sur l'Ardèche, les terres labourées étaient riveraines de la rivière au XIX<sup>e</sup> siècle. La largeur de la bande active était alors maximale car elle ne disposait d'aucun contrôle biologique latéral. Celui-ci n'intervint progressivement que lors du passage du labour à la pâture et à la lande.

La question est alors de savoir si cette dynamique d'utilisation de l'espace fut largement répandue. Si tel est le cas, les facteurs biologiques peuvent avoir joué un rôle majeur dans la réduction des lits fluviaux observée au XIX<sup>e</sup> siècle. Compte tenu de la chronologie du passage du labour à la pâture et à la lande, les transformations agricoles qui ont progressivement touché les campagnes peuvent avoir contribué à son émergence en favorisant notamment le développement d'un troupeau plus abondant et la sélection des terroirs.

En revanche, si le phénomène ne touche que les corridors alluviaux qui ont été soumis à une pression démographique exceptionnelle et donc à une mise en labour de toutes les terres disponibles, les facteurs biologiques ne peuvent être considérés que comme secondaires. Cette seconde hypothèse se fonde sur le fait que certains cours d'eau tels que l'Ain ne présentent par de terres labourées riveraines du lit mineur dans la première moitié du XIX<sup>e</sup> siècle. Il est possible que cette différence soit due à la stratégie de mise en valeur. A cette époque, le lit majeur de l'Ain est une pâture commune alors que sur l'Ardèche, l'appropriation est de type privée. Par conséquent, le type de statut foncier du lit majeur peut avoir conduit à une stratégie différente de mise en valeur, collective ou individuelle. Malgré tout, la première hypothèse ne peut pas être rejetée dans la mesure où le labour a pu exister antérieurement sur la rivière d'Ain.

Par ailleurs, les phénomènes biologiques endogènes caractérisés par le passage du labour à la lande et de la lande à la forêt, ne sont pas l'unique cause de ce processus. Sur le Giffre par exemple, une réduction de la largeur de la bande active a été observée bien après la biométamorphose qui a touché son lit majeur.

Les paysages fluviaux alpestres se sont transformés profondément entre la fin du XIV<sup>e</sup> siècle et le XIX<sup>e</sup> siècle dans le sens d'un développement d'une morphologie de tressage actif. Alors que la responsabilité des populations montagnardes a longtemps été mise en cause, les conceptions récentes insistent sur l'effet de la dégradation climatique du Petit Age Glaciaire sur des versants fragilisés par une occupation humaine ancienne. Celle-ci fut responsable d'une probable aggravation des crues et de l'augmentation des transports de charge de fond. Il en résulta une aggradation des lits fluviaux, un élargissement de la bande active (espace remanié annuellement par les crues) et une progradation de la morphologie de tressage vers les piémonts à une échelle de temps séculaire (Peiry, 1987b, Bravard 1989, Salvador 1991, Gautier 1992).

Compte tenu de cette évolution, il est admis que la fin de cette période de péjoration climatique et l'abandon, voire le reboisement des versants, ont favorisé le processus inverse, la rétraction des bandes actives. L'Ubaye, dont la réponse au reboisement a été rapide, est un cas exceptionnel car il confirme le rôle de l'homme dans ce processus au même titre que le rôle de la nature. Il apparaît ainsi impossible de rejeter l'un des deux facteurs, voire d'évaluer l'importance relative de chacun d'eux. Par ailleurs, cette réduction de la bande active peut être un phénomène rapide. Sur l'Ubaye, le tronçon des Thuiles était large et non végétalisé en 1894 et alors que le reboisement des versants est effectué au cours des années 1880-1900, l'explosion végétale en lit mineur est datée de 1910-1920.

#### - La mobilité latérale du contact bande active - forêt alluviale depuis 1950

Les mouvements récents ont des caractères un peu différents de ceux observés précédemment. Comme ils dépendent d'interventions directes sur le site, leur périodicité est plus courte, d'ordre décennal alors que les mouvements antérieurs correspondaient à des interventions indirectes sur les flux et avaient donc une réponse différée. A l'exception de l'Ubaye où la réaction a été rapide car le reboisement était exceptionnel et le bassin versant était de faible superficie, ces mouvements présentaient une périodicité pluridécennale à séculaire.

La mobilité récente du contact bande active - forêt alluviale peut s'expliquer en fait par plusieurs phénomènes :

Le premier correspond à une intervention brutale de l'homme en lit mineur. Les protections de berges contribuent le plus souvent, compte tenu du choix de leur localisation, à réduire la bande active. De même, la mise en place puis le retrait d'un site d'extraction en lit mineur sont également à l'origine d'un tel processus puisqu'ils induisent successivement deux types d'ajustement de la végétation à la géométrie du lit, le premier étant régressif et provoqué lors de l'installation de l'activité dans le lit, le second étant progressif et naturel, lors de son abandon.

Le second correspond à des causes d'ordre naturel. Sur l'Ubaye, la crue exceptionnelle de 1957 a déposé une charge très abondante à l'amont de Barcelonnette et provoqué un exhaussement du lit soumis depuis à une recolonisation végétale continue. Celle-ci devrait entraîner progressivement l'augmentation de la puissance spécifique et permettre l'exportation de cette charge en excès. Par ailleurs, la progression ou la régression de la végétation en lit mineur peut être également une réponse à une fluctuation périodique des pics de crue.

## Conclusion

La démarche proposée a permis de bien dissocier l'évolution de la végétation dans le lit majeur et les fluctuations latérales du contact bande active - lit majeur. Il s'agit de deux mouvements qui ne sont que rarement synchrones et interdépendants.

Aussi, le terme de biométamorphose a été utilisé pour définir une transformation de la couverture végétale riveraine liée au changement durable des caractéristiques climatiques ou anthropiques. Au cours de ce type de phénomène, il existe toujours des ajustements latéraux par rapport à la bande active car les conditions de rugosité hydraulique se modifient également. Lorsque la biométamorphose correspond à un développement arboré, la bande active se réduit, s'ajuste à ces nouvelles conditions biostructurantes.

En l'absence de modification du couvert végétal en lit majeur, la dynamique fluviale peut elle-même se modifier et permettre de possibles bioajustements. Il semble ainsi que la végétation puisse intervenir et contribuer à une métamorphose fluviale.

En milieu tempéré, la végétation climacique des bords de rivière est une végétation arborée. Or, après plusieurs siècles d'intervention anthropique, les formations observées présentent des caractères très éloignés de celle du climax. Par conséquent, il existe une certaine variabilité temporelle de la végétation en lit majeur et en lit mineur indépendante des seuls flux liquides et solides.

Aussi, dans ce cadre là, nous proposons un modèle modifié de l'équilibre dynamique entre les flux et la géométrie, proposé par S.A. Schumm (1977) et qui intègre les facteurs biostructurants (fig. 85). Un troisième élément interactif, la dynamique végétale en lit majeur, intervient ainsi dans la recherche de l'équilibre dynamique. La géométrie du lit (largeur, profondeur, tracé en plan) varie en effet selon le type de couvert végétal de ses marges. En référence à M. Morisawa (1985), les facteurs ont été ordonnés. Le modèle met en avant le rôle de l'homme comme un facteur d'ordre 2 au même titre que le climat; la géologie et la topographie étant d'ordre 1. Son influence sur la végétation et sa dynamique d'évolution (progression et régression des stades arborés) en lit majeur ainsi que sur les flux liquides et solides est fondamentale. L'ensemble de ces variables exogènes à gradient latéral ou longitudinal est à l'origine des formes fluviales et conditionne le facteur d'ordre 3, la géométrie en plan et en travers du lit mineur.

Après avoir mis en évidence l'évolution contemporaine de la couverture végétale en lits majeur et mineur sur cinq cours d'eau à forte énergie du bassin du Rhône, une démarche synchronique de la dynamique des structures biologiques est proposée à partir de relevés de terrains.

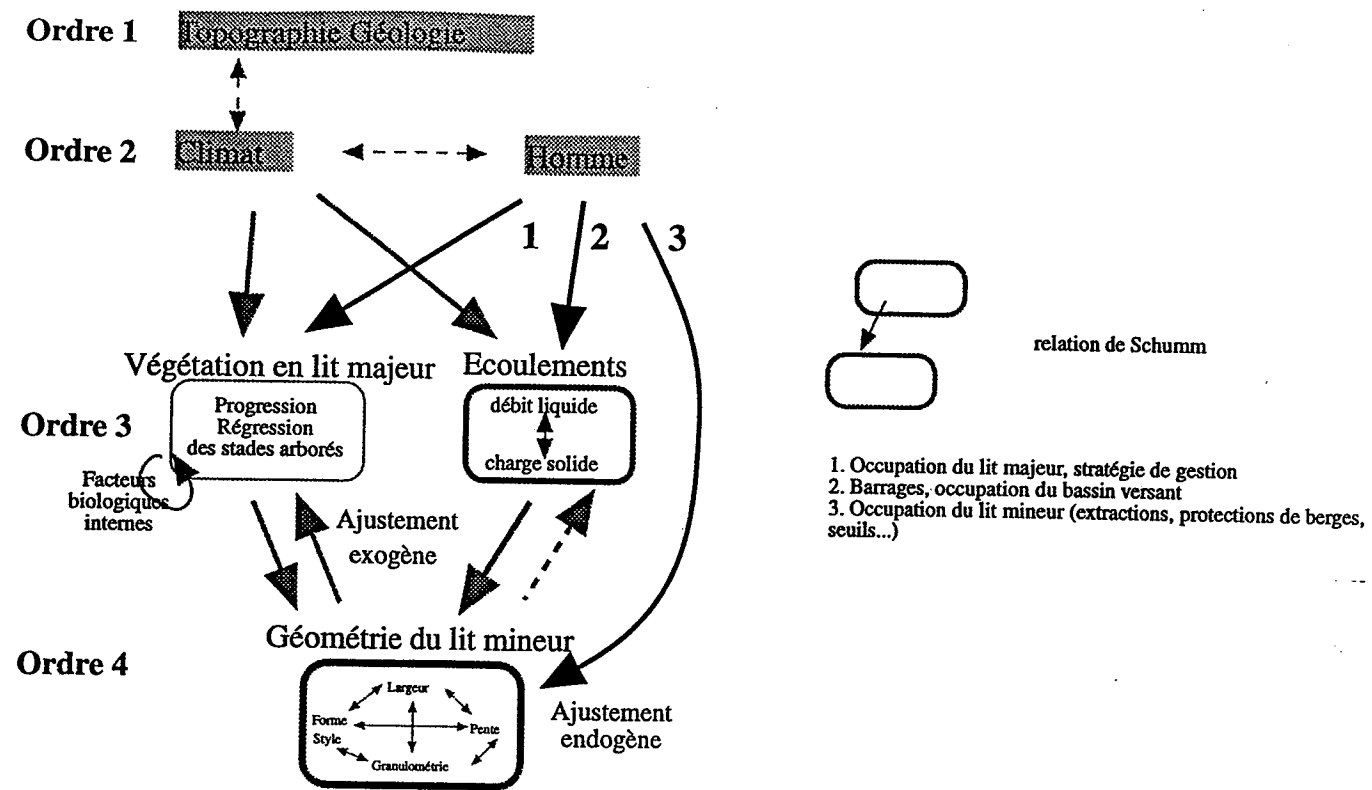


Figure 85 - Modèle d'équilibre dynamique des facteurs structurants, physiques et biologiques des hydrosystèmes anthropisés.

2ème Partie:  
**LE FONCTIONNEMENT DES STRUCTURES BIOLOGIQUES**

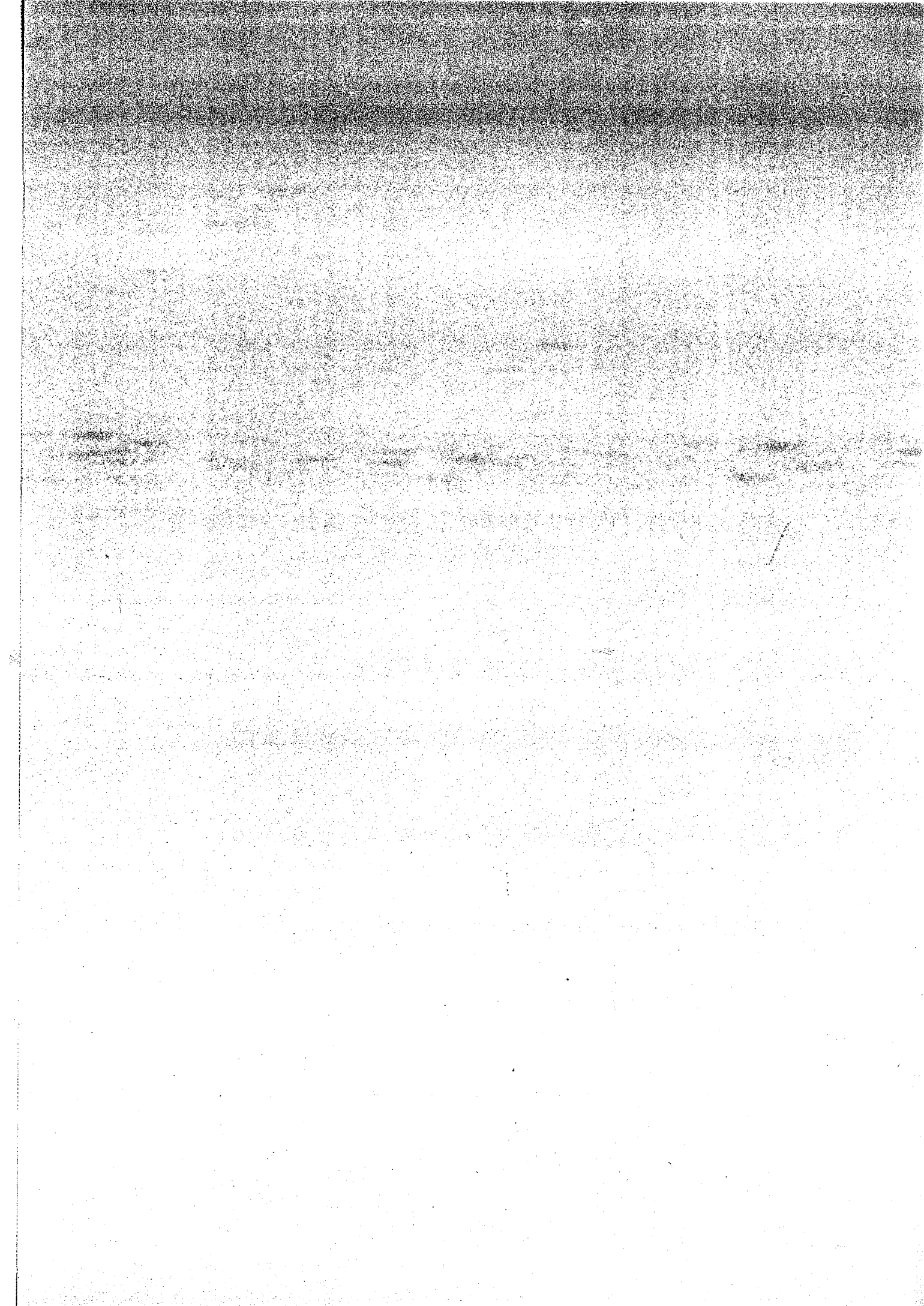
I Cadre bibliographique et secteurs d'étude

II Crues et variabilité spatiale de l'écotone bande active - lit majeur

III. Les processus hydromorphologiques en lits majeurs boisés

IV La dynamique des débris ligneux grossiers

V Synthèse de la seconde partie



Les communautés biologiques de l'hydrosystème sont en équilibre dynamique avec les conditions physiques. Il existe un ajustement permanent et interactif des différents éléments structurels biotiques (végétaux) et abiotiques (hydrologie, morphologie). La morphologie s'ajuste aux conditions hydrologiques et les conditions hydromorphodynamiques dictent la distribution des plantes, la répartition des communautés forestières.

L'organisation des successions végétales riveraines des cours d'eau est contrôlée par le niveau des eaux moyennes, par les hauteurs d'eau de crue, par les durées de submersion en période végétative, par la dynamique des niveaux de nappe et par la capacité de germination des graines (Pautou *et al.*, 1979). Indépendamment des actions humaines exercées directement sur les ripisylves, il résulte de ces mécanismes que toute perturbation hydrologique ou sédimentaire se répercute rapidement sur l'organisation des successions végétales, donc sur la nature des ligneux ou des peuplements présents sur les berges et, par voie de conséquence, sur la capacité du chenal de crue.

Les végétaux ne sont pas des acteurs statiques mais des acteurs dynamiques de la mosaïque. Ils peuvent parfois agir sur l'écoulement c'est-à-dire sur les géoformes et les processus de dépôt ou d'érosion. Réciproquement, les formations végétales arborées riveraines peuvent constituer elles-mêmes un élément structurant de l'écosystème et agir ainsi sur l'hydraulique et la morphologie.

Après avoir développé les résultats bibliographiques qui existent dans ce domaine et présenté les sites d'observation, seront étudiées successivement :

- la mobilité spatiale du contact bande active - lit majeur c'est-à-dire la réaction en plan de la ripisylve à des événements hydrologiques exceptionnels,
- l'influence des formations végétales sur les dynamiques hydrauliques, sédimentologiques et morphologiques en lit majeur,
- la dynamique des débris ligneux grossiers .



## **I Cadre bibliographique et secteurs d'étude**

Nous présenterons tout d'abord les résultats bibliographiques concernant les potentialités structurantes de la végétation riveraine. Ces apports sont en effet fondamentaux et ont permis de caler précisément notre démarche.

### **1 La relation structures biotiques - structures abiotiques: approche bibliographique**

#### **1.1 La distribution végétale, une réponse à la dynamique fluviale**

La végétation constitue l'indicateur privilégié de la dynamique de la mosaïque fluviale. En effet, l'extension, la composition et l'âge de la couverture végétale sont une réponse directe à la dynamique fluviale présente et passée. (Carbiener, 1970; Nanson, 1977; Hupp et Osterkamp, 1985; Pautou et Décamps, 1985). Les processus géomorphologiques régulent les différents écosystèmes et leur taux de développement. Structure, âge, abondance et autres caractères des communautés forestières varient d'une unité morphologique à l'autre (Swanson et Lienkaemper, 1979).

##### **1.1.1 La distribution des plantes**

###### **- Morphologie et distribution des plantes**

C.R. Hupp et W.R. Osterkamp (1984) ont montré qu'il existe une forte relation entre les unités morphologiques et les espèces végétales. Certaines espèces ou groupes d'espèces apparaissent fortement liés à une unité donnée. En 1985, ces auteurs ont dressé des listes d'espèces présentes sur chaque surface le long d'un cours d'eau de Virginie. Le but était de déterminer la distribution de chaque espèce, sa persistance et sa fidélité vis-à-vis de telle ou telle surface. Sur 60 espèces présentes, 22 étaient représentatives de formes fluviales. L'analyse statistique montra que si de nombreuses espèces se développent indistinctement sur deux formes adjacentes, elles peuvent être en revanche, largement absentes d'une troisième. Enfin, pour de nombreuses plantes, la taille des sédiments est secondaire par rapport au facteur géomorphologique. Sur les 43 espèces observées, seules onze montrent une association significative avec une classe de taille de sédiments. Néanmoins, la variation de la taille des sédiments dépend de la géomorphologie, de la proximité ou de l'éloignement du chenal.

Ainsi, l'altitude par rapport au chenal est un facteur majeur de localisation des espèces. Cette relation paraît être plus importante que les relations entre la distribution de la végétation et la taille des sédiments ou la profondeur du toit de la nappe phréatique.

Ce sont finalement les processus hydrogéomorphologiques (érosion et dépôt) qui façonnent les formes supportant les différents assemblages de végétation lors des épisodes de crues. Si les unités morphologiques semblent indépendantes de la végétation, cette dernière peut cependant exercer un contrôle sur l'exhaussement ou encore la stabilité en plan de l'unité. En fait, une fois établie, elle devient une part intégrale du système fluvial.

## - Crues et distribution des plantes

Plusieurs études ont mis en évidence que la distribution des plantes varie en fonction de la fréquence des crues. R.J. Sigafos (1964) a montré que sur le Potomac, les dommages liés aux inondations sont une des causes du développement végétal en bandes parallèles au cours d'eau et généralement conformes aux différentes unités morphologiques. T.M. Yanosky (1983) a montré également que la distribution des plantes et de leurs dommages est contrôlée plus par l'intensité que par la fréquence des crues.

Néanmoins, il existe une corrélation apparente entre la distribution des espèces et la fréquence des inondations c'est-à-dire une relation entre la position de la plante dans le lit majeur et l'intensité de la crue. Dès lors, il y a une compétition entre les différentes espèces particulièrement dans les espaces ouverts et battus par les crues les plus importantes.

### 1.1.2 Une distribution dynamique

Les communautés végétales sont installées sur des portions de l'espace alluvial de différents âges. Au fur et à mesure que l'on s'éloigne du chenal principal, les paliers d'altitude croissante sont soumis à un impact des eaux courantes de plus en plus faible et de moins en moins fréquent. Les chenaux constituent des linéaires à partir desquels s'organise la végétation alluviale. Dans la basse vallée de l'Ain, A.L. Roux *et al.* (1986) ont montré que la flore, très riche et diversifiée, se distribue latéralement en fonction de la proximité du chenal, des flux principaux. Les groupements aquatiques et semi-aquatiques, les groupements pionniers sur dépôts graveleux récents, les groupements de pelouses et de landes, les groupements forestiers hygrophiles (saussaie, aulnaie), mésohygrophiles et mésophiles se succèdent de l'axe fluvial aux versants de la vallée.

J. Girel et G. Pautou, (in A.L. Roux *et al.*, 1986) ont montré que la réalité est plus complexe encore en raison de la dynamique fluviale. Ils ont mis en évidence la juxtaposition de trois bandes parallèles qui sont individualisées par des communautés spécifiques et des tendances évolutives propres à la basse vallée de l'Ain : une bande réversible à régénération active, une bande qui n'est plus soumise à la régénération (les flux hydriques épisodiques sont incapables de renverser l'évolution; il y a donc irréversibilité), une bande enfin d'interface partiellement inondée lors de petites crues et soumise à des processus antagonistes de construction et de destruction où les successions végétales peuvent se dérouler jusqu'au stade forestier.

En fait, la végétation enregistre la migration latérale de la rivière. Ainsi, la répartition de la végétation est liée à la progression des convexités mais aussi à des processus secondaires locaux. P. Fagot *et al.*, en 1988, ont étudié quatre lobes de convexité de la basse rivière de l'Ain et décrit quatre phases de colonisation du lit majeur par le Peuplier noir. Avant 1950, l'arbre était rare sur les marges de la bande active car les événements hydrologiques majeurs étaient fréquents et interdisaient durablement leur implantation. De 1950 à 1960, une colonisation soudaine du lit majeur a été observée en liaison avec une redistribution des flux hydriques, le train de méandres ayant modifié son tracé. Entre 1960 et 1980, cette colonisation s'accéléra encore grâce à une réduction naturelle de la quantité d'eau écoulée. En 1980, enfin, la colonisation se ralentit, voire régressa.

La végétation est également un indicateur de la sédimentation. G.C. Nanson (1977) a étudié les successions forestières de deux méandres de la rivière Beatton au Canada et a montré que la sédimentation, rapide sur les levées les plus récentes, favorise une population de peupliers jeunes et denses, d'âge uniforme et non reproductifs. La richesse des espèces de sous-bois et la densité des arbres augmentent rapidement au cours des cent premières années de la succession. Un déclin brutal de la sédimentation sur des surfaces de plus de cinquante ans d'âge facilite la colonisation rapide par une couverture dense de sapins. Un tel développement a un effet sur les caractères de la succession longtemps après la mort de la première génération de résineux.

Ainsi la sédimentation alluviale impose de profondes perturbations aux caractères de la succession végétale. Or, cette végétation peut aussi influencer sur le taux de sédimentation. Morphodynamique et végétation sont donc interdépendants dans l'hydrosystème de la plaine. Il convient donc d'aborder la végétation non comme un acteur statique mais comme un acteur dynamique.

## 1.2 Un facteur de contrôle de la dynamique morphologique

Les formations végétales arborées riveraines exercent un contrôle sur les conditions physiques de l'environnement aquatique. Cette démarche a été largement développée lors de la première partie. La végétation exerce un contrôle sur les processus fluviaux et la morphologie. Elle influence la forme du chenal en limitant l'érosion des rives et modère le transport des sédiments, des nutriments et de l'eau.

Certains auteurs ont abordé l'influence de la végétation du bassin versant sur l'hydrologie (Harr *et al.*, 1982), de la végétation rivulaire sur la sédimentologie (Dahlskog, 1966; Nanson et Beach, 1977; Lynch *et al.*, 1977; Witt, 1985) et la morphologie (Hadley, 1961; Hickin, 1984; Gregory et Gumell, 1988; Clifton, 1989). La plupart de ces études portent sur des rivières de rang 1 à 3 situées dans des régions topographiquement et climatiquement très différentes. La végétation de berge influe d'autant plus sur la morphologie et l'hydraulique du cours d'eau que celui-ci est de faible largeur.

Dans l'exemple développé par G.C. Nanson (1977), le taux élevé de sédimentation sur les levées de berge de moins de 50 cm est le résultat combiné de la proximité du chenal et de la forte densité des arbres. L'effet d'écran joué par la végétation explique un premier déclin de la sédimentation. Un second déclin abrupt, se présente sur des surfaces fréquemment inondées, vieilles de plus de 200 ans. Ceci est à corrélérer avec un déclin prononcé de la densité des arbres qui implique une vitesse plus grande de l'écoulement et réduit le dépôt de la charge en suspension. En effet, le nombre des espèces de sous-bois se réduit fortement dans une sapinière mûre.

Les racines stabilisent la berge, retardent l'érosion et favorisent localement des encorbellements (Smith, 1976; Hickin et Nanson, 1975, 1984; Meehan *et al.*, 1977; Bergeron et Roy, 1985). Selon G.D. Smith (1976), les rives peuvent résister à l'érosion grâce à leur système racinaire. Il a noté que l'Alexandra Valley, cours d'eau proglaciaire (débit de plein bord de  $85 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) est d'une stabilité remarquable depuis 2 500 ans. Cette résistance des berges a favorisé l'aggradation de la plaine d'inondation par les dépôts de fin de crue et la croissance des racines se fait parallèlement à l'accumulation. Les plus profondes finissent par mourir mais, enterrées, elles continuent à protéger de l'érosion la partie basale des berges. Le climat froid réduit l'activité bactérienne c'est-à-dire la décomposition de ces racines. Ce même auteur précise que l'érodabilité des berges varie inversement et exponentiellement en fonction de la densité de racines.

La forme des berges est contrôlée par la densité, la taille et le déploiement des racines (Bergeron et Roy, 1985). Un grand nombre de petites racines présente un coefficient de résistance à l'érosion beaucoup plus important que quelques grosses racines. Sur un petit cours d'eau, ces auteurs montrent que le chenal est étroit et profond lorsque les deux rives sont occupées par des graminées. Le chenal est plus large et moins profond quand au moins l'une des deux rives est occupée par des aulnes. D'une manière plus générale, l'empiétement végétal dans l'environnement fluvial tend à réduire la largeur du chenal c'est-à-dire notamment la tendance au tressage. Il influe encore sur le taux de migration latérale.

L'approche bibliographique a permis de caler la démarche proposée : l'influence de la végétation sur les éléments abiotiques de l'hydrosystème que sont les écoulements liquides et solides et les géoformes.

Avant de mettre en évidence une quelconque influence du végétal sur les écoulements, il est important de connaître les secteurs d'étude. Les principales espèces ligneuses et les stades de succession, la capacité d'évolution en plan et la régénération dans le temps de la mosaïque seront ainsi exposés sur chacun des sites.

## 2. Les secteurs d'étude

14 secteurs ont été étudiés dont 2 sur l'Ain et l'Ouvèze, 3 sur le Giffre et l'Ubaye et 4 sur l'Ardèche (fig. 86).

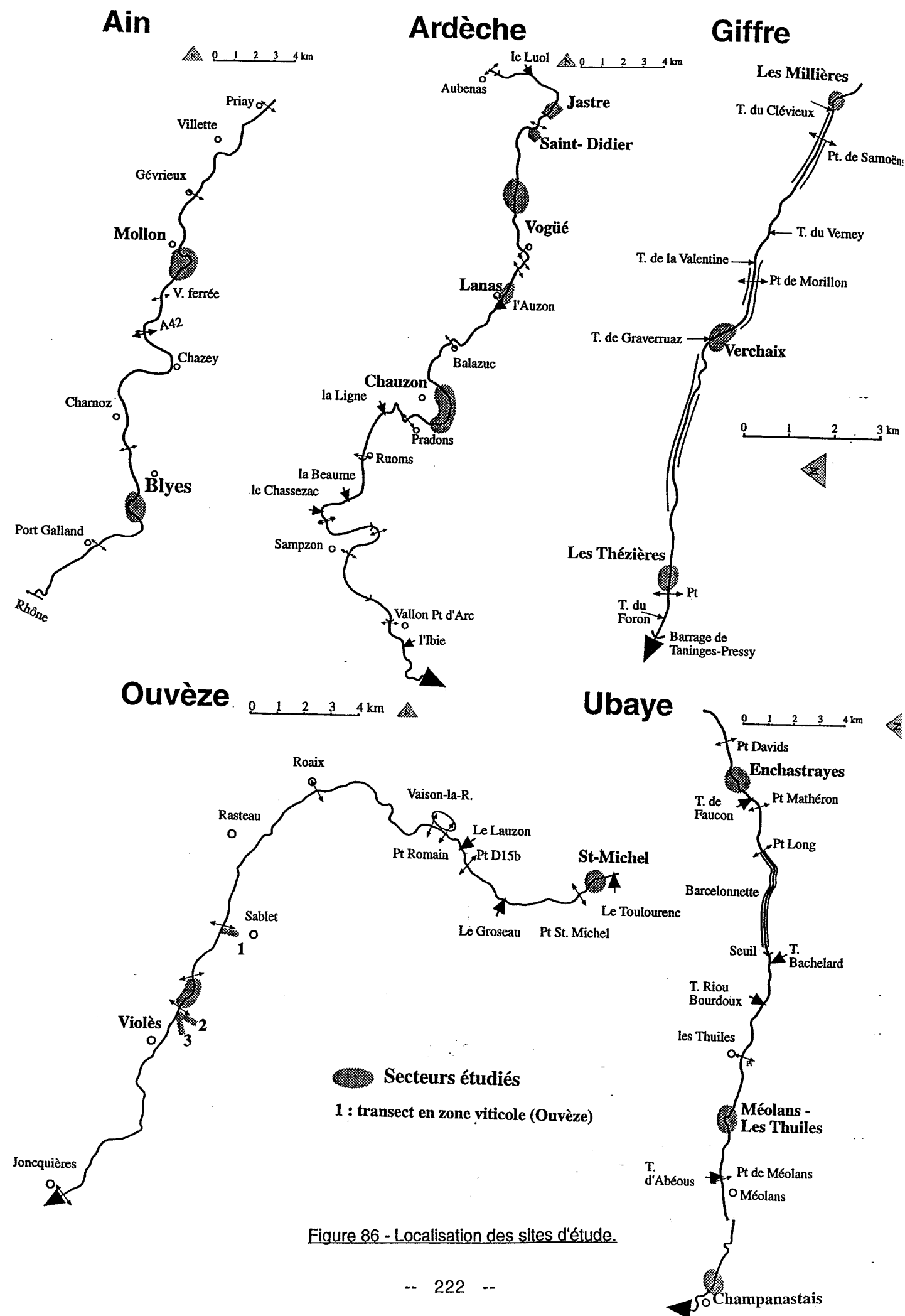


Figure 86 - Localisation des sites d'étude.

## 2.1 L'Ain : les sites de Mollon et de Blyes

La basse vallée de l'Ain présente des successions végétales d'une grande richesse. Une carte de végétation au 1/10 000° a été établie par J. Girel et G. Pautou en 1990 pour l'ensemble de la basse vallée. Elle met en lumière les successions et les groupements végétaux déterminés en fonction notamment de la dynamique fluviale. Ces groupements sont influencés par les eaux superficielles ou souterraines. Quelques uns, très éloignés de l'axe principal d'écoulement et formés sur des alluvions grossières et filtrantes, sont peu influencés.

Il est possible de distinguer un certain nombre de "ceintures". La ceinture des herbacées et celle des ligneux bas se présentent dans les espaces qui ne sont inondés que lors des hautes eaux. Celle des bois tendres ne l'est que lors des crues alors que celle des bois durs ne l'est que lors de crues exceptionnelles. Aussi la végétation et la dynamique fluviale sont en étroite interrelation. G. Pautou a distingué environ 16 groupements phytocologiques au cours des relevés de l'été 1993. Une classification écologique des espèces présentes dans les communautés de la basse vallée de l'Ain est ainsi proposée dans l'Annexe III.

L'Ain décrit actuellement des sinuosités marquées qui l'apparentent à une rivière à méandres avec des bancs de convexité de grande extension et des rives concaves en recul rapide. Les sites étudiés, Mollon et Blyes (photographies 18 et 19), sont des pédoncules de méandre marqués par une migration aval relativement active. Les deux sites devraient donc être amenés à moyen terme à disparaître sous l'action de l'érosion. Les groupements phytocologiques et l'intensité de l'hydro- et de la morpho- dynamique sont très différents d'un site à l'autre.

### 2.1.1 Le site de Mollon

#### -Une morphodynamique active

Le secteur retenu pour cette étude est situé à l'amont de rapides contrôlés par des affleurements molassiques; le profil en long de la rivière, dont la pente locale est voisine de 1,1 à 1,2 ‰, peut être considéré comme relativement stable depuis plusieurs décennies. Le plancher alluvial moderne est large d'environ 1 km; il est limité à l'est par une terrasse fluvio-glaciaire et à l'ouest par une basse terrasse submersible pour le débit de fréquence quinquennale et d'âge probablement historique (fig. 87).

L'analyse de cartes anciennes (1896 et 1932) et de photographies aériennes de l'I.G.N. (missions 1945, 1954, 1963, 1971 et 1983), appuyée par une étude de terrain réalisée au printemps 1991, a montré une grande diversité spatiotemporelle de la morphologie; cette étude diachronique a mis en évidence l'effet original d'une métamorphose fluviale. En effet, le style tressé, encore actif en 1945 dans ce secteur (fig. 87A), a légué aux écoulements actuels des chenaux secondaires dont le fonctionnement explique une étonnante diversité dynamique et écologique du lit majeur (Piégay et Bravard, 1993).

Sur la carte actuelle (fig. 87D), une première lône, à l'ouest, longue de 1600 m et située en contrebas de la basse terrasse holocène, était en cours de fermeture en 1945. La lône centrale, sinueuse et d'une longueur plus modeste (850 m) est une "morte" c'est-à-dire l'héritière du chenal principal abandonné entre 1945 et 1954. Située dans la partie Est du pédoncule, la troisième lône dont l'alimentation amont est double présente l'originalité d'une évolution polygénique. Sa section amont relève à l'ouest du style tressé actif en 1945 alors que celle située à l'est, née à l'aval du banc de convexité, relève du style à méandres, d'un recoupement datant de la période 1954-1963 (fig. 87B). Quant à la partie aval longtemps active, elle est l'expression d'un style fluvial mixte.

Le style à méandres, surimposé sur le style en tresses, s'esquisse à partir d'un premier recoupement entre 1954 et 1963. Ce dernier favorise, après un déplacement des flux vers l'est, une concentration de l'écoulement dans un chenal unique. Un second recoupement moins ample isole entre 1971 et 1983 la partie aval de la lône Est. Cette dynamique latérale active induit finalement une migration aval de la concavité estimée à 350m depuis 1963 (fig. 87C). En 30 ans celle-ci s'est donc déplacée à une vitesse annuelle moyenne de 10 à 15 m.

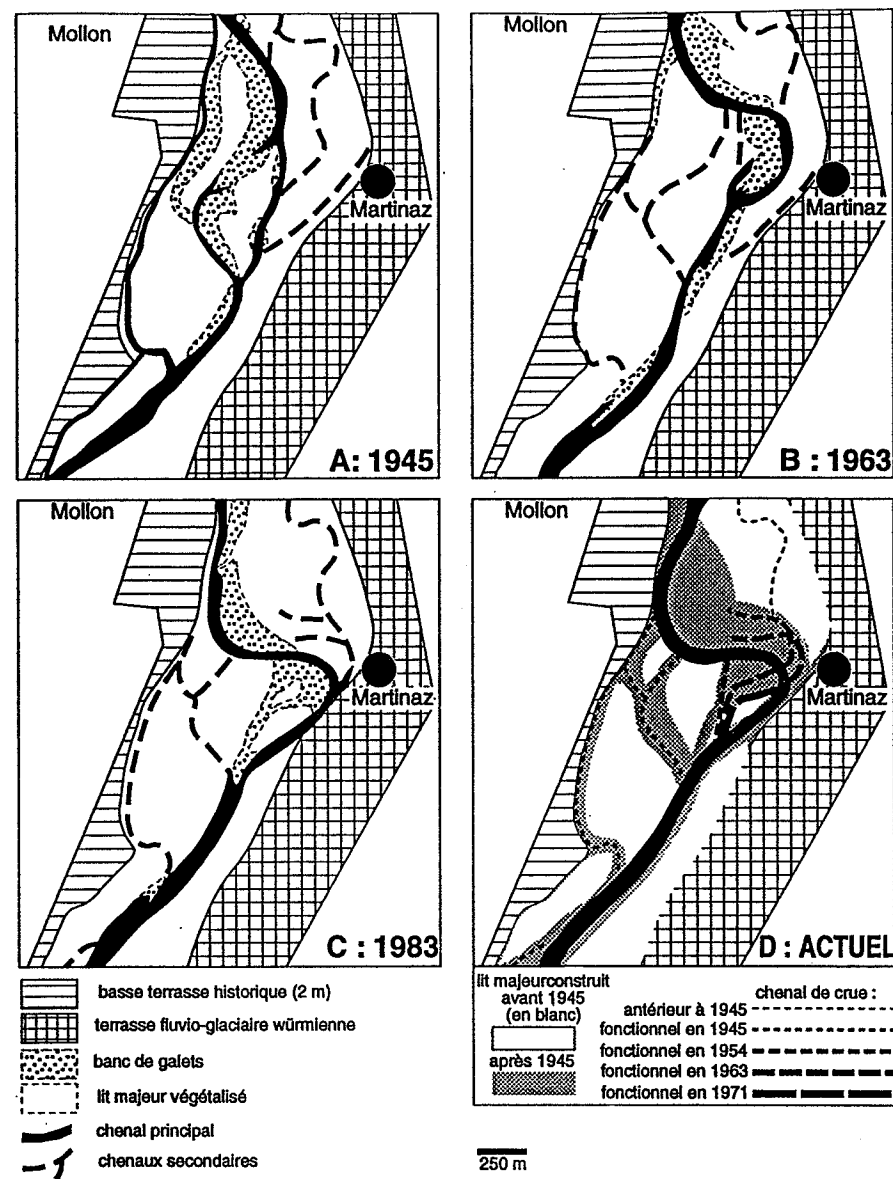


Figure 87 - Les changements du cours de l'Ain dans le secteur de Mollon entre 1945 et aujourd'hui.  
d'après les photographies aériennes de l'IGN.

### -Une mosaïque végétale exceptionnelle

La définition de la mosaïque repose sur l'identification de groupements végétaux homogènes. Une carte des unités de végétation (fig. 88) a ainsi été dressée dans le secteur de Mollon à partir d'observations effectuées sur le terrain et de la carte de végétation de la basse vallée de l'Ain levée à plus petite échelle par G. Pautou et J. Girel en 1991. Si 18 unités élémentaires ont été définies, un premier niveau de description distingue trois principaux ensembles et permet d'établir une zonation fondée sur la physionomie de la végétation :

- Les unités non végétalisées et les unités à strate basse dominante ont une localisation précise, en bandes parallèles à l'axe d'écoulement et répondent à une réduction latérale de l'énergie hydraulique. Quatre unités non végétalisées ont été distinguées en fonction du degré de permanence des eaux depuis une unité des eaux courantes, permanentes jusqu'à une unité non végétalisée, terrestre à l'étiage (n°1 à 4, fig. 88). Plus éloignée de l'axe d'écoulement, s'établit une cinquième unité (n°5), celle des herbacées hydrophiles. A cette

logique linéaire de la répartition s'oppose parfois une autre logique, celle de l'Homme qui favorise la présence d'herbacées xérophytes (n°6) à l'emplacement d'unités hier arborées. Le caractère géométrique de la parcelle confirme aisément cette originalité de la mosaïque.

- Les unités à strate arbustive sont au nombre de 4. Les deux premières situées au N-NO (n°11, fig.88) sont occupées par une bande très dense de Saules, d'Aubépines et de quelques rares Frênes âgés de 2 à 3 ans. De plus, se développent parfois en leur sein de fines bandes parallèles d'arbres de bois durs et de bois tendres mélangés. Le problème se pose de l'origine, naturelle ou non, et de la place dans la succession de ces unités originales. Une troisième unité située au sud et d'origine anthropique, présente une extrême diversité d'essences qui se développent en sous-bois (*Crataegus monogyna*, *Cornus sanguinea*) ou en rejets de souches de bois durs ou de bois tendres. La hauteur de cette formation diffère géographiquement en fonction du degré d'hygrométrie et de l'ancienneté de la coupe (1, 3 ou 7 ans)(n°15, 16 et 17, fig. 88). Une progression logique du déboisement s'établit depuis les sites d'accès et la diversité du groupement s'accroît dans les secteurs humides car elle intègre des espèces hygrophiles (*Salix sp.*, *Carex sp.*). Aussi trois sous-ensembles se distinguent selon un gradient de diversité et de densité. Une quatrième unité, située au N-NE, se développe sur le banc supérieur de convexité et se poursuit vers le sud sur la marge d'un ancien chenal, actif en 1971 (n°7 et 8, fig. 88). Le peuplement est homogène et très différent de celui des unités précédentes. En fait, seuls des Saules bas et de jeunes Peupliers noirs s'y développent tantôt mélangés tantôt formant chacun une unité monospécifique plus affirmée.

- Les unités arborescentes se développent sur la plus grande partie de la zone étudiée. La diversité interne est très importante et cinq sous-ensembles ont été distingués grâce à l'analyse des essences. La distinction fondamentale bois dur - bois tendre est affinée en fonction de la part relative de chaque espèce. Deux espèces dominent, un bois dur, le Frêne commun, et, un bois tendre, le Peuplier noir. Malgré tout, certaines unités sont typiques des forêts de bois tendres à Peupliers noirs plus ou moins dominants (supérieurs à 70% de la population)(n°10) mais parfois à Saules blancs mélangés à quelques rares Aulnes glutineux (Saussaie blanche)(n°9). D'autres sont typiques des bois durs. Lorsque le Frêne commun représente près de 50% d'une population et que le reste (45%) est détenu par l'Érable sycomore, cet ensemble constitue alors une forêt-type de bois dur (n°14). Entre ces deux extrêmes, deux unités mixtes, à bois dur et bois tendre mélangés, sont distinguées en fonction de la part de chaque espèce dans la formation (n°12 et 13). Le Peuplier noir représente entre 20 et 35% de l'ensemble alors que le Frêne commun et l'Érable sycomore occupent chacun 20-25% de la formation.

Cette description élémentaire est enrichie de données phytoécologiques collectées au cours de l'été 1993. G. Pautou a proposé une description des groupements végétaux observés sur le transect dont le tracé est localisé sur la figure 88 (Communication écrite). Il note que le site se caractérise par de puissants phénomènes de régénération des formes alluviales (redistribution des matériaux, entrée de sables et graviers). Les points d'échantillonnage s'individualisent par la présence d'espèces comme : *Helianthus vuberosus*, *Petasites officinalis*, *Urtica dioïca*, *Solidago gigantea*.

Les communautés les mieux représentées sont :

- 1) La saussaie à *Salix alba* et *Alnus glutinosa*, en bordure de l'Ain (n°9).
- 2) La saussaie à *Salix eleagnos* et *Urtica dioïca* sur les paliers les plus bas où se déposent des sables grossiers et fins (n°8). Elle est inondée en période de crue et soumise à d'importants apports de nitrates.
- 3) La frênaie à *Urtica dioïca* et *Populus nigra*. *Fraxinus excelsior* est l'espèce dominante et de nombreuses lianes (*Humulus*, *Clematis*, *Parthenocissus*) sont présentes. Il s'agit d'une communauté encore instable où des bouleversements peuvent se produire au niveau des couches superficielles du sol (n° 12 et 13).

4) La frênaie à *Fraxinus excelsior* et *Hedera helix* (avec *Acer platanoïdes*) constitue une communauté stabilisée sur des dépôts riches en sables fins et limons, située en dehors du champ de l'action érosive et rarement inondée (n°14). Les eaux peuvent y parvenir mais le courant est très faible.

5) La saussaie à *Salix viminalis* et *Alnus glutinosa* (n°8) se situe en bordure de bras périodiquement empruntés par les eaux à l'occasion des épisodes de crue et où se déposent des sables fins et des limons.

6) La Communauté à *Crataegus monogyna* (n°11) est localisée dans des bras plus riches en limons dont le stade de colmatage est beaucoup plus avancé.

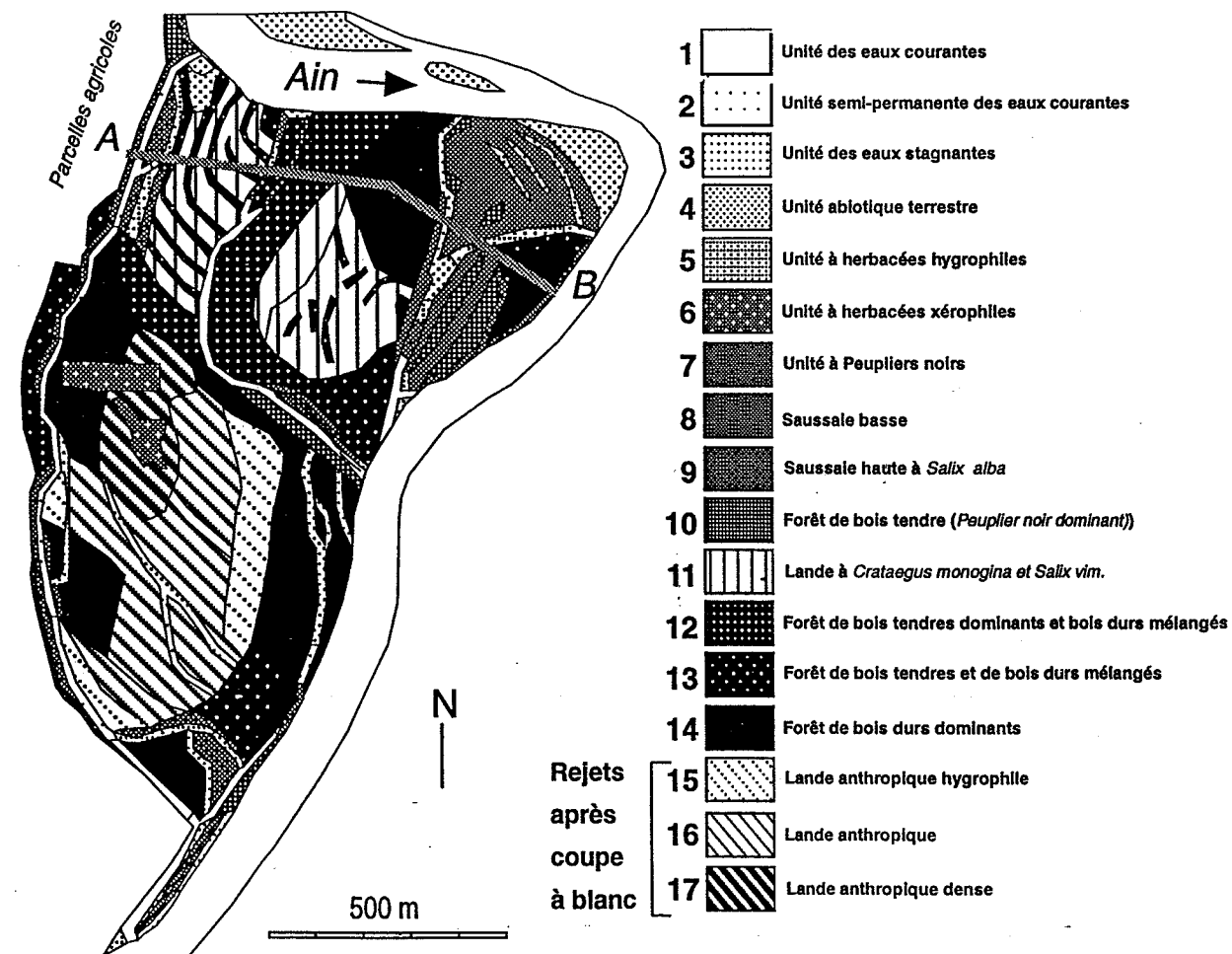


Figure 88 - Les groupements végétaux élémentaires observés dans le pédoncule de méandre de Mollon (basse vallée de l'Ain).



Photographie 18 - La forêt alluviale étudiée dans le pédoncule de méandre de Mollon sur l'Ain; la concavité du méandre et le chevelu des chenaux de débordement sont parfaitement marqués (prise de vue hélicoptère depuis la rive droite).



Photographie 19 - La forêt alluviale étudiée dans le pédoncule de méandre de Blyes sur l'Ain; le banc de convexité se situe au premier plan (prise de vue hélicoptère depuis la rive droite).

## 2.1.2 Le site de Blyes

Le secteur de Blyes se dessine dans une plaine moderne large de 2 km. Le lit majeur actuel, d'une largeur de 700m, est limité à l'est et à l'ouest par les basses terrasses contemporaines de Taffanelles et du Planet de Haute Rive qui sont inondables pour un débit de fréquence 100 ans (fig. 89).

Entre la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle et les années 1930-40, l'Ain présentait dans ce secteur un style en tresses caractéristique façonné dans une bande active plus large et plus mobile. Un bras mort, situé au pied "des côtes", était l'axe principal de la rivière en 1864 au moment du levé du cadastre ancien. L'Ain présente aujourd'hui un style géomorphologique à méandres avec un taux de sinuosité de l'ordre de 1,33 et une bande active encore relativement large (120 m environ). La pente longitudinale, estimée à 1,7‰, est assez importante et un enfoncement de 0,5 à 0,7 m est observé depuis 1920. Celui-ci est néanmoins faible et stabilisé depuis l'exhumation de deux seuils molassiques situés à l'amont et à l'aval du méandre (fig. 89). Un récent enfoncement du profil, limité entre les deux seuils naturels, correspond à un équilibre dynamique à la suite de l'enrochement de la berge de Taffanelles sur plusieurs centaines de mètres.

Le méandre actuel est récent puisque postérieur à 1953-1963. Durant cette période, le méandre du Planet situé juste à l'amont, s'est recoupé, son chenal de débordement constituant l'actuel chenal actif de l'Ain. Celui-ci présente un double mouvement de translation latéral (aujourd'hui stoppé par l'enrochement de Taffanelles) et de migration aval. Des mesures d'érosion, effectuées dans la concavité de Gourdans au cours de la crue du 9 mai 1985, ont montré que le recul maximal avait été de 17m au cours de ce seul épisode (Malavoi, 1985). La migration aval s'accélère depuis 1970 et a atteint en moyenne 10m/an au cours de la décennie 1980. Aujourd'hui, un pédoncule de méandre se dessine distinctement.

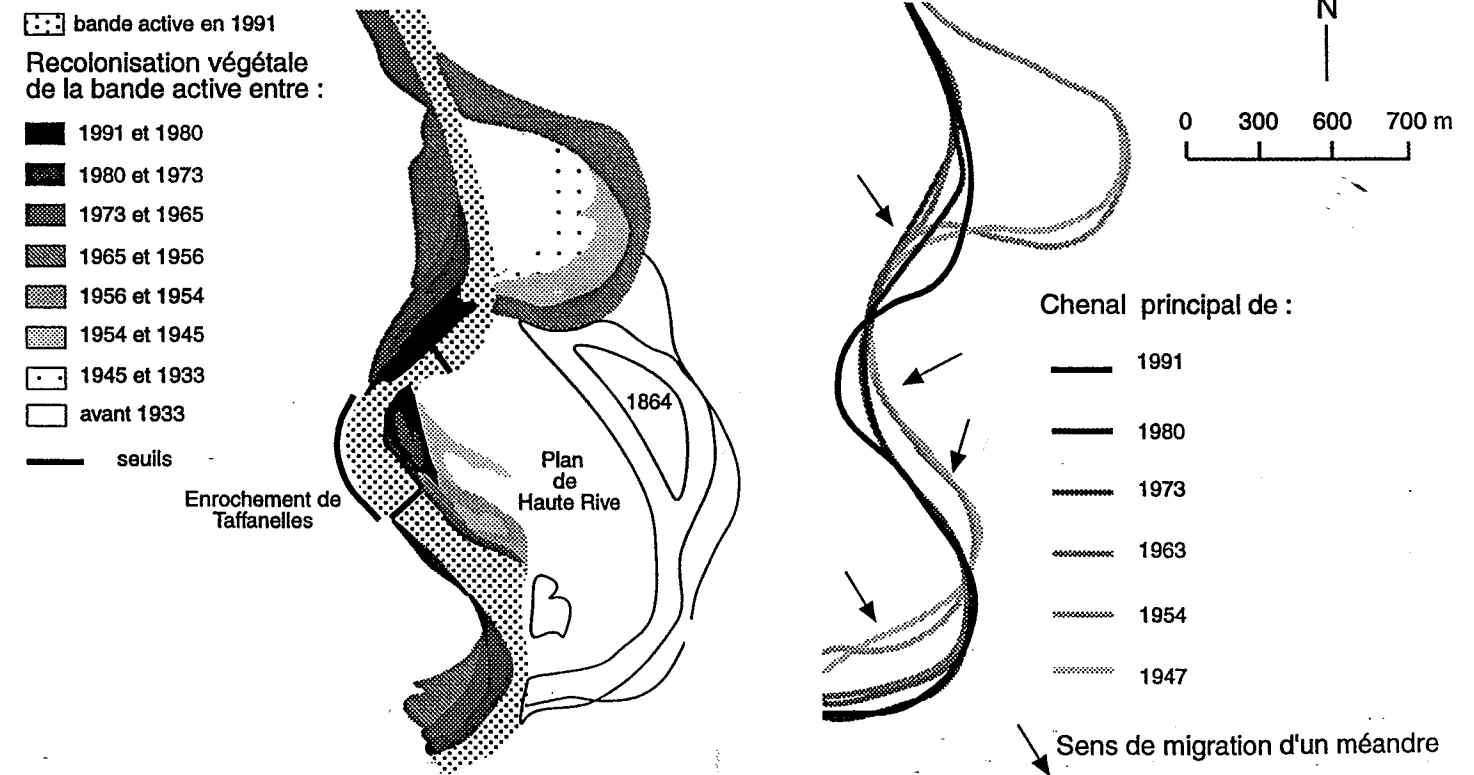


Figure 89 - Les changements du cours de l'Ain dans le secteur de Blyes depuis 1933, d'après les photographies aériennes de l'IGN.

Le secteur de Blyes est largement colonisé par des unités arbustives (stades post-pionniers et landes plus ou moins arborées). La forêt, constituée notamment de bois durs, est relativement peu présente. La carte de végétation levée par J. Girel, G. Pautou et A. Païs (In A.L. Roux *et al.*, 1986) (fig. 90) montre que le secteur est colonisé par des fourrés denses à *Crataegus monogyna*, des landes plus ou plus fermées à *Populus nigra*, des saussaies basses à *Salix eleagnos* ou *Salix viminalis* et des pelouses mésophiles à *Bromus erectus*.

Sur le transect levé au cours de l'été 1993, ces mêmes auteurs ont noté la présence de communautés à *Nuphar luteum* et *Myriophyllum spicatum*. Dans les parties les moins profondes du méandre, des Cariçaies à *Carex elata* sont également présentes. Les principales communautés végétales identifiées sont ainsi :

- les aulnaies à *Alnus glutinosa* dans les bras colmatés par des limons et éloignés du chenal principal,
- la communauté de *Crataegus monogyna* dans les bras ou les dépressions où la couche de limons est plus épaisse (comparable à celle de Mollon),
- la frênaie à *Fraxinus excelsior*, *Populus nigra* et *Urtica dioïca*, avec *Aegopodis podagraria* et des lianes (*Humulus lupulus*) comparables à celles de Mollon,
- la frênaie à *Fraxinus excelsior* et *Hedera helix* sur les paliers à l'écart de l'action érosive,
- la pelouse à *Bromus erectus* (avec graminées nombreuses) sur les dépôts sableux,
- la pelouse à *Fumana procumbens* et *Helianthemons* sur les dépôts bien pourvus en graviers et galets.

Sur la moyenne Ardèche, les formations ripuaires ont été profondément altérées par l'homme. Ce phénomène est lié à des raisons à la fois actuelles et passées. Les nombreux seuils de prise d'eau, les pâtures en lit majeur... confirment une domestication ancienne de ces marges. En outre, l'homme s'est récemment approprié cet espace que ses ressources, l'extraction et le tourisme, ont rendu attractif. Par ailleurs, il constitue aussi une excellente zone de stockage des déchets domestiques et autres décombres.

Par conséquent, il est impossible que se succèdent latéralement sur un même site les différents stades de succession, des espaces ouverts à hydrodynamique active aux stades arborés à bois durs dominants. Les stades post-pionniers et les forêts de bois durs, éloignés de la zone riveraine proprement dite sont fortement présents. En revanche, la mixité des essences de bois durs et de bois tendres favorisant des stades intermédiaires multiples n'existe pas, ce qui démontre une rupture majeure dans la succession. Les dommages sont également liés aux essences introduites et compétitrices développées parfois en peuplement monospécifique (*Robinia pseudoacacia*, *Allanthus glandulosa*) et très présentes dans la vallée. Le robinier, espèce américaine introduite et naturalisée, robuste, est en effet présente dans tout le Vivarais. Son dynamisme est conquérant puisque elle dispose d'un développement actif par semis et drageons, d'une grande amplitude écologique et colonise les espaces libres (friches, pelouses, formations herbacées hygrophiles) (Descoings, 1990). Les gravières abandonnées occupent en fait l'espace des stades arborés de transition et abritent une unité arborée unique et ubiquiste à Saule blanc et Aulne glutineux.

B. Descoings (1990) a levé une carte de la végétation actuelle du cours moyen de l'Ardèche. La composition floristique de la strate arborescente de la ripisylve est dominée par *Acer pseudoplatanus*, *Alnus glutinosa*, *Fraxinus excelsior*, *Fraxinus angustifolia*, *Populus alba*, *Populus nigra*, *Salix alba*, *Ulmus campestris*. Outre ces espèces, il a observé, en proportion variable, *Acer campestris*, *Acer negundo*, *Acer platanoïdes*, *Allanthus glandulosus*, *Castanea sativa*, *Juglans regia*, *Morus alba*, *Robinia pseudoacacia*... Dans la strate ligneuse basse, sont présents *Cornus sanguinea*, *Corylus avellana*, *Crataegus monogyna*, *Euonymus europaeus*, *Reynoutria japonica*, *Salix caprea*, *Salix eleagnos*, *Sambucus nigra*. De nombreuses lianes telles que *Bryonia cretica*, *Clematis flamula*, *Clematis vitalba*, *Hedera helix*, *Humulus lupulus*, *Vitis vinifera*... ont également été identifiées.

Ce même auteur précise par ailleurs, que cette ripisylve est aujourd'hui rare et discontinue. Sa cartographie repose sur un gradient de dégradation et la légende distingue :

- une "ripisylve en état" dont le recouvrement de la strate ligneuse haute dépasse les 75%,
- une "ripisylve dégradée" quand le recouvrement de la strate ligneuse haute se situe entre 25 et 75%,
- une "ripisylve très dégradée" quand le recouvrement de la strate ligneuse haute se situe en deçà de 25%.

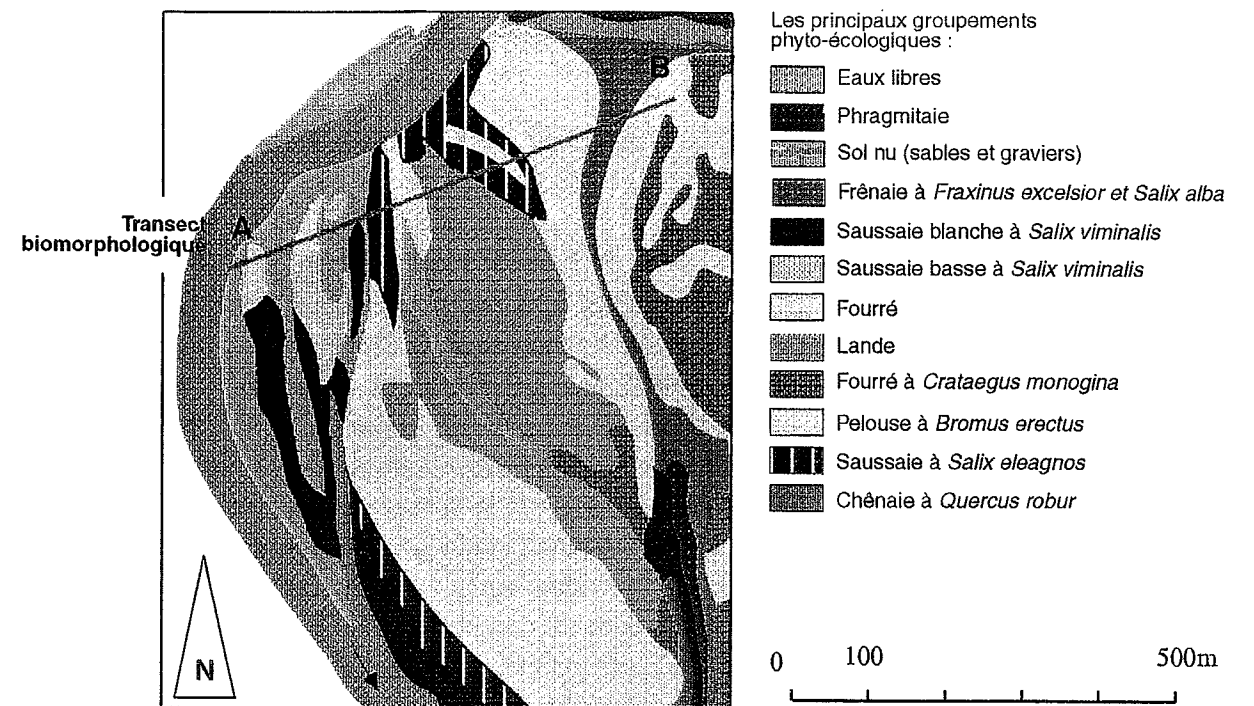


Figure 90 - Les groupements végétaux du méandre de Blyes (d'après la carte de végétation de J. Girel, G. Pautou et A. Païs, in A.L. Roux *et al.*, 1986).

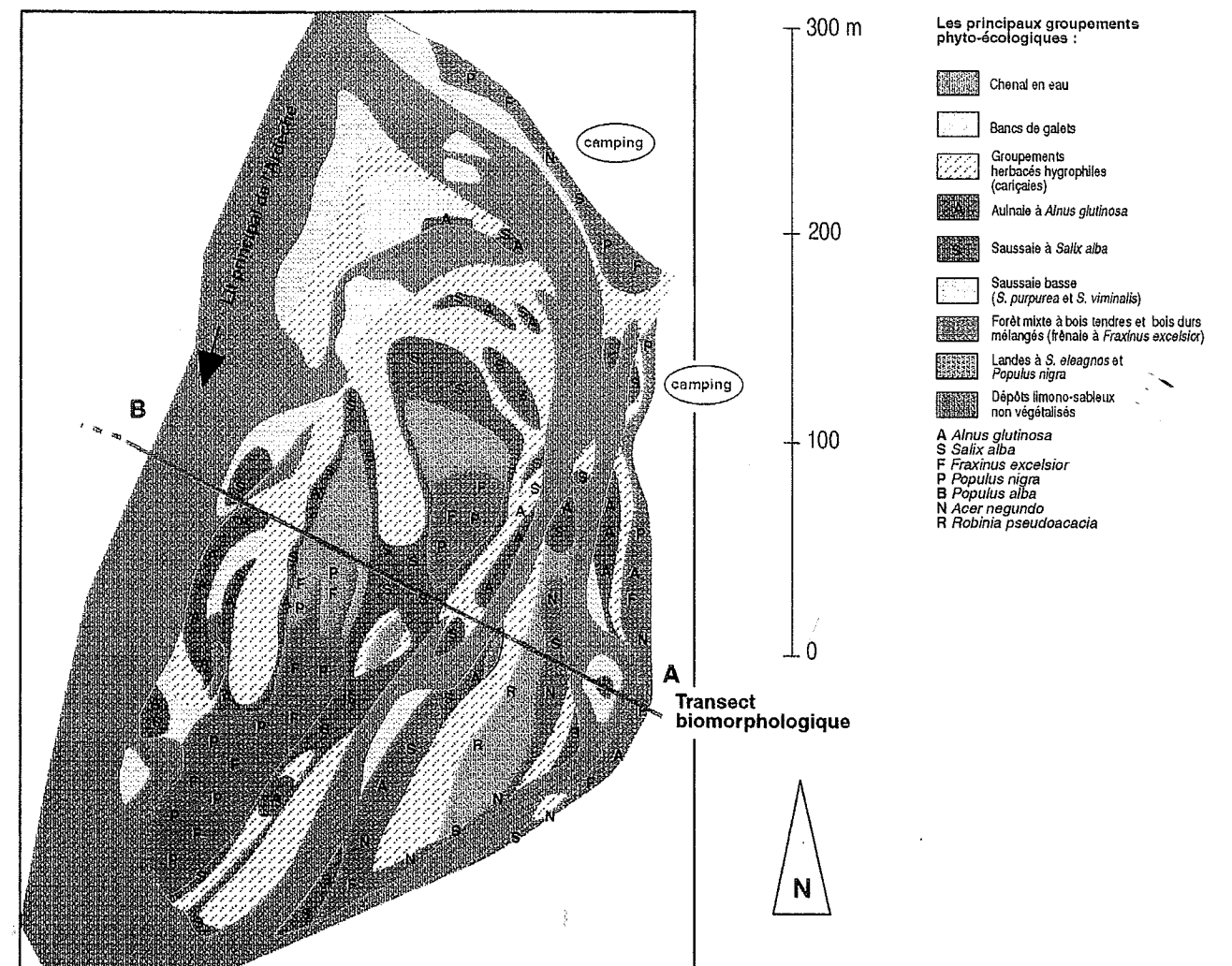


Figure 91 - Les unités végétales des îles de la Borie dans le méandre de Chauzon (rive gauche de l'Ardèche).

## 2.2 Les cinq sites de la moyenne Ardèche

Par ailleurs, nous avons également observé la diversité des groupements présents sur le site le plus intéressant de la moyenne vallée : les îles de la Borie dans le méandre de Chauzon (fig. 91). L'interprétation d'une photographie couleur (1990) et une reconnaissance de terrain ont permis d'effectuer une cartographie à grande échelle des groupements phytoécologiques. Différents stades de succession ont été identifiés depuis les espaces abiotiques à hydrodynamique active jusqu'aux stades arborés à bois durs dominants. Dans les groupements ligneux, les stades intermédiaires des successions dans lesquels coexistent des essences à bois durs (*Acer pseudoplatanus*, *Fraxinus excelsior*, *Fraxinus angustifolia*, *Acer negundo*, *Ulmus campestris*.) et à bois tendre (*Alnus glutinosa*, *Populus nigra*, *Salix alba*) existent. Ceci est original car sur les autres sites de la vallée, les successions sont tronquées et les unités âgées à bois dur, proches du climax (présence de *Quercus ilex*), coexistent avec les unités abiotiques. De même, les essences introduites et compétitrices sont peu présentes sur le site de la Borie. En outre, cet espace a été soumis à des extractions massives et les souilles sont encore visibles aujourd'hui, non seulement dans la morphologie mais aussi au niveau de la mosaïque végétale. Leur extension correspond assez étroitement à celle des groupements herbacés hygrophiles et des axes de pénétration des stades arborescents apparaissent distinctement.

Trois des secteurs sont localisés sur une des marges ripicoles de rive droite ou de rive gauche du chenal principal de l'Ardèche. Le transect de Saint-Didier présente une localisation plus originale puisqu'il se situe sur un chenal de débordement et ses annexes latérales.

Les cinq secteurs ont été profondément altérés par les extractions de granulats durant la décennie 1970, ce qui explique que beaucoup d'unités soient relativement récentes. Ainsi, des souilles d'extraction abandonnées sont repérables sur les transects de Vogüé et de Chauzon. Les extractions ont provoqué également un enfoncement très important du lit sur le tronçon amont. Sur le secteur de Jastre, il est estimé à plus de 3m et explique une différence altitudinale importante entre le lit mineur et le lit majeur par ailleurs séparés par un enrochement. En outre, ce secteur se distingue des autres par une forte pente longitudinale et une puissance unitaire exceptionnelle (tab. 25).

Tableau 25 - Caractéristiques morphodynamiques des sites de l'Ardèche.

|  | Jastre | Saint-Didier | Vogüé  | Chauzon |
|--|--------|--------------|--------|---------|
| Points kilométriques                       | 3      | 4.5          | 9.3    | 22.3    |
| Largeur de la bande active (en m)          | 60     | 60           | 74     | 45      |
| Puissance unitaire (en W.m <sup>-2</sup> ) | 550    | 175          | 108    | 135     |
| Pente longitudinale (en m/m)               | 0.0065 | 0.0035       | 0.0044 | 0.0022  |
| Enfoncement 1922-1984 (en m)               | 3.3    | 1.4          | 0.2    | 0.2     |

## 2.3 Les sites observés sur le Giffre moyen

La végétation présente sur les marges alluviales du Giffre moyen est relativement riche et présente une certaine originalité par rapport à celle des autres rivières.

La série de *Alnus incana* occupe toute la longueur des berges du Giffre avec ponctuellement quelques intrusions spontanées de *Picea abies*. En arrière de la ripisylve, les territoires agricoles appartiennent aux séries



de *Alnus glutinosa*, de *Alnus incana* et de *Quercus pedunculata*. Une grande variété d'espèces végétales a colonisé les îlots occupant le lit du Giffre. 13 unités ont été identifiées par D. René (1992) sur deux sites dont celui des Thèzières sélectionné ici. Un total de 113 espèces a ainsi été recensé sur les alluvions récentes. Dans la strate arborée, *Alnus incana* s'impose très nettement.

*Myricaria germanica* est présent sur les îlots au même titre qu'un ensemble de plantes pionnières telles que *Calamagrostis epigeios*, *Tussilago farfara* et *Equisetum arvense*. Les espèces ligneuses les plus nombreuses sont *Salix eleagnos*, *Salix alba*, *Salix triandra*, *Salix daphnoïdes*, *Alnus incana*, *Populus nigra* et ponctuellement *Fraxinus excelsior*. Au niveau des îlots du Giffre, la végétation est très hétérogène et d'origine variée. La strate herbacée rassemble de nombreuses espèces d'origine montagnarde, alpine, ou subalpine (René, 1992).

Ces relevés, d'une grande précision au niveau des stades pionniers, ne doivent pas faire oublier la diversité des espèces du corridor forestier plus ou moins domestiqué. Si *Picea abies* domine très largement, il est remplacé par *Fraxinus excelsior* et *Ulmus montana* typiques des stades mûres de la forêt alluviale, lorsqu'il n'a pas été favorisé.

Les sites étudiés sur la moyenne vallée du Giffre sont au nombre de trois :

- le site des Millières situé à la confluence avec le Clévieux,
- le site de Verchaix localisé à 200 m à l'aval de la station d'épuration de Morillon (PK 6.5),
- le site des Thèzières à 250 m à l'amont du Pont de Taninges.

Si la largeur des trois sites est presque identique, la pente et les puissances ont tendance à se réduire vers l'aval (tab. 26). Ces éléments sont essentiels dans la mesure où ils peuvent intervenir pour expliquer une différence dans l'intensité des processus actifs sous forêt. Les observations diachroniques effectuées à partir de photographies aériennes sur les sites des

Millières et des Thèzières (fig. 92) sur lesquels les formations arborées pionnières sont relativement développées, permettent de montrer :

- que la bande active dispose d'une étonnante capacité à migrer latéralement,
- que les formes fluviales et par conséquent les unités végétales sont soumises à une intense régénération à l'origine d'une mosaïque fluviale qui peut être localement intéressante,
- une tendance récente au boisement de la bande active. Les unités présentes sur le site des Thèzières sont soit des formations anciennes antérieures à 1954, soit des formations actuelles établies entre 1984 et 1993. Sur les Millières, le contraste est moins net mais les surfaces récemment colonisées sont ici encore importantes.

Tableau 26 : Caractéristiques morphodynamiques des sites du Giffre.

|  | Les Thèzières | Verchaix | Les Millières |
|--|---------------|----------|---------------|
| Points kilométriques                       | 0,75          | 6,5      | 12            |
| Pente (en m/m)                             | 0,0049        | 0,0061   | 0,0078        |
| Largeur de la bande active (en m)          | 150           | 120      | 130           |
| Puissance brute (en W.m <sup>-1</sup> )    | 4300          | 5409     | 5872          |
| Puissance unitaire (en W.m <sup>-2</sup> ) | 36            | 41       | 45            |

Les trois sites sont composés de trois unités principales :

- une bande active large à tressage actif,
- une forêt pionnière de bois tendre composée dans les strates arborescente et arbustive de *Alnus incana*, *Salix* sp. (*Salix alba*, *Salix purpurea*, *Salix aurita*, *Salix eleagnos*, *Salix triandra*...) et ponctuellement *Populus nigra* et *Betula pendula*. Ces unités relativement anciennes sur le site des Thèzières, abritent des arbustes de sous-bois typiques d'unités déjà évoluées tels que *Lonicera xilosteam*, *Prunus avium*, *Cornus sanguinea*, *Ligustrum vulgare*.

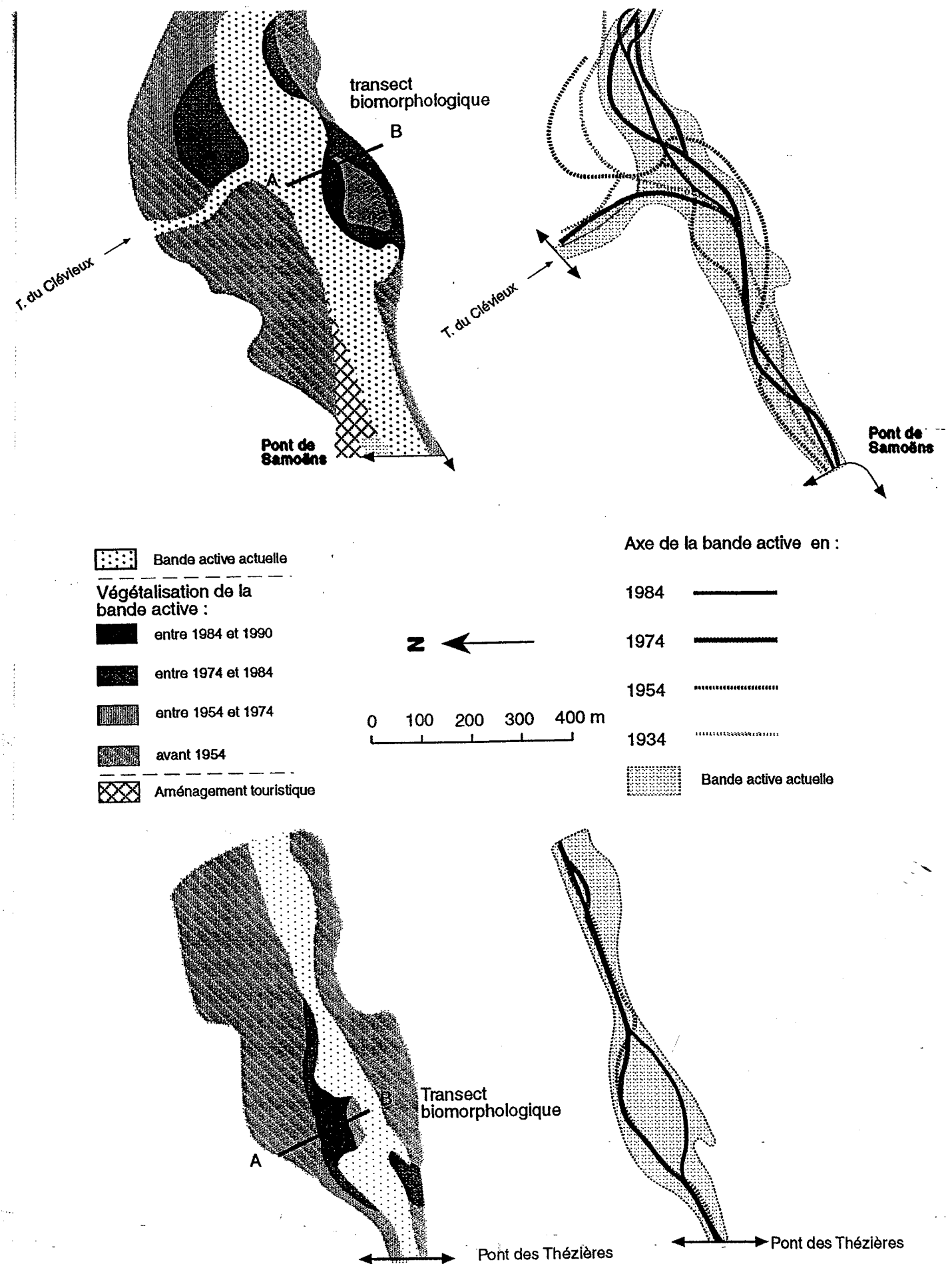


Figure 92 - Chronologie des changements de tracé du Giffre et de la recolonisation végétale de ses marges dans les secteurs des Millières (A) et des Thèzières (B) entre 1934 et 1984, d'après les photographies aériennes de l'IGN.

- une forêt mûre de lit majeur localisée sur des niveaux élevés très rarement inondés et dominée par *Picea abies*, *Abies abies* mais également dans des proportions variables, *Fraxinus excelsior*, *Quercus petrae*, *Fagus sylvatica*, *Crataegus monogyna*, *Corylus avellana*, *Sambucus nigra*, *Ulmus montana*, *Acer pseudoplatanus*, *Acer campestre*.... Selon les lieux, les groupements sont des frênaies, des hêtraies ou des pessières. Cette forêt est exploitée depuis des siècles et soumise partiellement à la gestion de l'ONF. Certaines parcelles sont totalement à l'abandon alors que d'autres sont entretenues. L'existence d'un réseau de petits ruisseaux intraforestiers appelés localement "bézières" renforce la diversité phytoécologique de cette forêt. Ils collectent les eaux phréatiques et les apports de versants et constituent un biotope idéal pour le castor. Le ruisseau de l'Ectaz sur le site des Thézières est un exemple caractéristique.

## 2.4 L'Ouvèze : les sites de Violès et de Saint-Michel

A l'aval des Baronnie, un corridor boisé presque continu isole la rivière des parcelles agricoles situées en lit majeur sur lesquelles s'est développé la monoculture de la vigne (Appellation d'Origine Contrôlée Côtes-du-Rhône Villages). Les formations végétales naturelles sont caractérisées par l'homogénéité amont-aval des formations pionnières du lit (bancs de galets à recouvrement sablo-limoneux à *Polygonum persicaria*, levées sableuses à *Calamagrostis* et *Festuca* qui sont des graminées exigeantes en eau, replats des hautes berges inondés en fortes crues avec *Xanthium spinosum*). Les formations forestières passent de l'amont vers l'aval de fourrés de *Salix viminalis* à des peuplements de *Salix incana* puis *Salix purpurea*; la succession conduit à des aulnaies à *Alnus glutinosa* sur sols limoneux humides des anciens bras et à des peupleraies à *Populus nigra* sur bancs de galets fixés et *Populus alba* sur les basses terrasses avec mélange de *Quercus pubescens* (Nègre, 1980).

Les sites étudiés, Violès et Saint-Michel, présentent une bande active relativement large et à tressage plus ou moins actif. La charge de fond est très abondante alors que les pentes longitudinales et les puissances sont élevées (tab. 27). Si ces deux secteurs présentent ainsi des potentialités morphodynamiques comparables, ils disposent par ailleurs de marges naturelles très différentes. Le secteur de Violès est caractérisé par un lit majeur très large et des unités latérales nombreuses et variées alors que celui de Saint-Michel est circonscrit dans un secteur de gorges et disposent de marges végétales de faible extension.

Le secteur de Violès est localisé à 15 km à l'aval de Vaison-la-Romaine. Le corridor naturel y présente une largeur très importante de plus de 300 m qui explique que la rivière conserve ainsi une assez grande liberté de divagation latérale entre des points fixes constitués par l'entonnement de ponts (fig. 93). Si la mobilité du chenal entre 1947 et 1991 est forte, l'axe de la bande active est resté globalement stable. De part et d'autre de cet axe, un rajeunissement périodique des unités permet le maintien d'une mosaïque fluviale relativement diversifiée.

Différentes unités ont été reconnues sur le site de Violès :

- une bande active relativement large et dans laquelle se dessinent de nombreux chenaux de tressage,
- une unité arbustive post-pionnière à *Salix viminalis*, *Salix purpurea*, *Populus nigra* et *Populus alba*,
- des unités arborescentes colonisées par des essences de bois tendres.

En rive droite, une peupleraie blanche relativement mûre présente un cortège habituel de ligneux bas tels que *Ligustrum vulgare*, *Cornus sanguinea*, *Crataegus monogyna*, *Corylus avellana*.... Des essences de bois durs telles que *Quercus pubescens* et *Quercus ilex*, apparaissent dans les secteurs les plus en marge. Le lit majeur de rive gauche est colonisé par une aulnaie à *Alnus glutinosa*, le pied du versant étant en effet un milieu extrêmement humide caractérisé par l'arrivée phréatique des eaux du versant.

Le second site, Saint-Michel, se situe à l'amont de Vaison-la-Romaine dans un secteur en gorges. La largeur du fond de vallée n'est que de 160 m et il est presque totalement occupé par la bande active. Un lit majeur boisé d'une largeur de 40m est conservé en rive droite. L'analyse des photographies aériennes permet de constater que ces formations végétales sont très récentes. Avant 1973, la bande active occupait tout le fond de vallée. Le chenal de 1947 qui se situait au pied du versant de rive gauche, se dessine encore dans la morphologie actuelle du lit majeur.

L'étude phyto-morphologique permet de distinguer plusieurs unités :

- une bande active large mais en recul. Elle est passée de 150 m en 1973 à 100 m en 1992 et est occupée ponctuellement par *Salix viminalis* et *Salix purpurea*.
- des stades arborescents. Le chenal fossile de 1947 a été colonisé par une aulnaie à *Alnus glutinosa* associé à *Populus alba*. Le reste du lit majeur est successivement dominé par une peupleraie blanche ou une saussaie basse. Certaines placettes sont enfin colonisées par une formation herbacée hygrophile. Finalement, sur une largeur modeste coexiste un grand nombre d'unités végétales.

Tableau 27 : Caractéristiques morphodynamiques des sites de l'Ouvèze.

|  | Violès | Saint-Michel |
|--|--------|--------------|
| Points kilométriques                       | 28     | 49,8         |
| Pente (en m/m)                             | 0,006  | 0,0067       |
| Largeur de la bande active (en m)          | 110    | 100          |
| Puissance brute (en W.m <sup>-1</sup> )    | 8004   | 7259         |
| Puissance unitaire (en W.m <sup>-2</sup> ) | 171    | 119          |

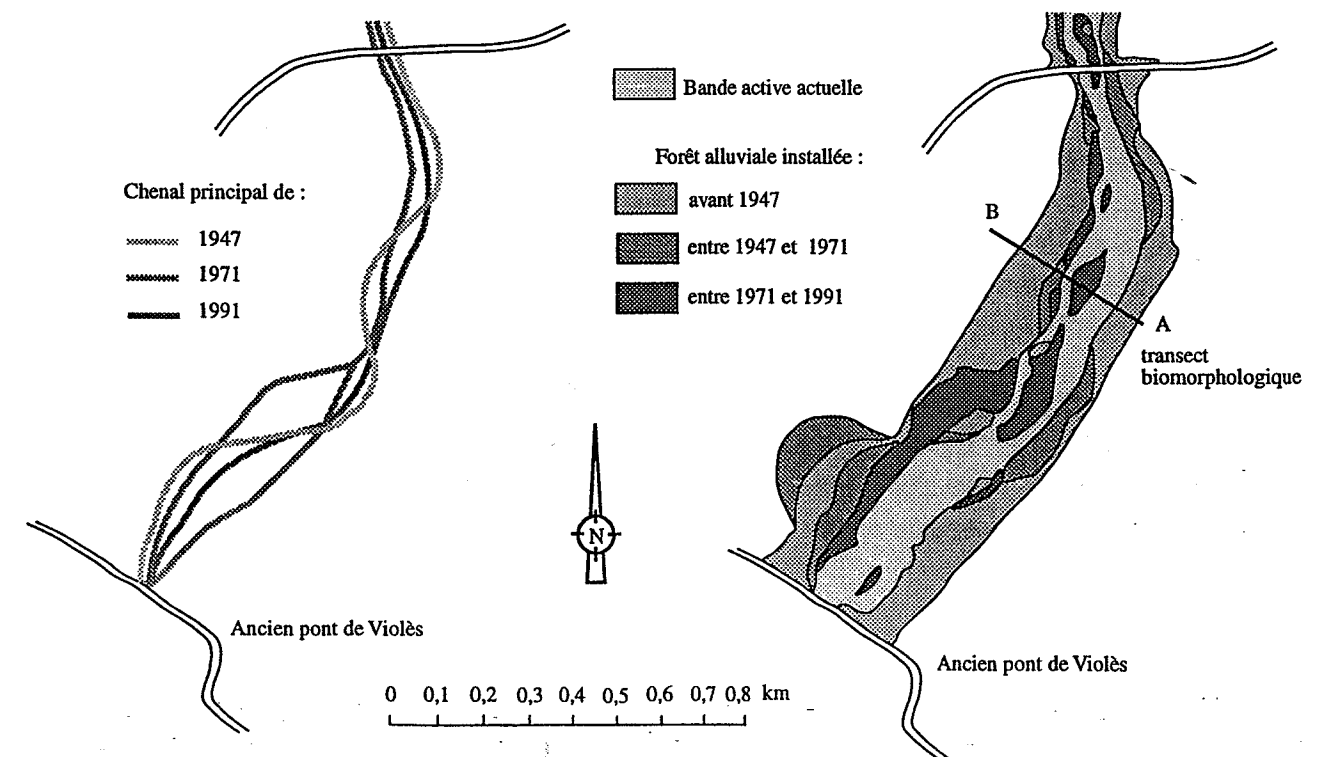


Figure 93 - Chronologie de la mobilité en plan du cours de l'Ouvèze et de la recolonisation végétale de ses marges dans le secteur de Violès entre 1947 et 1991, d'après les photographies aériennes de l'IGN.

## 2.5 Les trois sites observés sur la moyenne Ubaye

La vallée de l'Ubaye est considérée comme un carrefour floristique (Avocat, 1979). De nombreux biotopes du fond de vallée sont colonisés par la série climacique à *Pinus sylvestris*, typique des Alpes internes. Il s'agit d'une forêt claire monospécifique dans la strate arborescente. La strate arbustive est occupée par *Buxus sempervirens* et *Amelanchier vulgaris*; la strate herbacée est discontinue et à forte xéricité (Douguedroit, 1976). Cémagref *et al.* (1993) distinguent dans le fond de vallée cette formation zonale, qui colonise très largement le lit majeur, et la végétation riveraine proprement dite, azonale et caractérisée par des groupements pionniers et post-pionniers tels que l'argouseiraie et la saussaie basse et des groupements ripicoles plus évolués à *Populus nigra*.

La reconnaissance phytosociologique effectuée sur les trois sites d'étude a confirmé la nette dominance des unités à *Pinus sylvestris*. Cette espèce est présente en peuplement monospécifique mais également à des degrés divers dans les formations ripariales traditionnelles. La seconde originalité de ce secteur est la forte présence de *Hippophae rhamnoides*, un colonisateur actif des bancs de galets. Les saussaies basses à *Salix eleagnos* et *Salix triandra* associées à *Populus nigra*, *Myricaria germanica* ou *Betula pendula* constituent des stades intermédiaires dans la succession. Les unités âgées de la ripisylve sont rares; seule une aulnaie mûre à *Alnus incana* a été observée sur le transect de Champanastais. Ce secteur recèle ainsi une grande diversité d'unités écologiques à la fois zonales et azonales qui s'interpénètrent dans l'espace et forment une mosaïque très originale.

Dans les rares stades mûres ripicoles, *Acer campestre*, *Acer opalus*, *Quercus pubescens*, *Prunus avium*, *Ligustrum vulgare*, *Corylus avellana*, *Buxus sempervirens*, *Juniperus sabrina*... ont été observés.

Les trois sites sélectionnés dans la moyenne vallée de l'Ubaye se situent dans un corridor alluvial bien identifié. Si la présence de micro-terrasses fluviales emboîtées caractérisent les trois profils topographiques, chaque site est cependant morphodynamiquement très différent des deux autres (tab. 28).

Le site amont d'Enchastrayes est une zone de tressage actif caractérisée par une bande de remaniement large, à chenaux multiples, une pente forte mais une puissance spécifique modeste. La bande active présente une certaine stabilité latérale depuis 1948 (fig. 94A). Une légère tendance au déplacement latéral en rive droite est toutefois décelée à partir de la période 1956-74. Ce mouvement se traduit par la migration du bras principal et une recolonisation végétale linéaire en rive gauche.

Le secteur médian de Méolans Le Rioclar, localisé dans un fond de vallée plus étroit, présente un style intermédiaire entre le tressage et le méandrage. Le lit principal concentre l'essentiel des flux et présente une forte mobilité aval (fig. 94B). La bande active est plus étroite et la puissance spécifique plus forte (tab. 28). Le lit actuel est marqué par une forte sinuosité. Cet axe, plus ou moins stable depuis 1948, a présenté une mobilité accélérée au cours de deux périodes :

- entre 1956 et 1973, une forte mobilité aval du chenal principal a conduit à la formation d'un méandre caractéristique. La crue de 1957 a sans doute joué un rôle important dans ce recul de la berge estimé à plus de 30m.

- entre 1982 et 1990, la migration a changé de direction et le chenal principal s'est alors déplacé latéralement sur une distance de 15 à 20 m vers le nord. Dans la zone de convexité, des formations végétales sont apparues dès 1956-74 mais la colonisation ne s'est réellement étendue que depuis 1982. Par ailleurs, un îlot boisé antérieur à 1948 a su résister aux crues tout en étant situé au coeur de la bande active.

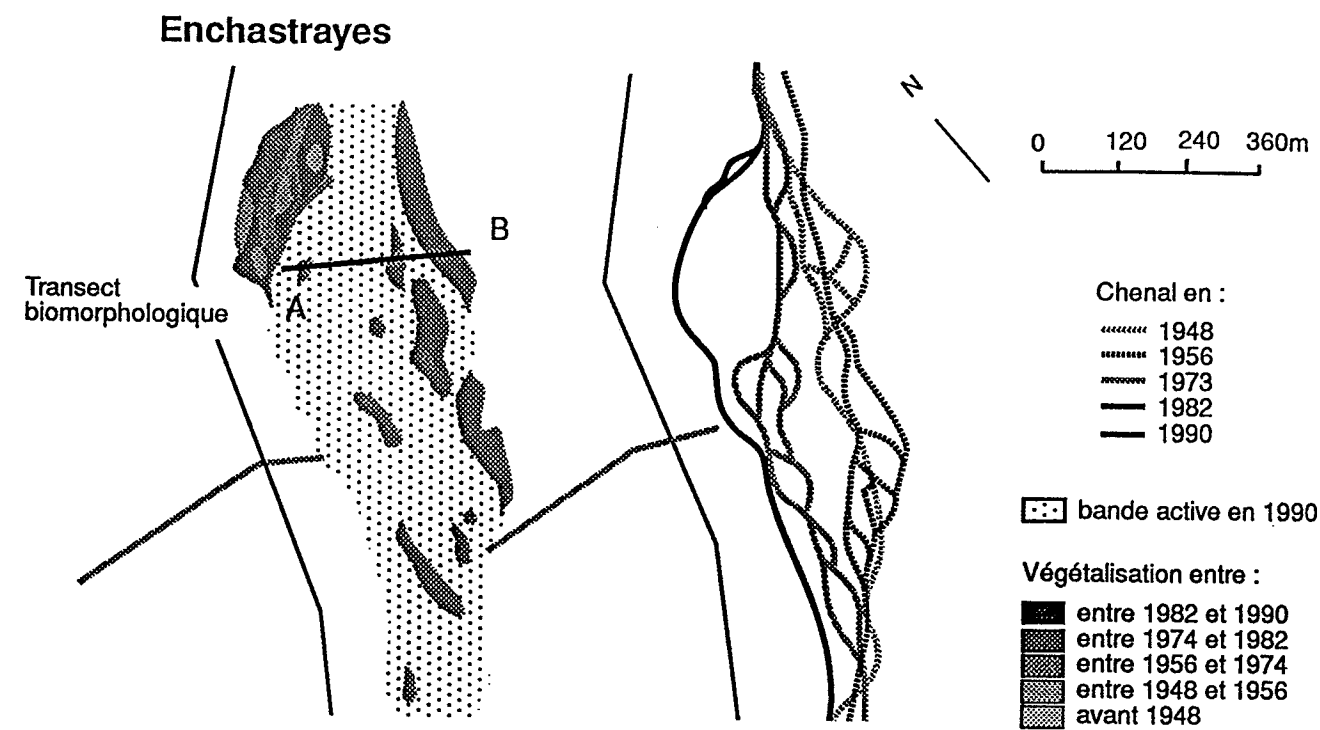
Le secteur de Champanastais se situe sur un plancher alluvial dans le tronçon en gorges. La pente est très forte et la bande active est réduite au seul chenal, ce qui induit une puissance unitaire élevée (tab. 28). L'environnement local présente une certaine originalité par rapport à celui des deux sites précédents. Globalement la charge de fond est beaucoup plus grossière avec la présence de très nombreux blocs et les écarts altitudinaux entre les surfaces sont plus accusés. Un ensemble de critères subjectifs montre qu'une forte pente longitudinale et une dynamique de gorges s'imposent petit à petit dans un environnement pourtant très alluvial.

Le chenal a donc conservé une assez grande mobilité (fig. 94C) puisque trois chenaux secondaires ont été identifiés sur le transect. Leur histoire récente a été étudiée à partir de l'analyse diachronique des photographies aériennes. Le grand lit situé au Nord a été le chenal principal de 1948 à 1974. C'est aujourd'hui un chenal de crue non végétalisé et alimenté en basses et moyennes eaux par des écoulements phréatiques. Il est connecté depuis 1974 seulement avec un second chenal plus étroit, situé plus au sud et revégétalisé entre 1974 et 1990. Un dernier lit, situé plus au Sud-Est encore, est l'héritier d'un chenal de débordement existant entre 1948 et 1956. Son tracé a servi partiellement de base au tracé du chenal actuel et le témoin conservé aujourd'hui s'est végétalisé entre 1956 et 1974. Cet axe et les niveaux voisins, proches de l'actuel lit de l'Ubaye, sont dessinés dans un matériel très grossier. Il est ainsi permis de parler de basses terrasses à blocs. Les autres surfaces de ce secteur, le plus souvent occupées par une pinède homogène ont été colonisées avant 1948. L'ensemble de ces biotopes forment une mosaïque fluviale d'une grande diversité dans un secteur de gorges dont on pensait a priori que les formes étaient d'une extrême stabilité.

La dynamique morphologique a atteint son paroxysme entre 1956-1974. Le site a alors été marqué par un basculement assez spectaculaire de l'axe principal. Le rôle de la crue de 1957 a sans doute été déterminant mais il est évident qu'une préparation initiale du recouplement, caractérisée par la formation et l'entretien d'un petit chenal secondaire lors des crues habituelles, était également nécessaire afin de concentrer l'écoulement au moment de la crue exceptionnelle. Ce nouveau fonctionnement a induit une nouvelle géométrie en plan et favorisé la naissance d'une sinuosité amont caractérisée par une érosion de berge au nord. Par conséquent, le site est bien marqué par un fonctionnement en plan dans lequel l'érosion latérale est un élément dynamique moteur. Néanmoins, la dissipation horizontale de l'énergie hydraulique ne peut être que modeste compte tenu de la largeur du fond de vallée. Comme l'indique le déchaussement du pied de la digue située en rive gauche, le chenal actuel semble légèrement incisé, ce phénomène s'étant sans doute manifesté à la suite des extractions massives effectuées en amont. Il est à craindre que cette incision conduise à stabiliser un système qui évoluerait à terme vers une dynamique fluviale de gorges.

Tableau 28 : Caractéristiques morphodynamiques des sites de l'Ubaye.

|  | Enchastrayes | Les Thuiles | Champanastais |
|--|--------------|-------------|---------------|
| Points kilométriques                       | 27           | 14          | 7,5           |
| Pente (en m/m)                             | 0,010        | 0,009       | 0,0115        |
| Largeur de la bande active (en m)          | 260          | 150         | 35            |
| Puissance brute (en W.m <sup>-1</sup> )    | 4730         | 7223        | 11550         |
| Puissance unitaire (en W.m <sup>-2</sup> ) | 18           | 48          | 330           |



### Conclusion :

Cette première partie a permis de montrer dans quel cadre bibliographique s'insérait notre démarche synchronique.

Les sites d'étude qui ont été présentés ont en commun une grande diversité végétale liée en partie à une morphodynamique subactuelle active. Ces hydrosystèmes sont caractérisés en effet par une énergie hydraulique potentielle élevée à l'origine d'un déplacement horizontal de l'axe fluvial.

Cette dynamique explique que leurs marges soient soumises à un rajeunissement permanent mais toujours partiel. Elles abritent ainsi une mosaïque végétale complexe associant des unités aquatiques et semi-aquatiques et des unités terrestres, des communautés pionnières, herbacées ou arbustives et des communautés arborées matures et dominées par les bois tendres puis les bois durs.

Suite à cette analyse initiale détaillée du cadre de l'étude, il convient maintenant d'exposer les méthodes et les résultats de notre démarche. L'influence de la crue du 22 septembre 1992 sur les marges boisées de l'Ouvèze et de l'Ardèche sera d'abord analysée.

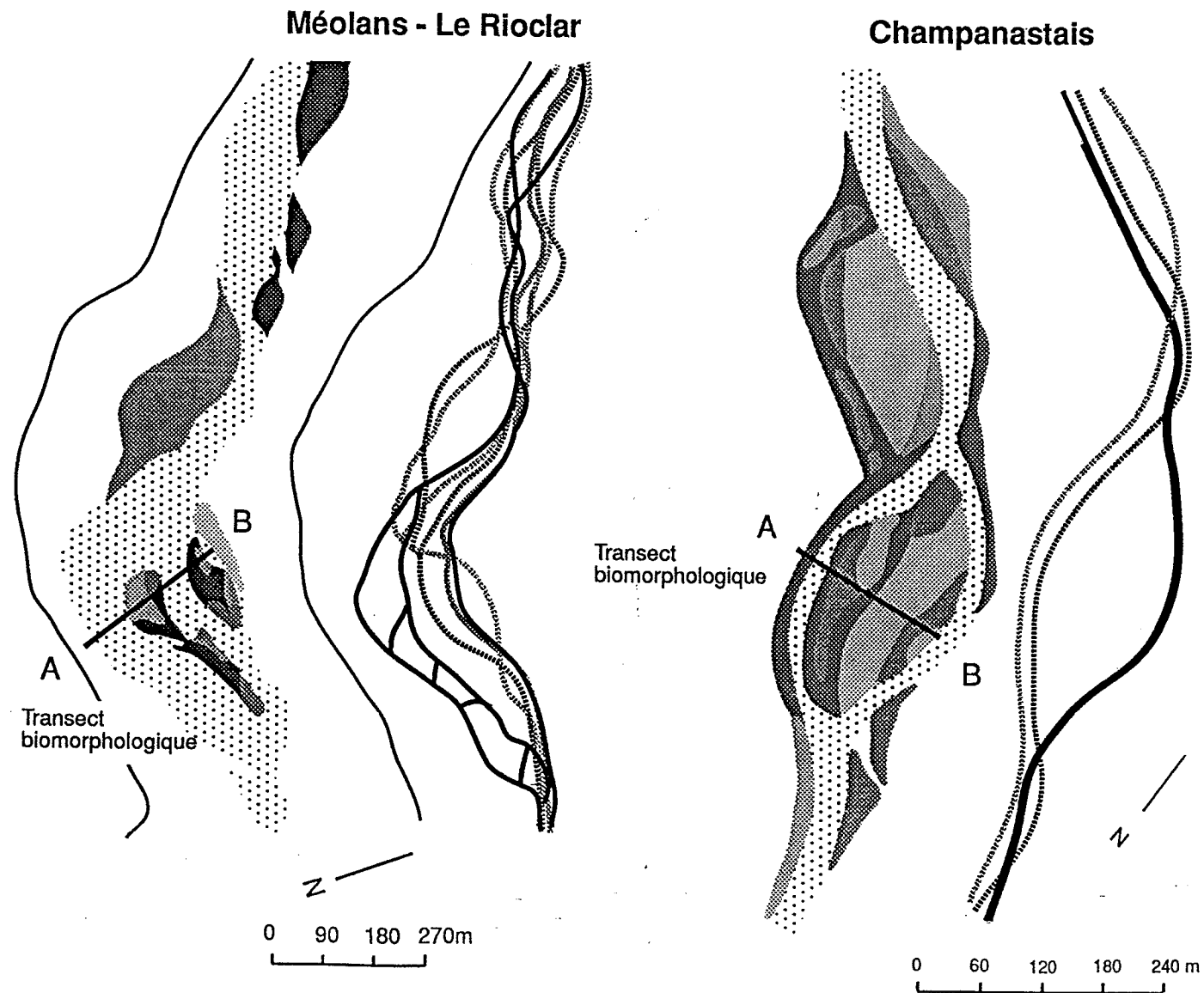


Figure 94 - Chronologie de la mobilité en plan du cours de l'Ubaye et de la recolonisation végétale de ses marges dans les secteurs d'Enchastrayes (A), de Méolans-Le Rioclar (B) et de Champanastais (C) entre 1948 et 1990, d'après les photographies aériennes de l'IGN.

## II Crues et variabilité spatiale de l'écotone bande active - lit majeur

L'objet de ce chapitre sera de mieux comprendre la capacité de résistance de la ripisylve aux événements hydrologiques majeurs. Suite aux crues exceptionnelles de l'automne 1992, sa réaction en plan a été étudiée sur l'Ouvèze et l'Ardèche.

Après avoir décrit l'événement météorologique et hydrologique, notre étude s'intéressera à l'influence de la crue sur :

- l'évolution de la superficie du corridor riparial d'un tronçon de l'Ouvèze,
- l'évolution biomorphologique d'un secteur fonctionnel de l'Ouvèze,
- l'état des structures ligneuses d'une unité post-pionnière de la ripisylve de l'Ardèche.

### 1. L'événement étudié

Un épisode pluvieux de type cévenol a touché le Sud-Est de la France le 22 septembre 1992 (fig. 95). Il s'agit d'une crue méditerranéenne d'automne, saison la plus favorable à l'occurrence d'épisodes violents (Pardé, 1925; Pagney, 1988).

Une cellule orageuse se déplaçant rapidement du Sud vers le Nord et formant une bande pluvieuse étroite mais allongée sur plusieurs dizaines, voire plusieurs centaines de kilomètres s'est trouvée bloquée par la ceinture oroméditerranéenne. Sur l'Ouvèze, cette bande, étendue sur 200 km de long et 10 km de large, a déversé 175 Mm<sup>3</sup> d'eau soit 1,5 à 2 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>.km<sup>2</sup>.

Les régions méditerranéennes concernées par ce violent phénomène pluvio-orageux ont été lourdement affectées puisque 40 victimes ont été dénombrées et les dégâts matériels ont été très importants; 245 communes ont été déclarées "en état de catastrophe naturelle" dont 62 dans le Vaucluse et 129 dans l'Ardèche.

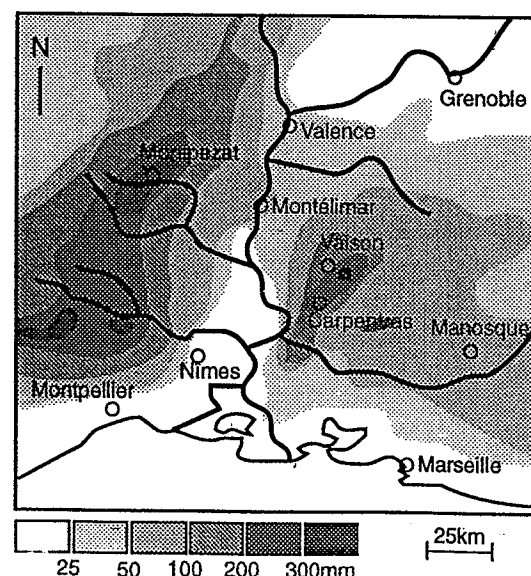


Figure 95 - Précipitations cumulées (en mm) du 21 septembre à 6 h UTC au 23 septembre à 6 h UTC dans le sud du couloir rhodanien (d'après G. Blanchet et J.C. Deblaere, 1993).

### - Sur l'Ouvèze

La crue dévastatrice de l'Ouvèze a été générée par des pluies torrentielles de très courte durée qui se sont produites sur un sol saturé par des pluies antérieures et dans une région au relief très contrasté. L'épisode pluvieux a touché le bassin de l'Ouvèze entre 10h25 et 11h45, sous la forme d'une succession de cellules orageuses se déplaçant vers le nord-est à une vitesse de 60km/h. La lame d'eau atteignit une moyenne de 90 à 95 mm à l'amont de Vaison mais les pluviographes enregistrèrent des valeurs maximales de 300 mm à Entrechaux, 212 mm à Carpentras et 179 mm à Vaison (fig. 96) (Blanchet et Deblaere, 1993). L'imagerie radar (fig. 96) a révélé des valeurs comprises entre 200 mm et 250 mm sur une bande allongée de 35 km (Kapfer, 1993). Le cumul des lames d'eau sur 18 mn a été élevé puisqu'il a atteint 25,1 mm à Vaison et 26,9 mm dans le bassin versant du Groseau, affluent de rive gauche de l'Ouvèze dont la confluence est située à quelques kilomètres à l'amont de la ville. Le volume précipité serait de 50 à 55 Mm<sup>3</sup>.

La crue du 22 septembre 1992 est une des catastrophes hydrologiques les plus graves que la France ait connue (Bravard, soumis).

Sa fréquence de retour est estimée "bien supérieure à cent ans" (Conseil Général des Ponts et Chaussées, 1992), voire 400 ans en utilisant la méthode du Gradex (de Saint Seine, 1992).

Plusieurs approches ont été utilisées afin de déterminer le débit maximal de la crue à Vaison. L'approche hydrologique sommaire à partir des volumes d'eau précipités sur le bassin versant a permis d'estimer le débit maximal entre 1125 et 1875 m<sup>3</sup>.S<sup>-1</sup> selon la valeur du coefficient d'écoulement (60 ou 100%). L'approche statistique "débit - durée - fréquence" du CÉMAGREF a conduit à une valeur de ce même débit comprise entre 770 et 1050 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> (Chastan *et al.*, 1993). L'approche hydraulique proposée au niveau du Pont Romain (section mouillée de 170m<sup>2</sup>, vitesse moyenne d'après une vidéo amateur de 5 à 6m/s) par ces mêmes auteurs, retient un débit de 680m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>.

Le débit maximum instantané retenu ainsi par la plupart des spécialistes (*ibid*) serait de l'ordre de 800 à 1000 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> à Vaison-la-Romaine.

Cet épisode serait sans précédent depuis le XV<sup>e</sup> siècle, la crue de 1616 qui a détruit le parapet du Pont Romain de Vaison étant à l'époque qualifiée de "grand désastre".

Les mesures effectuées dans le lit mineur sur les sites de Violès et de Saint-Michel (tab. 29) conduisent à des estimations en accord avec celles communément admises sur le site de Vaison-la-Romaine. Les valeurs que nous avons calculées sont bien sûr plus faibles dans la mesure où le débit n'a été retenu que pour le seul lit mineur. D'ailleurs, le débit calculé à Saint - Michel situé cinq kilomètres à l'amont de Vaison, est plus important que celui de Violès pourtant situé à l'aval dans la mesure où le lit majeur est beaucoup plus large sur ce dernier site et a par conséquent pu prendre en charge une part plus importante du débit total.

Cette démarche présente une marge d'erreur importante en raison de la mobilité du lit (les mesures font référence à une topographie postérieure au maximum de la crue) mais l'objectif était avant tout indicatif. La formule de Manning (citée par B. Lachat, 1994) et celles de K. Rotnicki (1983) et V.T. Chow (1959), qui ont été utilisées pour estimer la vitesse et le débit, sont les suivantes :

Selon Manning :  $V = R^{0.66} S^{0.5} / n$  et  $Q = AR^{0.66} S^{0.5} / n$

où V est la vitesse (en m/s), R, le rayon hydraulique (en m<sup>2</sup>), S, la pente (en m/m) et n le coefficient de rugosité de Manning.

Selon K. Rotnicki :  $Q = 0.921/n + AR^{0.66} S^{0.5} + 2.362$

Cette formule est plus fine dans la mesure où elle a été déterminée sur des rivières à fond graveleux.

Sur le site de Saint-Michel situé dans une courbe, la formule de V.T. Chow (1959) a pu être également utilisée. Quand un écoulement traverse rapidement une courbe, la surface en eau est plus haute dans la concavité que dans la convexité. Aussi, il est possible d'estimer la vitesse comme suit (erreur standard de 50%) :

$$V = (\Delta h g R_c / L)^{0.5}$$

où  $\Delta h$  est la surélévation du plan d'eau (en m),  $g$ , l'accélération de la pesanteur (en m/s),  $R_c$ , le rayon de courbure (en m) et  $L$ , la largeur de la surface en eau (en m).

Tableau 29 - Estimation du débit maximal en lit mineur d'après des mesures effectuées sur les sites de Violès et de Saint-Michel.

|  | Violès      | Saint-Michel |
|--|-------------|--------------|
| n (d'après F. Petit, communication orale)                                    | 0,04        | 0,04         |
| Périmètre mouillé P (en m)   | 134,8       | 246          |
| Section mouillée A (en m <sup>2</sup> )                                      | 217,6       | 255          |
| Rayon hydraulique R (A/P)  | 1,61        | 1,04         |
| Pente (en m/km)  | 4,8 / 9,1   | 1,5 / 12     |
| Vitesse (en m/s)   | 2,38 / 3,27 | 2,5* - 2,8** |
| Débit maximal en m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> (d'après K. Rotnicki, 1983) | 517-711     | 662          |
| Débit maximal en m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> (d'après Manning)           | 479-657     | 714          |
| Débit maximal en m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> (d'après V.T. Chow, 1959)   | -           | 635          |
| Puissance spécifique (W.m <sup>-2</sup> )                                    | 354-916     | 665          |

\* Manning, \*\* Chow

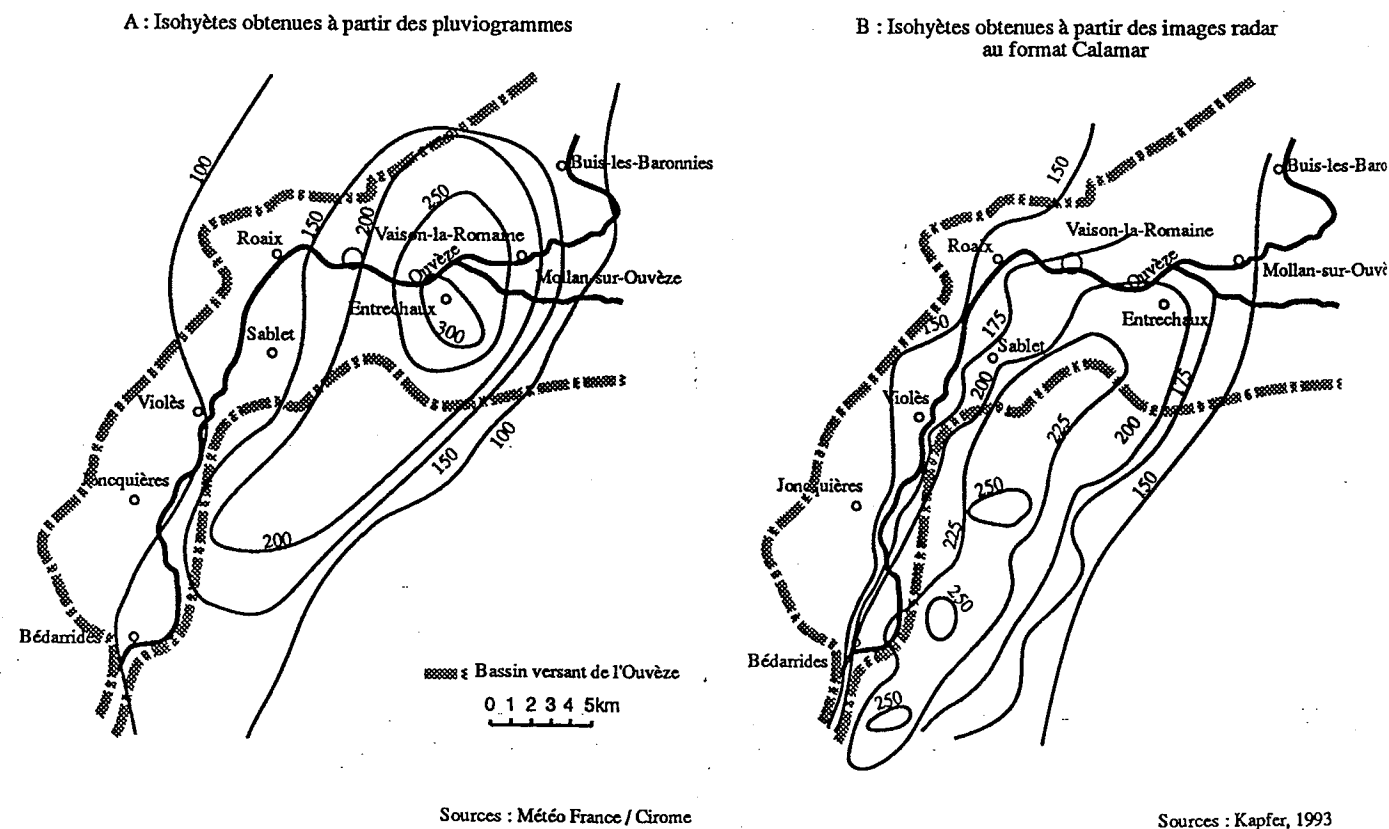


Figure 96 - La distribution des précipitations du 22 septembre 1992 dans le bassin versant de l'Ouvèze d'après les pluviographes (A) et l'imagerie radar (B).

### -Sur l'Ardèche

Sur le rebord centralien, le maximum des précipitations a été observé dans le haut bassin de l'Ardèche. Le relief élevé dans cette région a provoqué une ascendance brutale des masses d'air chaud et humide venues de la Méditerranée et conduit à des maxima pluviométriques bien connus : les averses de type cévenol.

La durée totale des précipitations oppose nettement ces régions au Vaucluse. Cette durée a en effet été de 10 heures à l'ouest du Rhône contre 4-5 heures à l'est (Blanchet et Deblaere, 1993). Par ailleurs, les hauteurs journalières de précipitations relevées ne sont pas exceptionnelles. Les 273 mm estimés à Montpezat sont souvent dépassés à la différence des secteurs paroxysmiques du Vaucluse où les 200mm sont des valeurs rares. C'est la concentration des précipitations sur un temps très court (5 à 6 heures) qui a occasionné cette crue exceptionnelle. Les débits de pointe sont ainsi très élevés alors que les volumes écoulés sont assez habituels (Dujardin, 1994).

Le rapport de la DDE concernant la crue du 22-09-92 note que les précipitations sont tombées régulièrement à partir du début de l'après-midi du 21. Entre 18h et 24h, elles se sont intensifiées et les plus abondantes ont touché les Cévennes et le bas-Vivarais entre 6h et 11h du matin. L'alerte générale a été déclarée à 9h15 suite à une montée très rapide des eaux au pont de Labeaume. Le niveau est passé de 1,25 à 2,5 m entre 9h et 9h15 et a atteint 7m, son maximum, à 11h30. A la station de Vogüé, la crue fut tout aussi violente, la hauteur d'eau passant de 1m à 10h à 7m84 à 13h48 (fig. 97). Néanmoins, dans la moyenne Ardèche, l'ampleur de la crue fut moindre et le débit maximal de 2360 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> à Vogüé, ne présentait qu'une fréquence de retour vicennale.

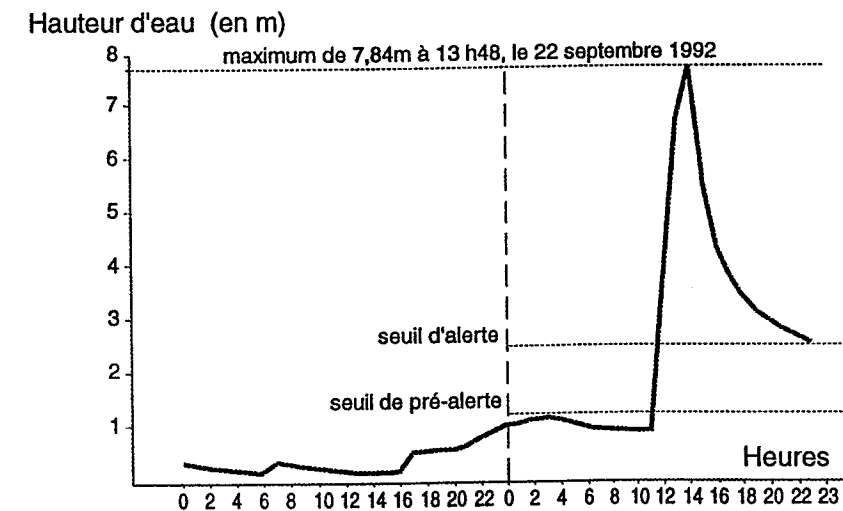


Figure 97 - Limnigramme de la crue du 22 septembre 1992 à la station de Vogüé (Ardèche moyenne).

Si les dégâts ont été relativement modestes sur le bassin de l'Ardèche, celui de l'Ouvèze a par contre été profondément atteint. La crue a marqué les hommes et le paysage (Arnaud-Fassetta *et al.*, 1993; Flageollet *et al.*, 1993; Nicod, 1993). Des pertes en vie humaine, d'importantes destructions d'infrastructures notamment dans la traversée de Vaison, des milliers d'hectares inondés (Bérengrer, 1993; Comby, 1993) ont fait de cet épisode un drame national. L'impact psychologique et une vision à court terme ont conduit les populations et les médias à rechercher des causes pouvant expliquer la soudaineté et l'ampleur de l'événement; la perception d'une vague déferlant au Pont Romain de Vaison a marqué les esprits. Le déboisement du bassin versant a été incriminé ainsi que le mauvais entretien de la végétation de berge, considéré par certains comme un facteur aggravant de la crue. Malheureusement, les données actuelles concernant la réaction de la ripisylve face à un événement hydrologique majeur restent encore très partielles.

C'est pourquoi, en prenant le cas de deux cours d'eau méditerranéens, nous nous proposons dans ce chapitre de mettre en évidence la réaction de la ripisylve et quelques processus biomorphologiques actifs lors d'une crue exceptionnelle.

## 2 La réaction d'un corridor ripicole à une crue exceptionnelle : le cas de l'Ouvèze sur le tronçon Roaix - Jonquières

L'interprétation de photographies aériennes prises avant et après l'épisode de crue a permis de mettre en évidence l'activité morphogène et destructrice de la crue et son effet sur l'extension spatiale de la forêt. De fait, une cartographie simplifiée de la forêt alluviale en place ou couchée et de la bande active a été réalisée à partir de la mission photographique IGN de 1991 (échelle au 1/20 000<sup>e</sup>) et d'une mission spéciale en date du 23 septembre 1993 (échelle au 1/8 000<sup>e</sup>) entre le pont de Roaix et le Pont de Jonquières sur un tronçon long de 18 km. Chacune des années est représentée par une carte qui a été scannée, redessinée informatiquement et rastérisée, le pixel représentant un carré de 20 m de côté (Piégay, 1993).

La superposition des deux états a permis de proposer une carte synthétique et dynamique mettant en évidence les mutations spatiales des unités de la mosaïque entre 1991 et 1993, c'est-à-dire l'effet de la crue du 22 septembre dans la mesure où cette crue est la seule qui soit survenue durant la période (fig. 98).

Le Système d'Information Géographique utilisé lors de cette étude a permis par ailleurs d'estimer les superficies des différentes unités physiologiques. Une étude a donc été conduite à partir de transects sur lesquels la largeur des unités a été mesurée en 1991 et en 1992. L'ensemble des transects formant une population statistique, des corrélations ont également été effectuées d'une année à l'autre. Pour chaque transect, la largeur de la bande active antérieure à la crue a par exemple été corrélée à la largeur des unités forestières érodées lors de la crue ou des unités dans lesquelles les arbres se sont seulement couchés (fig. 99 et 100).

La crue a augmenté la surface de la bande active de 32%, celle-ci passant de 136 à 180 ha au détriment de la forêt de 1991 (tab. 30). En outre, les stades végétaux pionniers couchés par la crue représentent 34 ha soit 11% de la surface boisée d'origine. La destruction ou l'altération par la crue des formations arborées représentent ainsi 78 ha, soit 25% de cette forêt (fig. 98).

Lors de la crue, les flux hydriques et minéraux ont donc fortement modifié la superficie et la physiologie du corridor végétal (tab. 30).

Une analyse statistique effectuée sur 745 individus-transects équidistants de 20m, chacun d'eux correspondant à une ligne de pixels, a également été conduite entre le Pont de Roaix et le Pont de Violès. La marge d'erreur a été estimée à un pixel, soit 20 m. Il apparaît ainsi que 3% des transects disposent en 1991 d'un chenal plus large que celui qui a été observé postérieurement à la crue.

Cette démarche permet ainsi de quantifier plus précisément les résultats acquis lors de l'analyse spatiale. La largeur moyenne et la gamme des largeurs de la bande active ont été considérablement accrues sur la plupart des transects, la moyenne et l'écart-type de cette variable passant respectivement de 87 à 113 mètres et de 43 à 45m (fig. 99). A la suite de la crue, rares sont les secteurs où le lit mineur présente une largeur inférieure à 70 m, la rupture entre les classes 60m et 80m étant caractéristique. Ce constat permet d'affirmer que la crue a donc calibré le chenal.

Comme la corrélation entre la largeur du chenal de 1991 (X) et la largeur du chenal après la crue (Y) est bonne (n : 745, r : 0,78; p : 0,0001), l'équation suivante a été proposée comme modèle :

$$Y = 0,8 X + 42,7$$

A la suite de la crue quadricentennale, la bande active a été recalibrée et sa largeur est ainsi passée par exemple de 45 à 80 m. Au delà d'une largeur de 200 m, aucun recalibrage n'était en revanche nécessaire.

A l'échelle du tronçon situé entre le Pont de Roaix et le Pont de Violès, la largeur des unités de bois couché est apparue assez peu dépendante de celle de la bande active avant la crue puisque le coefficient de corrélation r n'est que de 0,24 pour une probabilité p de 0,0001 (fig. 100). Ainsi, l'importance de la largeur de la forêt endommagée par la crue ne correspond que modérément à l'étroitesse du lit mineur.

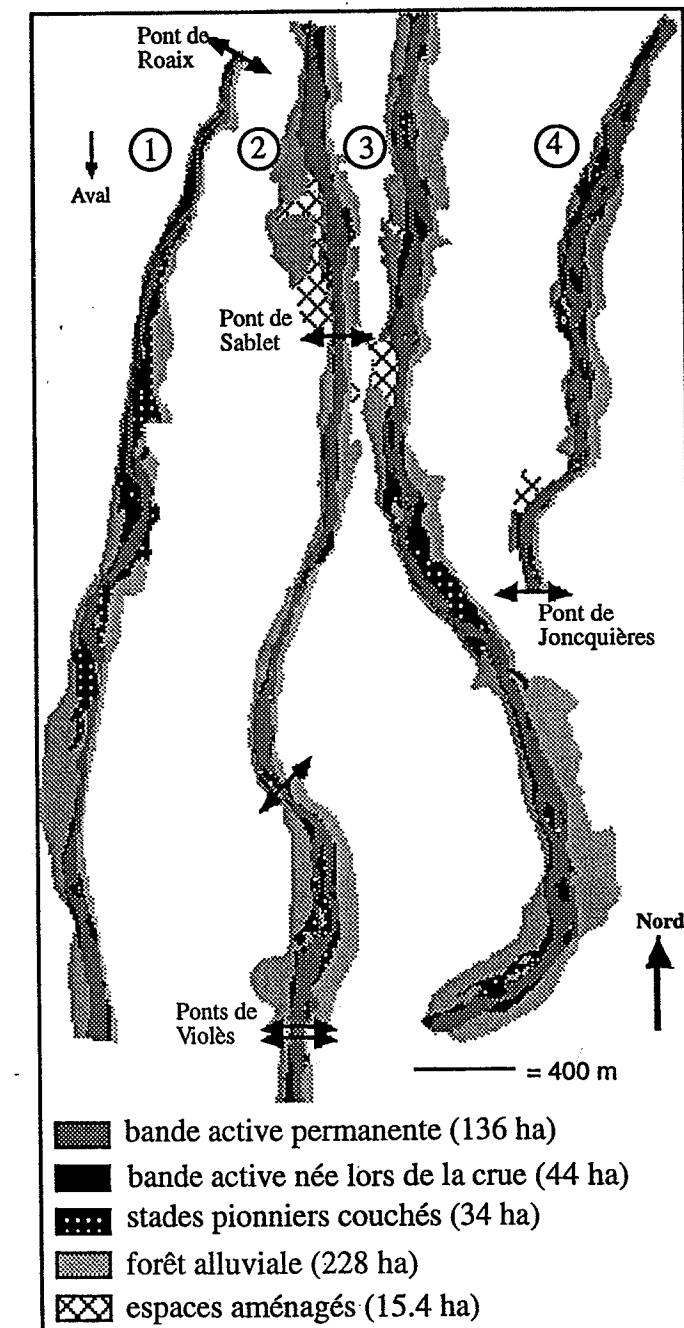


Figure 98 - Crue du 22 septembre 1992 et variabilité de la superficie des principales unités de la mosaïque fluviale de l'Ouvèze.

La ripisylve est donc capable de réagir très différemment aux écoulements de crue pour une largeur de lit donnée (Piégay et Bravard, soumis). Un secteur caractérisé par une bande active initiale large peut ainsi présenter une largeur de bois couché importante alors qu'un secteur très étroit peut avoir aucune unité endommagée à la suite de la crue. Néanmoins, c'est dans ce dernier cas que les largeurs de bois couchés les plus importantes ont été observées.

En fait, les caractères internes de la forêt alluviale et notamment la densité et le diamètre des arbres ou encore les types d'espèces, conditionnent sa capacité de résistance et expliquent autant que la capacité d'écoulement du lit, la variabilité de la largeur des unités de bois couchés. La présence ou l'absence de stades pionniers flexibles seraient ainsi un facteur explicatif majeur de la variation de cette variable.

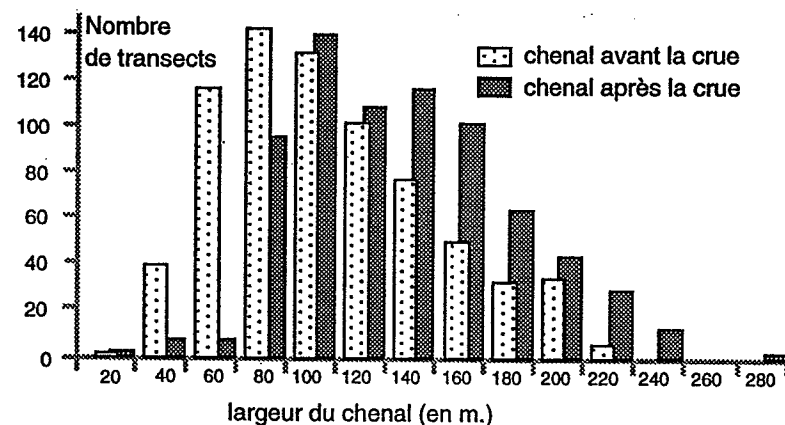


Figure 99 - Le calibrage de la largeur de la bande active de l'Ouvèze par la crue du 22 septembre 1992.

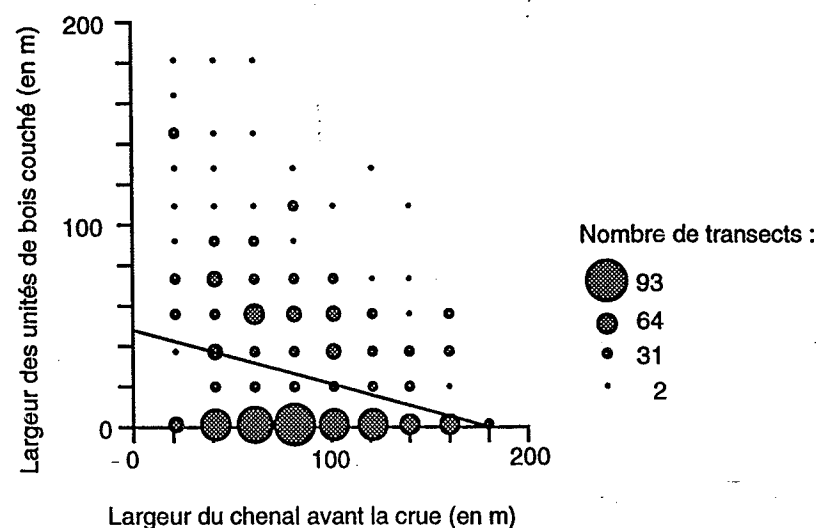


Figure 100 - La largeur des unités de bois couchés, une variable indépendante de la largeur de la bande active de l'Ouvèze avant la crue du 22 septembre 1992.

Tableau 30 - Résultats statistiques de la variabilité de la superficie des principales unités de la mosaïque fluviale de l'Ouvèze à la suite de la crue du 22 septembre 1992.

|                       | Avant la crue<br>(en ha) | Après la crue<br>(en ha) | Taux d'évolution<br>(en %) |
|-----------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|
| Bande active          | 136                      | 180                      | +32                        |
| Forêt                 | 306                      | 228                      | -25                        |
| Unités de bois couché | 0                        | 34                       | -                          |
| Ensemble              | 442                      | 442                      | -                          |

### 3 La réaction des marges boisées d'un secteur fonctionnel: le cas de Violès sur la moyenne Ouvèze

La réaction de la forêt alluviale à la crue de septembre 1992 a été étudiée sur l'Ouvèze dans le secteur de Violès. L'objectif retenu était de comprendre le comportement en plan des flux hydriques, minéraux et ligneux et de déterminer les axes d'écoulement préférentiels en lit majeur.

La démarche proposée présentera :

- le fonctionnement physique de ce compartiment au moment de la crue,
- l'importance de la crue dans la diversification de la mosaïque végétale,
- des complexes de processus biostructuraux de dissipation de l'énergie.

#### 3.1 Le fonctionnement du secteur au moment de la crue

Différents indicateurs de la dynamique tels que le déplacement de galets, l'érosion aréolaire, la présence d'embâcles de bois ou de bois couchés ont permis de dresser un croquis biomorphologique du secteur de Violès à la suite du 22 septembre 1992 (fig. 101), de restituer la dynamique de la crue et de mettre en lumière le rôle prépondérant des aménagements humains.

Le fonctionnement global du secteur lors de la crue semble étroitement lié aux aménagements humains qui ont favorisé, dans ce secteur comme sur l'ensemble du cours de l'Ouvèze, un phénomène d'embâcle et de débâcle. Le pont situé à l'amont du site et la route endiguée qui y conduit et qui recoupe la plaine inondable, ont bloqué les écoulements lors de la crue. L'eau s'est accumulée à l'amont de l'ouvrage jusqu'à ce que la digue se rompt et que la vidange s'effectue dans le lit majeur de rive gauche. L'axe préférentiel de circulation des flux ne correspondait plus à la bande active lors du maximum de la crue. La berge concave du lit mineur, érodée lors des crues fréquentes (C), a ainsi été épargnée alors que le banc de convexité (B) a été profondément rajeuni par des processus mixtes d'érosion aréolaire et de dépôt. Dans ce cas précis, la crue exceptionnelle a d'abord agi sur le lit majeur et le façonnement du lit mineur a été modeste et peut être moins efficace que pour des crues de faible et de moyenne ampleur.

Les indicateurs biomorphologiques ont permis d'effectuer une cartographie des flux ainsi qu'une sectorisation et une modélisation spatiotemporelle de l'activité morphogène de la crue. La restitution dans le temps de la dynamique de la crue a nécessité une distinction entre la partie amont de la section d'étude dans laquelle les processus sont influencés par la présence d'un pont amont et la partie aval de la section d'étude influencée par la présence d'un second pont aval.



La ripisylve est donc capable de réagir très différemment aux écoulements de crue pour une largeur de lit donnée (Piégay et Bravard, soumis). Un secteur caractérisé par une bande active initiale large peut ainsi présenter une largeur de bois couché importante alors qu'un secteur très étroit peut avoir aucune unité endommagée à la suite de la crue. Néanmoins, c'est dans ce dernier cas que les largeurs de bois couché les plus importantes ont été observées.

En fait, les caractères internes de la forêt alluviale et notamment la densité et le diamètre des arbres ou encore les types d'espèces, conditionnent sa capacité de résistance et expliquent autant que la capacité d'écoulement du lit, la variabilité de la largeur des unités de bois couché. La présence ou l'absence de stades pionniers flexibles seraient ainsi un facteur explicatif majeur de la variation de cette variable.

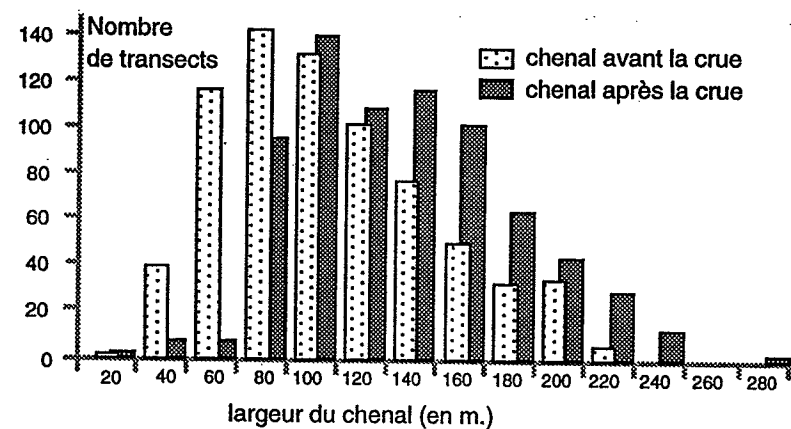


Figure 99 - Le calibrage de la largeur de la bande active de l'Ouvèze par la crue du 22 septembre 1992.

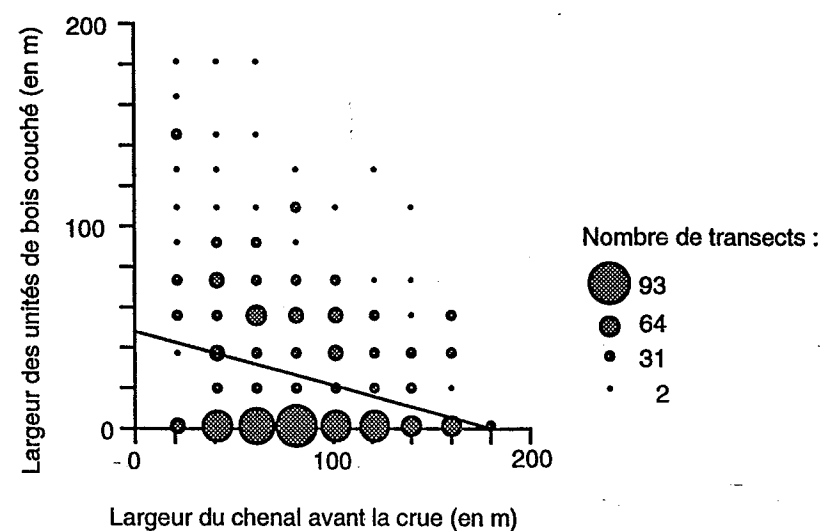


Figure 100 - La largeur des unités de bois couchés, une variable indépendante de la largeur de la bande active de l'Ouvèze avant la crue du 22 septembre 1992.

Tableau 30 - Résultats statistiques de la variabilité de la superficie des principales unités de la mosaïque fluviale de l'Ouvèze à la suite de la crue du 22 septembre 1992.

|                       | Avant la crue<br>(en ha) | Après la crue<br>(en ha) | Taux d'évolution<br>(en %) |
|-----------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|
| Bande active          | 136                      | 180                      | +32                        |
| Forêt                 | 306                      | 228                      | -25                        |
| Unités de bois couché | 0                        | 34                       | -                          |
| Ensemble              | 442                      | 442                      | -                          |

### 3 La réaction des marges boisées d'un secteur fonctionnel: le cas de Violès sur la moyenne Ouvèze

La réaction de la forêt alluviale à la crue de septembre 1992 a été étudiée sur l'Ouvèze dans le secteur de Violès. L'objectif retenu était de comprendre le comportement en plan des flux hydriques, minéraux et ligneux et de déterminer les axes d'écoulement préférentiels en lit majeur.

La démarche proposée présentera :

- le fonctionnement physique de ce compartiment au moment de la crue,
- l'importance de la crue dans la diversification de la mosaïque végétale,
- des complexes de processus biostructuraux de dissipation de l'énergie.

#### 3.1 Le fonctionnement du secteur au moment de la crue

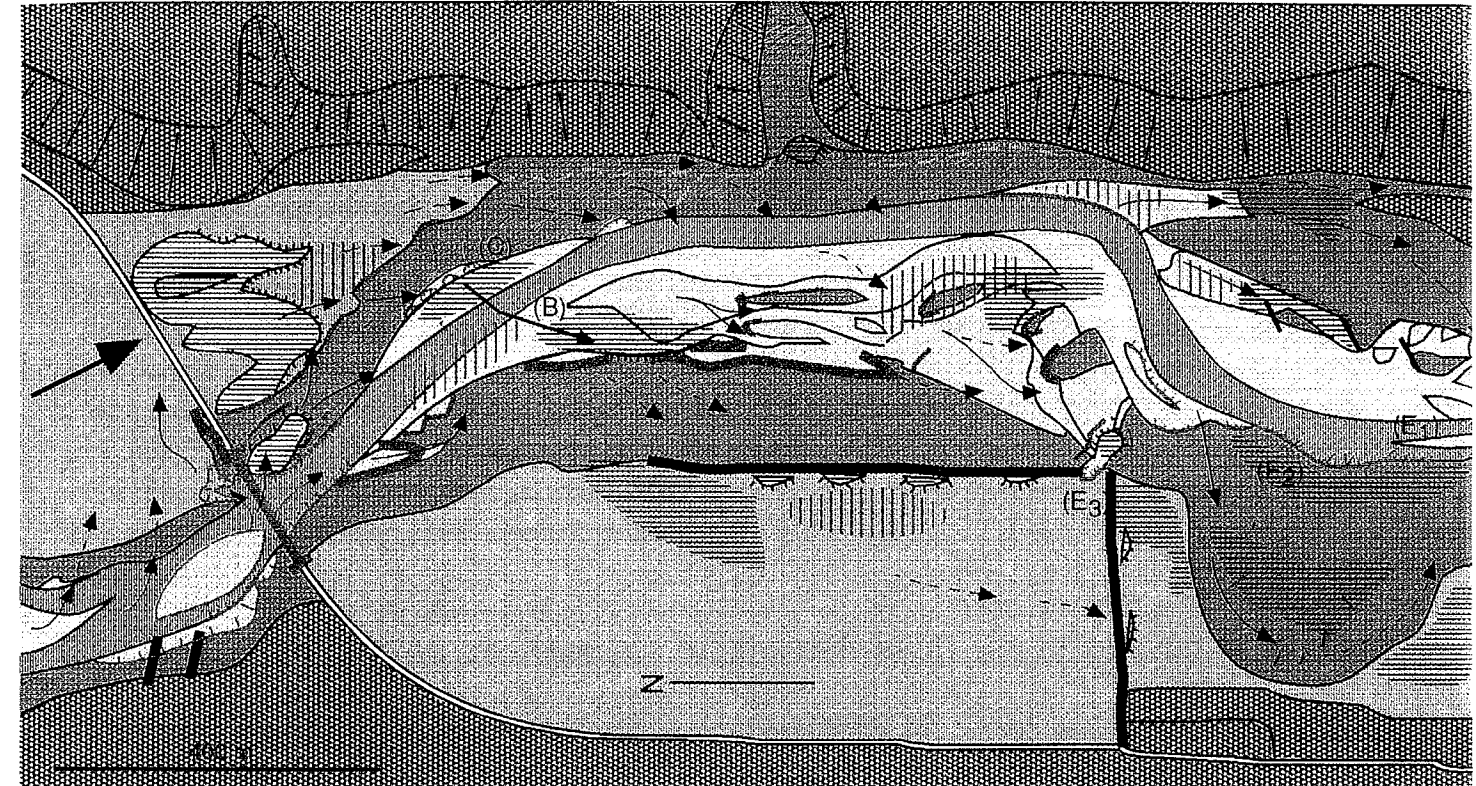
Différents indicateurs de la dynamique tels que le déplacement de galets, l'érosion aréolaire, la présence d'embâcles de bois ou de bois couchés ont permis de dresser un croquis biomorphologique du secteur de Violès à la suite du 22 septembre 1992 (fig. 101), de restituer la dynamique de la crue et de mettre en lumière le rôle prépondérant des aménagements humains.

Le fonctionnement global du secteur lors de la crue semble étroitement lié aux aménagements humains qui ont favorisé, dans ce secteur comme sur l'ensemble du cours de l'Ouvèze, un phénomène d'embâcle et de débâcle. Le pont situé à l'amont du site et la route endiguée qui y conduit et qui recoupe la plaine inondable, ont bloqué les écoulements lors de la crue. L'eau s'est accumulée à l'amont de l'ouvrage jusqu'à ce que la digue se rompt et que la vidange s'effectue dans le lit majeur de rive gauche. L'axe préférentiel de circulation des flux ne correspondait plus à la bande active lors du maximum de la crue. La berge concave du lit mineur, érodée lors des crues fréquentes (C), a ainsi été épargnée alors que le banc de convexité (B) a été profondément rajeuni par des processus mixtes d'érosion aréolaire et de dépôt. Dans ce cas précis, la crue exceptionnelle a d'abord agi sur le lit majeur et le façonnement du lit mineur a été modeste et peut être moins efficace que pour des crues de faible et de moyenne ampleur.

Les indicateurs biomorphologiques ont permis d'effectuer une cartographie des flux ainsi qu'une sectorisation et une modélisation spatiotemporelle de l'activité morphogène de la crue. La restitution dans le temps de la dynamique de la crue a nécessité une distinction entre la partie amont de la section d'étude dans laquelle les processus sont influencés par la présence d'un pont amont et la partie aval de la section d'étude influencée par la présence d'un second pont aval.

Plusieurs séquences ont été identifiées sur la partie amont (à l'aval d'un pont) :

- La rupture de la digue au moment du maximum de la crue a provoqué une vidange brutale de l'écoulement dans le lit majeur de rive gauche. L'axe principal d'écoulement a changé de position et la direction des flux dans la partie médiane du secteur s'est inversé, la zone de concavité (C) devenant une zone de faible énergie alors que la zone de convexité (B) était une marge de haute énergie marquée par une érosion aréolaire, des stades pionniers couchés, une ligne de débris...



- |  |                                   |                            |
|--|-----------------------------------|----------------------------|
| <b>1 - UNITES PHYTOMORPHOLOGIQUES</b>  | <b>2 - FORMES LIEES A LA CRUE</b> | <b>3 - INFRASTRUCTURES</b> |
| ■ Chenal en eau                        | ⋯ Berges érodées                  | — Pont                     |
| □ Bancs de galets                      | ▨ Zone d'érosion aréale           | — Route                    |
| ▨ Stades pionniers couchés par la crue | ⊖ Zone d'érosion régressive       | ◆ Epis                     |
| ▨ Forêt alluviale                      | ⊖ Nappe transgressive de graviers | — Diguette                 |
| ▨ Parcelles agricoles (en lit majeur)  | ▨ Zone de dépôts                  | <b>4 - FLUX</b>            |
| ▨ Parcelles agricoles (sur terrasses)  | ⌋ Embâcle de bois                 | → Principaux               |
| ▨ Forêt méditerranéenne                |                                   | - - - Secondaires          |
| ▨ Talus miocène                        |                                   |                            |

Figure 101 - Croquis biomorphologique du secteur de Violès sur la moyenne Ouvèze après la crue de septembre 1992.

- Au moment de la décrue mais également lors de la montée des eaux, des flux très puissants se sont écoulés dans le lit mineur, les berges situées à l'aval du pont ont été soumises à une forte érosion et des galets ont été projetés sous forêt. Dans l'axe du chenal enfin, une forte érosion s'est manifestée sur le fond du lit. Pour dissiper une énergie en excès, la rivière a pris de la charge et a modifié sa géométrie et notamment sa largeur et sa profondeur.

Dans la partie aval, située à l'amont du pont de la route départemental, les phénomènes se succèdent comme suit :

- Au moment du maximum de la crue, le pont de Violès, dont la capacité d'écoulement est insuffisante, a freiné la vitesse de la nappe d'eau ce qui explique que les formes d'érosion sous forêt soient rares. Cette forêt a en revanche été soumise à une intense sédimentation limo-sableuse dont l'épaisseur peut dépasser parfois 50 cm.

- Au moment de la décrue, la section du pont a canalisé les écoulements et l'effet de chasse provoqua, par l'augmentation de la pente du plan d'eau et de la vitesse des écoulements, des phénomènes d'érosion régressive ( $E_1$ ) en lit mineur ou en lit majeur et de sapement de berges ( $E_2$ ). La mise en eau induit également des phénomènes assez semblables mais ceux-ci restèrent limités au seul lit mineur.

Ainsi, les différents indicateurs biomorphologiques ont permis de montrer que le compartimentage de l'hydrosystème a provoqué :

- un très fort alluvionnement limono-sableux dans le lit majeur situé à l'amont des ponts et graveleux dans la partie médiane du lit mineur,

- une forte érosion du fond du lit et des berges, par sapement latéral ou par érosion régressive au moment de la vidange du lit majeur aussi bien à l'aval qu'à l'amont des ponts.

Or, il apparaît que cette dynamique, influencée par les aménagements humains, a favorisé une étonnante diversification de la mosaïque végétale en lit majeur.

### **3.2 Dissipation de l'énergie et diversification de la mosaïque végétale**

Les unités présentes avant la crue ont évolué très différemment selon leur position géographique et leur degré de rugosité hydraulique.

L'étude synchronique des médianes des sédiments a permis de montrer, outre la distinction bande active - lit majeur, que la réduction granulométrique n'est pas un phénomène ubiquiste en lit majeur. Elle a été observée dans la ripisylve de rive droite, mais pas dans celle de rive gauche. Il existe en fait une différence hydrodynamique capitale entre un lit majeur de rive droite qui subit les flux dominants et un lit majeur de rive gauche épargné car situé sur la marge des flux morphogènes.

Cette opposition spatiale se marque par la présence dans le premier cas ou l'absence dans le second cas d'une ligne de débris ligneux, de dépôts sableux récents épais et d'arbres couchés nombreux. Le tonnage de débris ligneux n'excède pas  $10 \text{ t.ha}^{-1}$  en rive gauche et l'épaisseur des dépôts de la crue est inférieure à 2,5 cm. Même les marges de la forêt ont été fortement épargnées et aucun ligneux n'est couché.

La ripisylve, située immédiatement en bordure de la bande active, réagit ainsi très différemment aux écoulements de crue en raison non seulement de ses caractères internes mais surtout de sa position vis-à-vis des flux dominants.

En agissant sur un espace boisé dans lequel la rugosité hydraulique potentielle est d'une diversité spatiale extrême, la crue a considérablement transformé le contact lit majeur - bande active. Détruisant des stades arborés matures, couchant des unités de pionniers, déposant ou non une sédimentation granulométriquement très hétérogène, des accumulations organiques plus ou moins abondantes, la crue du 22 septembre 1992 a multiplié les unités phyto-morphologiques, diversifié la zone ripariale et complexifié la mosaïque fluviale.

En marquant le contact entre les milieux terrestres et les milieux aquatiques, la forêt alluviale abrite ainsi des processus phytomorphologiques interactifs originaux qui font de cet espace un véritable écotone.

### 3.3 Les complexes de processus biostructuraux

Le croquis biomorphologique a permis de mettre en évidence une mosaïque d'unités fondée sur les géoformes de crue et l'état de la forêt. Cette mosaïque est liée à l'équilibre très variable existant entre la rugosité des formations végétales et l'énergie des flux de débordement. Cet équilibre dépend de données géographiques (position du lieu), dynamiques (vitesse des flux) et biostructurales (rugosité hydraulique du site et de la section le séparant de la bande active).

La dissipation de l'énergie sur les marges boisées engendre une succession amont-aval de processus biomorphologiques. Ces derniers se relaient au fur et à mesure de l'atténuation des vitesses de la nappe d'eau. Leur nature, leur nombre et leur ampleur varient en fonction de l'intensité de la dynamique. Trois modèles synthétiques (fig. 102) ont été identifiés lors de la reconnaissance de terrain.

Un complexe spécifique de processus biostructuraux successifs illustre ainsi :

- les marges pionnières de la bande active,
- les axes intraforestiers de débordement de premier ordre, caractérisés par une énergie hydraulique élevée,
- les axes intraforestiers de débordement de second ordre, caractérisés par des flux de moindre énergie.

Les processus-relais dans les unités pionnières (fig. 102A) ont été observés dans la partie médiane du site. La dissipation de l'énergie s'effectue à l'amont par la prise en charge des galets. L'amenuisement de la surface conduit au déchaussement des arbres présents qui sont exportés. Plus à l'aval, le secteur est caractérisé par le dépôt de galets et un nombre croissant d'arbres couchés. Dans la section suivante, les galets se raréfient et l'énergie est dissipée par la prise en charge des sables. L'érosion aréolaire est très sélective ce qui engendre une micromorphologie de surface de plus en plus contrastée. A l'extrême aval, l'énergie hydraulique est si faible que se déposent des sables et une ligne de débris.

Le second modèle concerne le complexe des processus-relais dans les axes intraforestiers les plus dynamiques (fig. 102B). Le nombre et l'ampleur des processus sont plus faibles mais les embâcles de bois mort ont joué un rôle déterminant. La dissipation de l'énergie est en effet dictée par la migration progressive d'un embâcle de contact. A l'amont, son passage a dessiné un axe ouvert d'abord marqué par une érosion aréolaire puis par des dépôts sableux discontinus à proximité de l'accumulation. A l'aval, l'érosion aréolaire prépare le déchaussement des arbres en place et par conséquent la migration aval du bouchon ligneux. La micromorphologie est très contrastée et des embâcles d'ampleur modeste sont présents ponctuellement de part et d'autre de l'axe préférentiel d'écoulement. Plus à l'aval encore, le complexe de processus s'apparente au modèle suivant.

Dans les chenaux intraforestiers de second ordre (fig. 102C), la hauteur de la nappe d'eau est plus faible et la dissipation de l'énergie s'effectue aux dépens de la strate arbustive. La densité du sous-bois augmente ainsi vers l'aval et de part et d'autre du chenal préférentiel d'écoulement. Des embâcles de bois sont présents ponctuellement de part et d'autres de l'axe au pied des arbres. Ces masses de débris ligneux sont négligeables et se réduisent de l'amont vers l'aval.

Ainsi, les flux de débordement les plus morphogènes sont canalisés dans des axes préférentiels d'écoulement. Des passages intraforestiers ne présentant pas toujours une morphologie de chenal reconcentrent les flux. Ils disposent sans doute d'une plus forte pente, d'une altitude plus basse, d'une moindre rugosité (surface terrière plus faible) et surtout d'une position géographique précise, le plus souvent perpendiculaire aux flux principaux.

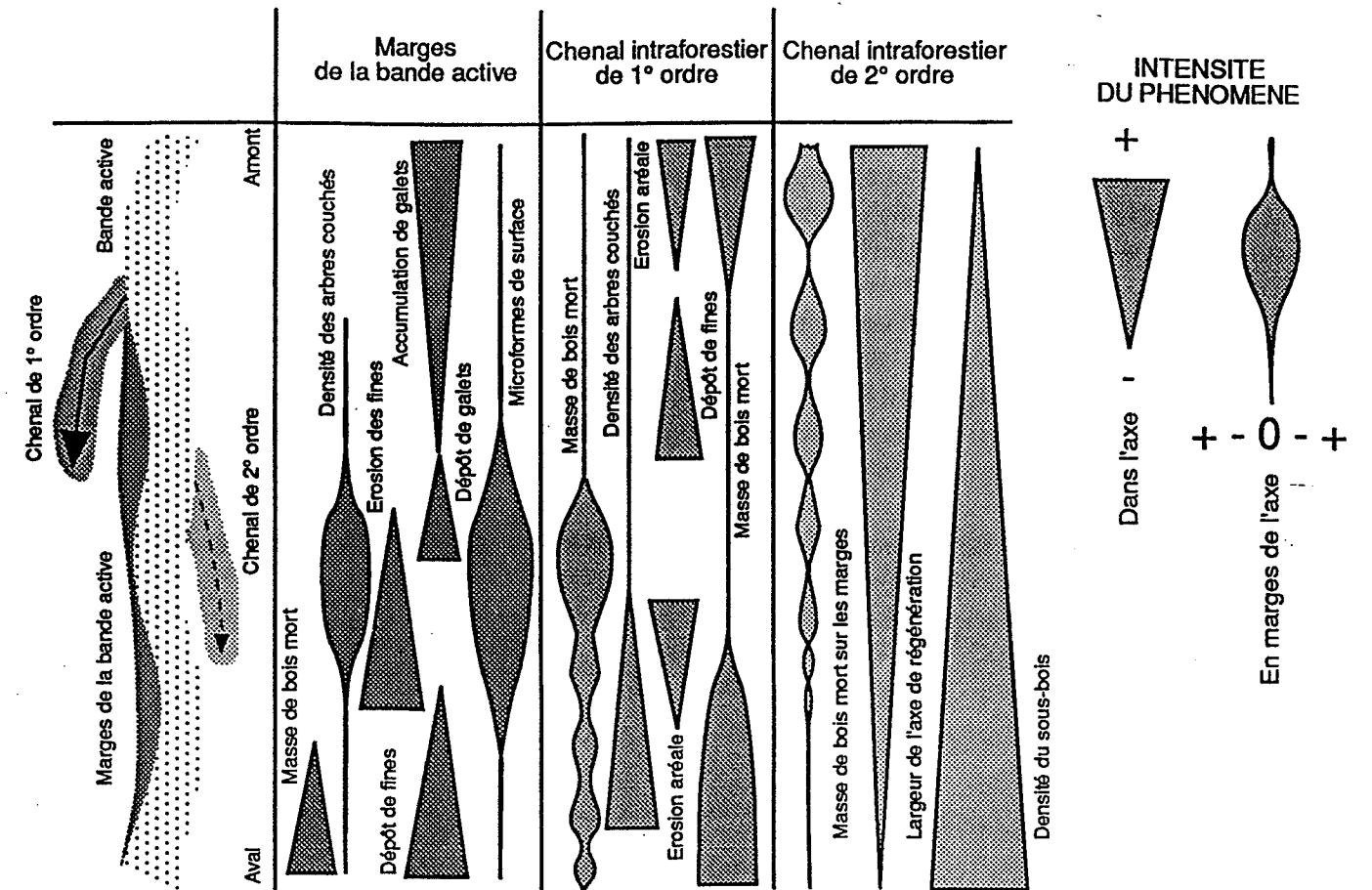


Figure 102 - Exemple de complexes de processus biomorphologiques relais dans les axes de débordement de la ripisylve du secteur de Violès situé sur la moyenne Ouvèze.

Comme la bande de tressage, le paysage forestier riverain conserve les marques de la diversité hydrodynamique. Les flux d'inondation présentent dans le corridor forestier un style en tresses avec des zones de confluence ou de diffluence de chenaux préférentiels. Il y a ainsi une duplication de la bande de tressage sur la bande inactive. Néanmoins dans cette dernière, la dissipation de l'énergie hydraulique se fait non seulement sur la charge de fond mais encore sur les structures biologiques.

Dès lors, il est possible d'affirmer que les marges boisées participent à la dissipation de l'énergie des crues et réduisent ses capacités morphogènes.

### 4 La réaction d'une unité fonctionnelle : le cas d'une saussaie à Peupliers noirs à Lanas, moyenne Ardèche.

L'approche proposée dans ce chapitre a été centrée sur la réaction des structures ligneuses d'une unité fonctionnelle à la crue. Elle repose sur la collecte d'un descripteur, le degré d'inclinaison des arbres et des arbustes, et de variables potentiellement explicatives. L'analyse statistique est confortée par des observations de terrain.

Après un exposé de la méthode retenue, les résultats acquis seront développés et interprétés.

## 4.1 La méthode

L'unité ripicole étudiée se situe en rive gauche de l'Ardèche sur un tronçon rectiligne en amont du pont de Lanas. La hauteur maximale du plan d'eau lors de la crue du 22 septembre 1992 a été estimée à 2-2,5m. Cette marge est occupée par des formations post-pionnières : saussaie basse en bordure du chenal, saussaie blanche et peupleraie en retrait. Les espèces recensées sont peu nombreuses et réduites à trois genres : *Salix*, *Populus* et *Platanus* (tab. 31).

L'analyse statistique repose sur des données prélevées sur quatre transects latéraux se succédant de l'amont vers l'aval (tab. 32). Cette démarche permet d'intégrer la dimension longitudinale et montre qu'il existe un gradient d'énergie de l'amont vers l'aval et un complexe de processus biomorphologiques relais. Le premier transect situé à l'amont recoupe un banc de galets très fortement soumis par la crue à l'érosion aréolaire; des racines arrachées témoignent de la présence récente de la ripisylve. Plus à l'aval, le terrain recoupé par le transect 2 est fossilisé par des apports graveleux récents. Les transects 3 et 4 sont caractérisés enfin par des apports sableux très importants.

La longueur de chaque transect est spécifique et correspond à la largeur effective de l'unité (tab. 32). Sur chacun de ces transects ayant pour origine le chenal et sur une largeur de 4m sont relevés de façon systématique pour chaque arbre ou arbuste présent (tab. 31 et 32) :

- son degré d'inclinaison,
- son diamètre,
- son essence,
- le type de substrat,
- l'état des racines,
- sa distance au chenal,
- sa position longitudinale c'est-à-dire la position du transect sur lequel il est observé. L'intervalle entre les transects n'est pas constant car leur localisation a été choisie afin de prendre en compte de manière optimale la succession amont-aval des indicateurs biomorphologiques de l'unité.

L'objectif est d'expliquer le degré d'inclinaison des arbres et arbustes, considéré comme un indicateur de l'impact de la crue sur les structures ligneuses, par :

- le type d'individu caractérisé par son essence et son diamètre,
- sa position géographique dans l'unité (distance latérale et longitudinale),
- des critères morphodynamiques observés postérieurement à la crue (présence ou absence de galets transgressifs, érosion aréolaire à l'origine du déchaussement des racines).

L'inclinaison observée est bien sûr due à la crue du 22 septembre 1992 et ne correspond pas à un cumul de l'effet de plusieurs crues. La collecte a en effet été effectuée au début du mois d'octobre 1992, soit quelques jours seulement après la crue et les formes étaient alors faciles à identifier

L'analyse repose sur une régression multiple dans laquelle Y, la variable à expliquer est la valeur de l'inclinaison. X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub>, X<sub>3</sub>, X<sub>4</sub>, X<sub>5</sub> et X<sub>6</sub>, les variables explicatives, sont respectivement le diamètre, la distance au chenal, l'essence, la distance longitudinale, l'état des racines et le type de substrat.

## 4.2 Les résultats

### 4.2.1 Présentation des variables

L'unité étudiée est une saussaie à *salix alba* (86% des ligneux sont des Saules) associé à *Populus nigra*. Le diamètre moyen est faible mais l'étendue de la population est relativement importante puisque l'ensemble des individus se distribue entre 1 et 33 cm de diamètre (tab. 31).

Tableau 31 - Caractéristiques générales des variables collectées.

| Genres    | Classes d'inclinaison | Diamètre     | Type de substrat | Racines       |
|-----------|-----------------------|--------------|------------------|---------------|
| saules :  | 1 : aucune.           | moyenne :    | 1= galets.       | 1=nonvisibles |
| 86%       | 25%                   | 6 cm         | 27%              | +             |
| peupliers | 2 : 10-40°.           | écart-type : | 2= sables.       | 86%           |
| 13 %      | 24%                   | 5,15 cm      | 73%              | 2= visibles   |
| platanes  | 3 : 41°-60°.          | minimum :    |                  | 14%           |
| 1 %       | 34%                   | 1 cm         |                  |               |
|           | 4 : 61°-90°.          | maximum :    |                  |               |
|           | 17%                   | 33 cm        |                  |               |

NB : La fréquence de chaque classe est exprimée en pourcentage.

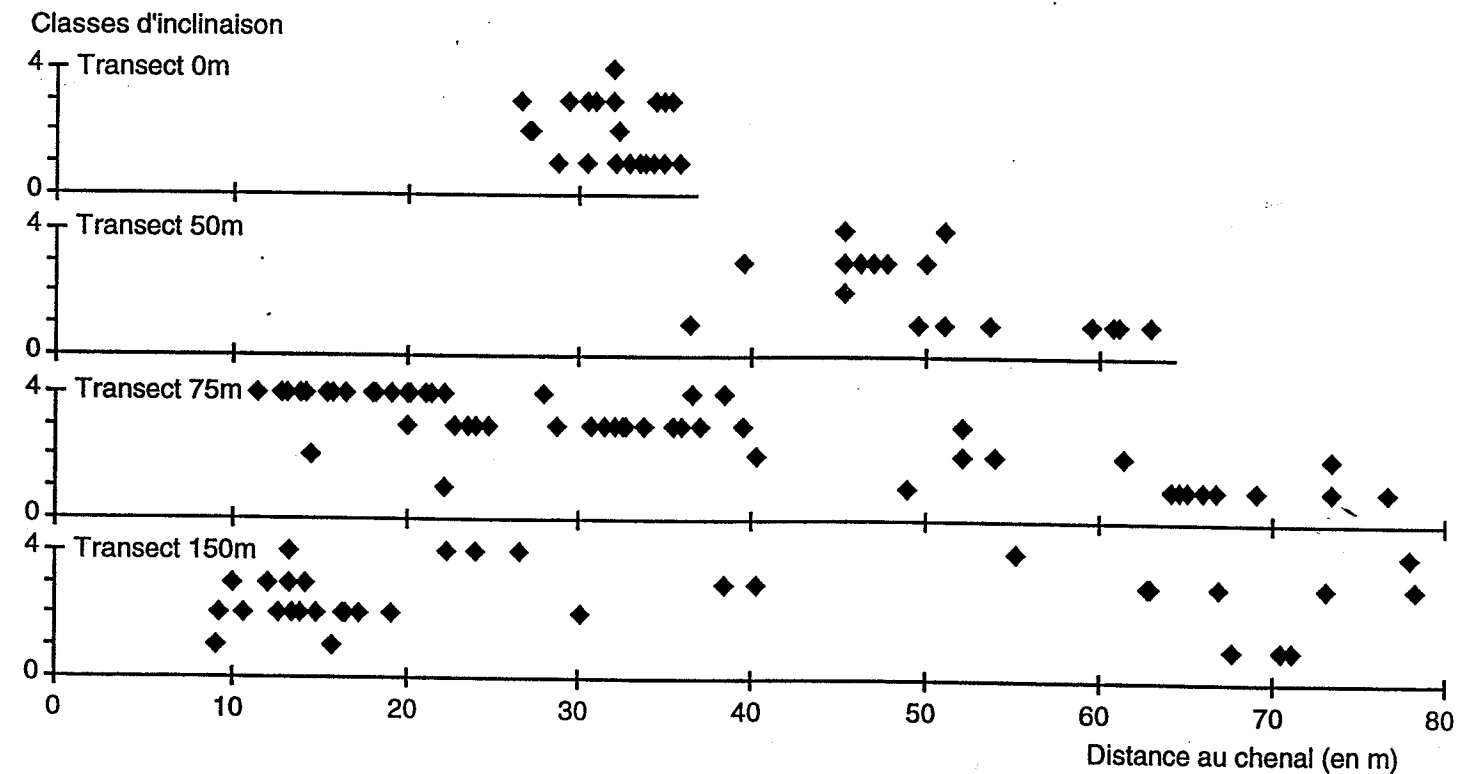


Figure 103 - Variabilité de l'inclinaison des arbres et arbustes selon les transects et la distance au chenal dans la ripisylve de l'Ardèche située en rive gauche à la hauteur de Lanas.

Les arbres et arbustes observés se répartissent de manière homogène entre toutes les classes d'inclinaison et plus de 50% d'entre eux (classes 3 et 4) ont été véritablement endommagés par la crue.

La micromorphologie du milieu est le résultat de la dernière crue et est caractérisée par une succession de zones fossilisées par des apports sédimentaires très importants et de zones d'érosion aréolaire. Ainsi, 27% des arbres sont localisés sur des dépôts de galets et 14% ont des racines mises à nu par l'érosion.

L'unité étudiée a tendance à s'élargir vers l'aval (tab. 32) et la densité des arbres augmente du transect 2 (2300 ligneux.ha<sup>-1</sup>) au transect 4 (4967 ligneux.ha<sup>-1</sup>) alors que le diamètre moyen en revanche décroît. La

distribution du nombre d'arbres inclinés enfin n'a pas réellement de logique amont-aval dans la mesure où c'est le transect 3 qui présente le plus grand nombre d'individus inclinés.

La distribution latérale des individus et de la valeur de leur inclinaison diffèrent d'un transect à l'autre (fig. 103). Des espaces non boisés sont repérables à proximité du chenal principal sur les trois premiers transects ou à l'intérieur de l'unité comme sur les transects 3 et 4. A l'exception du transect 3, un gradient latéral de l'inclinaison n'est pas immédiatement perceptible. Sur le transect 4, des individus couchés sont ainsi observés à plus de 50 m du chenal de l'Ardèche.

Tableau 32 - Caractéristiques générales des transects.

|                               | Transect 1 | Transect 2 | Transect 3 | Transect 4 |
|-------------------------------|------------|------------|------------|------------|
| Position longitudinale (en m) | 0,0        | 50,0       | 75,0       | 150,0      |
| Longueur (en m)               | 36,0       | 63,0       | 76,0       | 78,0       |
| Nombre d'arbres et arbustes   | 53,0       | 58,0       | 91,0       | 155,0      |
| Diamètre moyen (en cm)        | 11,7       | 7,8        | 8,3        | 3,4        |
| % d'individus inclinés (>41°) | 58,0       | 52,0       | 72,0       | 35,0       |

#### 4.2.2 Explication de la variabilité de l'inclinaison

Plusieurs analyses successives ont été effectuées. La première est centrée sur l'ensemble de la population alors que les autres se focalisent sur des groupes plus spécifiques, tels que les arbres de chaque transect ou de chaque milieu sédimentaire.

La variabilité de l'inclinaison des arbres présents et liées à la crue du 22 septembre sur les quatre transects est bien expliquée par les variables retenues (tab. 33). La régression multiple reposant sur les quatre variables de base décrivant la position géographique (X1 et X2) et la structure interne de l'unité (X3 et X4) présente un coefficient de corrélation tout à fait représentatif. Le résultat est significatif avec une valeur p de probabilité de F de 0,0001. La part de la variance prédite est ainsi plus grande que la variance résiduelle. Cette analyse montre que l'inclinaison repose avant tout sur la localisation géographique et non sur le diamètre de l'arbre. Ainsi, celui-ci est d'autant plus couché qu'il est proche de l'axe de l'Ardèche et à l'aval du banc de galets ce qui paraît paradoxal. L'explication peut être dynamique : les arbres situés à l'amont ont en effet disparu et ne participent donc pas à l'analyse.

Si l'on intègre des indicateurs dynamiques que sont l'état des racines et le type de substrat, la relation statistique est plus forte encore et repose sur quatre des six facteurs :

- le diamètre,
- la distance latérale,
- les deux indicateurs dynamiques.

En revanche la distance longitudinale et l'espèce ne participent pas à la régression.

Les relations bivariées, qu'elles soient linéaires ou polynomiales, permettent de mieux cerner l'importance relative de chacun des paramètres explicatifs (tab. 34). Le diamètre (X) n'explique que partiellement l'inclinaison (Y) avec un coefficient de corrélation modeste mais une probabilité p significative. La distance au chenal (X) et la valeur de l'inclinaison (Y) présentent en revanche une assez forte relation polynomiale du premier degré. Le fait que l'inclinaison soit maximale à 30m du chenal s'explique par deux raisons : les arbres des transects 1 et 2 n'existent qu'au-delà de 30m et le corridor végétal est préservé à proximité du chenal principal sur les transects aval alors que la destruction est maximale au coeur de l'unité. Enfin, l'inclinaison est d'autant plus forte que le milieu est fossilisé par les galets (fig. 104A) ou a été soumis à une érosion aréolaire (fig. 104B).

Tableau 33 - Résultats de la régression multiple.

|                         | Régression 1 :   |        | Régression 2 :  |        |
|-------------------------|--|--------|---|--------|
|                         | expliquer Y par la localisation et les structures internes |        | expliquer Y par la localisation, les structures internes et les indicateurs de la dynamique |        |
| n                       | 357  | 357    | 357   | 357    |
| R                       | 0,354  | 0,3410 | 0,6840  | 0,6750 |
| probabilité p du test F | 0,0001   | 0,0804 | 0,0001  | 0,0001 |
| p partiel, X1           | 0,0804   | -      | 0,0001  | 0,0001 |
| p partiel, X2           | 0,0001   | 0,0001 | 0,0035  | 0,0004 |
| p partiel, X3           | 0,2534   | -      | 0,0059  | -      |
| p partiel, X4           | 0,0014   | 0,0010 | 0,8698  | -      |
| p partiel, X5           | -  | -      | 0,0001  | 0,0001 |
| p partiel, X6           | -  | -      | 0,0001  | 0,0001 |

Tableau 34 - Relations bivariées entre Y (les classes d'inclinaison) et les variables explicatives "diamètre" et "distance au chenal".

| Y = Classes d'inclinaison                      | n   | R     | p      |
|--|-----|-------|--------|
| X : Diamètre (régression linéaire)             | 357 | 0,147 | 0,0055 |
| X : Diamètre (régression polynomiale)          | 357 | 0,213 | 0,0003 |
| X : Distance latérale (régression linéaire)    | 357 | 0,298 | 0,0001 |
| X : Distance latérale (régression polynomiale) | 357 | 0,371 | 0,0001 |

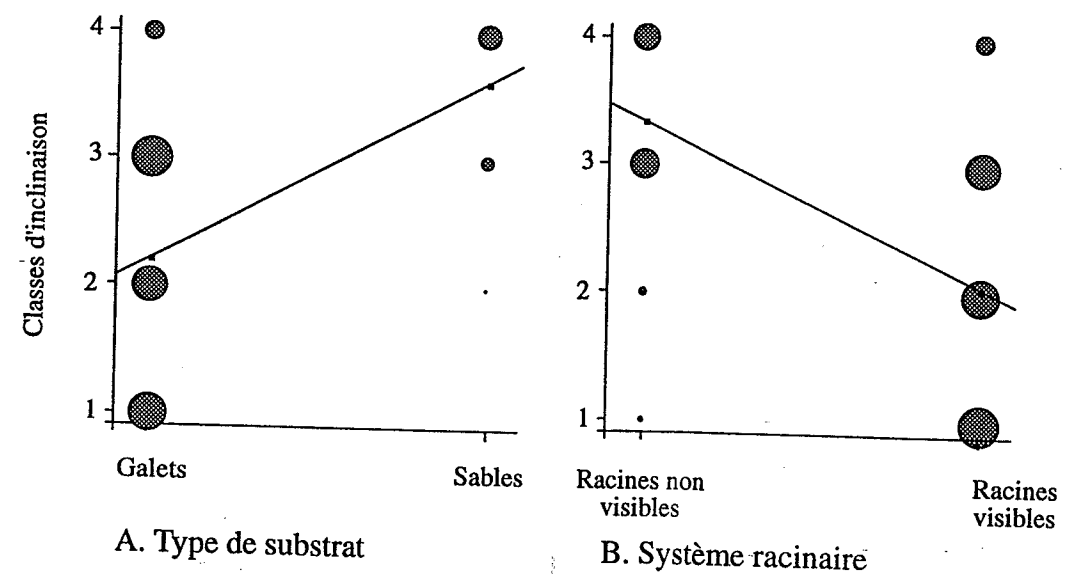


Figure 104 - Table de contingence associant les classes d'inclinaison et la nature du substrat (A) ou l'état du système racinaire (B).

### 4.2.3 Les complexes de processus-relais

L'analyse globale a été affinée par l'étude de deux groupes spécifiques : les transects et les milieux sédimentaires.

L'analyse transect par transect permet de constater une succession amont - aval des paramètres explicatifs de l'inclinaison (tab. 35).

Alors que sur le transect amont, le diamètre est la principale variable explicative (fig. 105 A), la distance latérale et l'état des racines lui succèdent respectivement sur les transects médians (fig. 105 B) et sur le transect aval.

Sur le transect amont, les boisements ont été détruits sur une largeur de 30 mètres. Au-delà, l'unité est caractérisée par des arbres plus imposants, le diamètre moyen étant beaucoup plus élevé que sur les autres transects et distribués sur toute la largeur. Seuls les plus petits, constituant le sous-bois, ont ainsi été couchés. C'est donc la valeur du diamètre c'est-à-dire la capacité de résistance de l'arbre qui explique la valeur de son inclinaison dans la zone la plus en retrait du transect. Sur les transects 2 et 3, les arbres sont préservés sur une largeur plus grande et le nombre d'arbres inclinés décroît latéralement à partir de l'axe de la rivière. Cette fois, l'influence de l'Ardèche et la dissipation latérale de l'énergie hydraulique sont beaucoup mieux perceptibles dans la mesure où les individus analysés sont encore présents sur la totalité du transect. Enfin sur le transect aval, l'inclinaison est en relation avec le déchaussement des racines qui décrit l'intensité de l'érosion aréolaire liée à la crue. Si ce site de moindre énergie dispose d'arbres dont le diamètre moyen est beaucoup plus faible, les arbres inclinés sont plutôt situés au centre du transect. Ainsi, il est possible d'affirmer que l'axe principal d'énergie n'est plus à proximité du chenal de l'Ardèche mais au coeur de l'unité et l'inclinaison évolue conjointement au descripteur de l'activité morphogène que constitue le déchaussement. Ceci permet en outre de comprendre, dans les secteurs de faible à moyenne énergie, l'action préliminaire des agents morphogènes dans la prise en charge des ligneux.

L'approche longitudinale a été confortée par une étude spécifique des milieux sédimentaires (tab. 36). Le sédiment récent (galet ou sable) est en effet un descripteur très intéressant de l'intensité de la crue, de la vitesse potentielle de la lame d'eau. La question est de savoir quel est l'élément principal d'explication de la valeur de l'inclinaison dans un milieu de faible ou de forte énergie.

Dans les milieux de forte énergie, l'inclinaison dépend d'abord de la distance au chenal. Ceci confirme l'analyse longitudinale et les observations effectuées sur deux des trois premiers transects. Dans les milieux de forte énergie du secteur de Lanas, l'équation suivante permet de déterminer la classe d'inclinaison en fonction de la distance au chenal :

$$Y = 4,264 - 0,032 X_2$$

Dans les milieux de faible énergie (transects 1 et 4 par exemple), le diamètre et l'état des racines constituent les paramètres explicatifs. Dans ces secteurs, la crue rajeunie le milieu mais ne remet pas en cause la structure même de l'unité. ce qui explique que seuls les plus petits et ceux situés sur des axes de plus forte énergie sont en fait atteints.

### 4.3 Interprétation

Sur les marges ripicoles, la rivière dispose d'une énergie à dépenser lors des crues. Trois ensembles de mécanismes le permettent :

- la prise en charge de sédiments.
- le transport de sédiments.
- les frottements au niveau des structures ligneuses.

Tableau 35 - Régression multiple entre l'inclinaison et cinq variables explicatives, approche transect par transect.

| Inclinaison selon les transects | n   | R     | proba- bilité p du test F | p partiel, X1 | p partiel, X2 | p partiel, X3 | p partiel, X5 | p partiel, X6 |
|---------------------------------|-----|-------|---------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| transect 0 m                    | 52  | 0,724 | 0,0001                    | 0,0001        | 0,2133        | 0,0061        | 0,7539        | -             |
|                                 | 52  | 0,626 | 0,0001                    | 0,0001        | -             | -             | -             | -             |
| transect 50 m                   | 59  | 0,907 | 0,0001                    | 0,9960        | 0,0028        | 0,1007        | 0,0685        | 0,0146        |
|                                 | 59  | 0,813 | 0,0001                    | -             | 0,0001        | -             | -             | -             |
| transect 75 m                   | 91  | 0,894 | 0,0001                    | 0,0149        | 0,0003        | 0,5519        | 0,0261        | 0,1079        |
|                                 | 91  | 0,880 | 0,0001                    | -             | 0,0001        | -             | -             | -             |
| transect 150 m                  | 155 | 0,538 | 0,0001                    | 0,5734        | 0,3962        | 0,0021        | 0,0001        | -             |
|                                 | 155 | 0,489 | 0,0001                    | -             | -             | -             | 0,0001        | -             |

Tableau 36 - Régression multiple entre l'inclinaison et cinq variables explicatives, approche par milieux sédimentaires.

| Inclinaison selon le milieu sédimentaire | n   | R     | proba- bilité p du test F | p partiel, X1 | p partiel, X2 | p partiel, X3 | p partiel, X4 | p partiel, X5 |
|--|-----|-------|---------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Galets récents                           | 98  | 0,666 | 0,0001                    | 0,2078        | 0,0002        | 0,5863        | 0,5079        | 0,0070        |
|  | 98  | 0,594 | 0,0001                    | -             | 0,0001        | -             | -             | -             |
| Sables                                   | 259 | 0,540 | 0,0001                    | 0,0001        | 0,1766        | 0,0019        | 0,6600        | 0,0001        |
|  | 259 | 0,314 | 0,0001                    | 0,0001        | -             | -             | -             | -             |

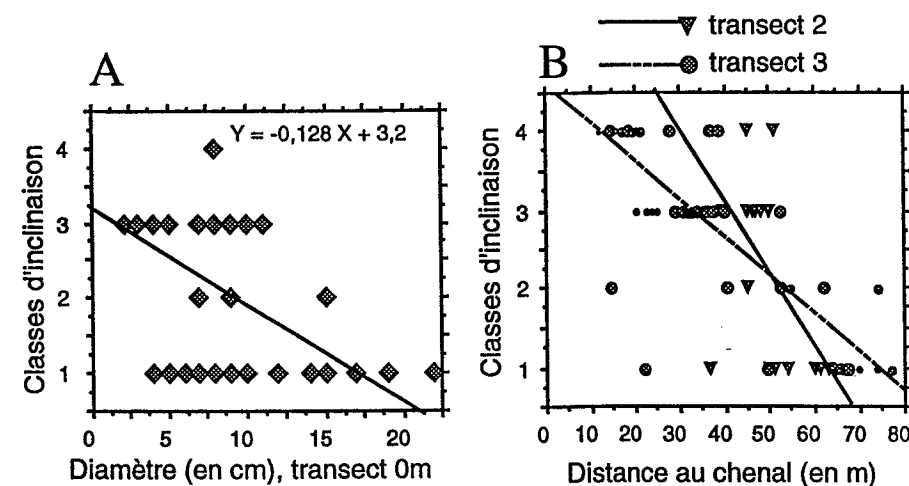


Figure 105 - Relations linéaires entre l'inclinaison (Y) et le diamètre (X) (transect 1)(A) et entre l'inclinaison (Y) et la distance au chenal (X) (transects 2 et 3) (B).

Ces mécanismes se relaient de l'amont vers l'aval ou fonctionnent conjointement. Le site de Lanas est caractérisé par d'importants phénomènes de rugosité. Certains indicateurs montrent que la destruction inégale des ligneux correspond à un gradient latéral et longitudinal qui peut être interprété comme un gradient de l'énergie cinétique.

Lorsque les flux sont les plus actifs, deux phénomènes se manifestent : une érosion aréolaire intense et l'exportation d'arbres de toutes tailles à la suite de la cassure de leur tronc (dépassement du seuil de flexibilité) ou de leur déchaussement. Lorsque les flux sont d'importance moyenne, l'exportation d'arbres se ralentit et les sédiments les plus grossiers se déposent. De nombreux arbres couchés témoignent de cette activité. Les plus petits qui présente inertie la plus faible et les plus gros dont l'enracinement est étendu et le diamètre important ce qui les protège de la cassure, résistent le mieux. Lorsque l'énergie est plus faible encore, ces mécanismes sont inefficaces et un regain relatif et temporaire de l'érosion aréolaire est observé aux dépens des sédiments fins. Ces mécanismes sont propices à de nouveaux déchaussements parfois spectaculaires qui sont autant de points préférentiels d'érosion. Au-delà, la plupart des arbres restent en place, les plus petits, les plus flexibles fléchissent et les sédiments fins se déposent massivement.

Il existe ainsi une succession amont - aval des processus et un équilibre énergétique permanent entre les flux d'eau et de sédiments et les structures de rugosité (fig. 106).

Par conséquent, il est possible de conclure que sur l'unité étudiée, l'inclinaison est d'autant plus forte :

- que l'arbre est proche de l'axe de l'Ardèche et d'un diamètre faible,
- que le milieu est énergétique (racines déchaussées, présence de galets).

Néanmoins, l'importance relative de chacun des paramètres est difficile à cerner car la zone de plus forte énergie n'est pas obligatoirement localisée sur les marges immédiates du chenal et les arbres, qui sont nos individus statistiques, n'ont pas été conservés également sur l'ensemble du site. Ces observations quantifiées et objectives confirment cependant l'analyse esquissée à Violès et expliquée par quelques modèles interprétatifs.

La réaction des marges boisées aux phénomènes hydrauliques dépend donc d'un équilibre complexe entre :

- l'énergie de la crue,
- les structures internes et notamment le diamètre,
- la position géographique qui fait que tel ou tel arbre se situe dans l'axe ou sur les marges des courants morphogènes.

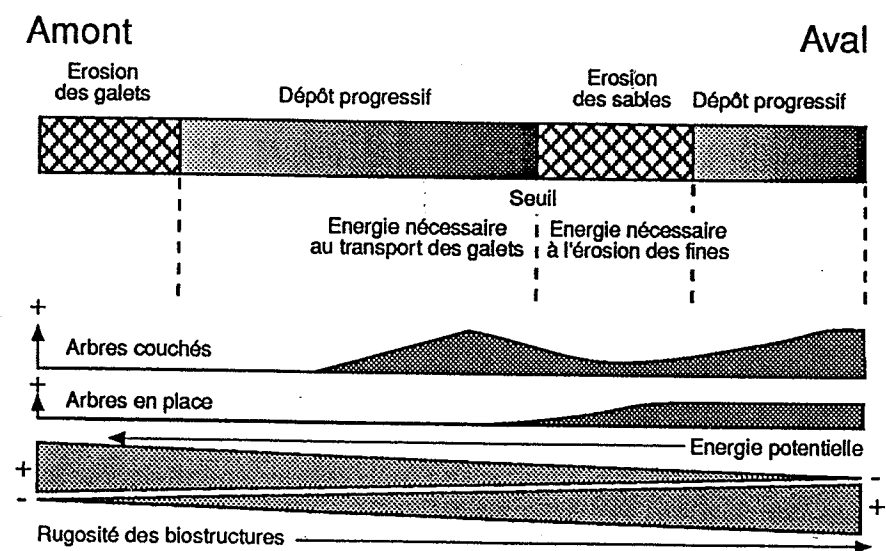


Figure 106 - Interprétation de la succession amont - aval des mécanismes de dissipation de l'énergie sur une marge boisée de la moyenne Ardèche (Lanas).

Néanmoins, les observations de terrain permettent d'affirmer que d'autres facteurs devraient être intégrés dans l'analyse. Il s'agit de variables biostructurales telles que :

- la densité et la flexibilité des arbres d'une formation,
- la forme des arbres. Certains ont subi plusieurs crues, se développent ensuite couchés et présentent une capacité de résistance plus élevée en raison d'une meilleure assise et d'une plus faible inertie.

Il s'agit également de variables géomorphologiques telles que l'épaisseur du substrat limono-sableux avant la crue et dans lequel s'étendent les racines. Plus il est épais, plus l'érosion aréolaire, qui est sans doute un mécanisme associé, devra s'exercer sur une durée longue.

## Conclusion

Les mécanismes observés sur les sites de Violès et de Lanas ont montré que la ripisylve réduit les capacités morphogènes des crues en filtrant et en freinant les flux de débordement. Par ailleurs, l'analyse de l'inclinaison des arbres a permis de mieux comprendre le phénomène et surtout de confirmer objectivement son efficacité.

La diversité des processus de régénération est maximale dans les secteurs hautement énergiques où la connexion lit majeur- bande active est la plus nette. La ripisylve canalise les flux de débordement dans des axes préférentiels d'écoulement. Cette dynamique induit des complexes de processus relais de dissipation de l'énergie qui diffèrent en fonction du taux d'énergie disponible.

Compte tenu de ces observations, la conservation ou la création d'un corridor boisé peut être préconisée. Sur l'Ouvèze, lorsque la bande boisée est d'une largeur insuffisante, celle-ci est totalement détruite et les flux liquides, solides et ligneux modifient largement les zones agricoles localisées en arrière. En revanche, la forêt favorise une inondation relativement passive caractérisée par l'extension latérale d'une nappe d'eau filtrée, plus lente et moins morphogène. Les zones agricoles situées en arrière de ce corridor sont protégées et le champ d'épandage des eaux permet l'étalement dans le temps du pic de crue et réduit les destructions aval.

Dès lors, les aménagements localisés dans les hydrosystèmes forestiers inondables doivent prendre en compte ce risque et la définition d'une largeur boisée minimale variant selon le type et la taille de la rivière, doit être scientifiquement et juridiquement proposée.

La ripisylve canalise des flux rapides et morphogènes en lit mineur, favorise l'étalement latéral d'une nappe d'eau filtrée plus lente et réduit les destructions de la crue à l'extérieur du lit mineur. L'intérêt économique et écologique d'un corridor forestier a d'ailleurs déjà été démontré et des largeurs minimales (de 5 à 50 m) ont été proposées (Pinay et Décamps, 1988; Osborne et Kovacic, 1991).

Après avoir analysé la dynamique des structures biologiques au niveau du contact bande active - forêt alluviale, les mécanismes hydraulique, sédimentologique et morphologique seront étudiés à l'intérieur même du compartiment ripicole.



### **III. Les processus hydromorphologiques en lits majeurs boisés**

L'analyse de l'influence des différentes unités de la mosaïque végétale sur les processus hydraulique, pédologique et morphosédimentaire fera l'objet de ce troisième point.

La démarche abordera successivement :

- la variabilité latérale des processus énoncés ci-dessus, de la bande active aux zones boisées les plus marginales,
- la variabilité longitudinale de ces mêmes processus au sein des marges ripicoles.

La première analyse portera sur l'ensemble des rivières d'étude et 14 sites très différents. L'objectif sera de mettre en évidence des mécanismes communs et de comprendre la dynamique intraforestière des flux hydriques et minéraux. La seconde sera centrée sur un secteur fonctionnel, le pédoncule de méandre de Mollon sur l'Ain et l'objectif sera de comprendre les mécanismes physiques dans le cadre d'un espace bidimensionnel, latéral et longitudinal.

Deux méthodes de collecte seront adoptées. Des transects seront utilisés lors de la première analyse alors que la seconde reposera sur une démarche spatiale et des unités phyto-morphologiques cartographiées dans leur extension spatiale. Néanmoins, toutes deux s'appuient sur un échantillonnage ponctuel et sur la notion d'unité fonctionnelle à la base de notre découpage initial.

#### **1. La dynamique des flux d'eau et de sédiments sur les marges boisées des cinq rivières d'étude**

Après avoir exposé la méthode et décrit les transects sur lesquels seront présentés les résultats bruts, une démarche statistique nous permettra de mettre en évidence la variabilité intraforestière de la lame d'eau de crue et des apports sédimentaires et de proposer une typologie d'entités hydrodynamiques.

##### **1.1 Méthodologie de la collecte et paramètres retenus**

Les données collectées sont très diverses d'un site à l'autre. La sélection dépend en effet de facteurs conjoncturels tels que l'action récente d'une crue ou des collaborations scientifiques qui ont conduit à plus ou moins investir tel ou tel site.

###### **1.1.1 Méthodologie de la collecte**

Après une brève description des méthodes de collecte utilisées par les auteurs, notre propre méthode sera exposée.

###### **- Les types de collecte**

Selon W.S. Platts *et al.* (1983 et 1987), le succès ou l'échec de la recherche environnementale dépend de la compréhension, de la précision, du caractère approprié et de la validité des mesures utilisées pour obtenir des données sur lesquelles reposeront l'interprétation finale. Aujourd'hui, les méthodes d'évaluation des marges

riveraines sont loin d'être parfaites et ont besoin d'être constamment affinées; des techniques plus efficaces doivent en outre être développées.

Le propre de l'échantillonnage est d'obtenir d'une population partielle une information concernant la population entière. C'est pourquoi le choix d'un échantillon repose sur sa représentativité. Est-il capable de prendre en compte une information correcte concernant l'ensemble d'une population?

Quatre procédures sont communément employées :

- L'échantillonnage simple au hasard : chaque élément d'une population doit être identifiable comme individu. L'échantillonnage doit être conduit de manière à ce que chaque individu ait la même probabilité d'être dans l'échantillon, la plus grande réussite de cette procédure concernant des aires géographiques relativement petites ou au degré d'homogénéité affirmé.
- L'échantillonnage stratifié au hasard est plus approprié lorsque la population se subdivise naturellement ou se stratifie. La stratification verticale de la végétation (arbres-arbustes-herbacées) est par exemple une division préliminaire facilement observable et donc exploitable.
- L'échantillonnage en grappes se réfère à des individus qui n'ont pas été identifiés à l'avance. Ainsi, seuls des groupes d'éléments ou "clusters" ont été identifiés. L'avantage majeur de cette méthode est bien sûr le coût relatif à l'élément identifié. Néanmoins, les éléments échantillonnés peuvent avoir une grande variabilité ce qui conduit à un traitement informatique lourd au moment de l'analyse des résultats.
- L'échantillonnage en grappes à deux niveaux est préconisé lorsque les groupes définis sont constitués de trop nombreux éléments et qu'il devient impossible de tous les mesurer. Il est alors naturel de penser à un échantillonnage au sein de chaque "cluster". Cette situation est alors interprétée comme un échantillonnage à deux niveaux.

###### **- Approche pratique : la méthode retenue**

L'échantillonnage en grappe à deux niveaux a été retenu car cette méthode est peu coûteuse et extrêmement efficace. Des unités homogènes, c'est-à-dire des groupes d'éléments, ont été d'abord définies selon des critères visuels d'ordre botanique. Ce premier niveau a autorisé ensuite un second échantillonnage des individus statistiques présents au sein de chaque entité.

L'aire ripariale supporte une mosaïque complexe de communautés végétales associées à des variations pédologiques, morphologiques et hydrologiques. Une telle classification, définie par des unités taxonomiques, est ainsi une bonne base de gestion destinée à segmenter et à décrire la diversité. Aussi, l'unité fondamentale de la classification est la communauté-type définie plus par le présent que par un potentiel (climax) végétal. Cette unité est plus qu'une unité floristique courante car elle est corrélée avec des caractères pédologiques et d'environnement. Les données floristiques sont utilisées pour définir et nommer ces unités.

La démarche sur le terrain peut être exprimée en trois temps :

- 1 - définir dans l'aire d'étude une série de zones d'échantillonnage ("clusters") représentatives d'une communauté,
- 2 - localiser un point d'échantillonnage au sein de chaque communauté sélectionnée,
- 3 - relever les informations concernant le groupement végétal et les indicateurs environnementaux au niveau de chaque point.

La sélection de communautés végétales distinctes exige une approche "subjective sans biais préconçus" et est donc basée sur le jugement des investigateurs.

L'analyse comparée de plusieurs rivières et de plusieurs sites sur une même rivière a conduit à proposer une analyse par transects. Une analyse spatiale plus complète ne sera envisagée que sur le site de Mollon.

### - La démarche linéaire

Il s'agit de déterminer une ligne d'interception généralement perpendiculaire à l'axe d'écoulement et utilisée comme une localisation-référence pour des mesures effectuées parfois à différents moments. Cette méthode d'échantillonnage repose le plus souvent sur un groupe de transects élaboré essentiellement de trois façons :

- L'approche à transects multiples détermine un nombre de transects requis pour une taille donnée d'échantillonnage. La position des transects est sélectionnée ensuite au hasard de telle sorte que tous les points évalués sur le cours d'eau aient la même chance d'être sélectionnés.

- La seconde approche, à stations multiples, vise à sélectionner au hasard des stations puis un nombre défini de transects autour de chacune d'elles. Cinq groupes de transects sont utilisés généralement pour former une station.

- La troisième approche, souvent la plus pertinente, stratifie au hasard stations et transects.

Le choix a été pris de travailler par transects car il permet :

- une plus grande rapidité d'intervention dans la mesure où la démarche est linéaire et non plus spatiale,

- d'intégrer plus aisément certains paramètres explicatifs comme l'altitude.

En revanche, cette méthode présente l'inconvenient de ne pas intégrer la dimension longitudinale. Or, sur le site de Mollon, l'importante variabilité des phénomènes de l'amont vers l'aval sera démontrée au sein même de la forêt alluviale. Une analyse spatiale permet donc de rendre compte des connectivités internes, du réseau et de ses ramifications qui sont à l'origine de la variabilité de la dynamique. Dans ce cadre là, le fonctionnement physique de la mosaïque est réellement mis en évidence et les notions de "patch" et d'écotone prennent tout leur sens.

La démarche par transect relève néanmoins de la même stratégie d'échantillonnage que l'approche spatiale. Trois temps sont ainsi nécessaires :

1 - Levé d'un transect topographique très détaillé intégrant toutes les microformes de relief.

2 - Identification des unités fonctionnelles. Leur sélection exige une approche "subjective sans biais préconçus". Il s'agit du premier niveau d'échantillonnage défini auparavant.

3 - Sélection des unités d'échantillonnage et collecte de l'information. Chaque unité fonctionnelle est considérée comme une unité potentielle d'échantillonnage.

Ainsi, deux ensembles de variables ont été simultanément collectés. Le premier concerne des variables continues, présentes sur l'ensemble du transect alors que le second dispose de variables ponctuelles, qui se rattachent à des unités fonctionnelles clairement identifiées.

### 1.1.2 Les variables collectées sur les transects

Les transects ont été levés dans le lit majeur des rivières, perpendiculairement à l'axe d'écoulement et prennent en compte la bande active et ses marges ripicoles.

Les critères retenus sont d'ordre topographique, sédimentologique, hydraulique et phyto-sociologique (tab. 37).

#### - Les critères topographiques

La topographie a été levée minutieusement à l'aide d'un niveau de précision.

Cette variable a permis :

- de présenter l'ensemble des indicateurs sur un linéaire clairement identifié, l'objet de cette étude étant avant tout l'espace,

- d'attribuer une valeur altitudinale à chaque unité fonctionnelle, à chaque point d'échantillonnage, celle-ci sera d'un grand intérêt lors de l'étude statistique.

Tableau 37 - Critères retenus sur les différents sites d'étude.

| Rivières d'étude           | Ain |    | Ardèche |    |    |    | Giffre |    |    | Ouvèze |    | Ubaye |    |     |
|----------------------------|-----|----|---------|----|----|----|--------|----|----|--------|----|-------|----|-----|
|                            | Bl. | Mo | Ja      | SD | Vo | Ch | Mi     | Ve | Th | SM     | Vi | En    | Mé | Cha |
| Topographie                | +   | +  | +       | +  | +  | +  | +      | +  | +  | +      | +  | +     | +  | +   |
| Unités de végétation       | +   | +  | +       | +  | +  | +  | +      | +  | +  | +      | +  | +     | +  | +   |
| Age des unités             | +   | +  |         |    |    |    |        |    |    |        |    |       |    |     |
| Ligne d'eau de crue        |     | +  | +       | +  | +  | +  |        |    |    |        | +  | +     |    |     |
| Variables hydrauliques     |     |    |         |    |    |    |        |    |    |        | +  | +     |    |     |
| Micromorphologie           | +   | +  | +       | +  | +  | +  | +      | +  | +  | +      | +  | +     | +  | +   |
| Surf. terrière des ligneux |     |    | +       |    | +  | +  | +      | +  | +  | +      | +  | +     | +  | +   |
| Phytosociologie            |     |    | +       |    | +  | +  | +      | +  | +  |        |    | +     | +  | +   |
| Sédimentologie de surf.    | +   | +  |         |    |    |    | +      | +  | +  | +      | +  | +     | +  | +   |
| Sédimentologie diachro     |     |    |         |    |    |    | +      |    |    |        | +  | +     |    | +   |
| Ep. des séd. de la plaine  | +   | +  |         |    |    |    | +      | +  | +  | +      | +  | +     | +  | +   |
| Ep. des séd. de la crue    | +   | +  |         |    |    |    |        |    |    |        | +  |       |    |     |
| C/N                        | +   | +  |         |    |    |    |        |    |    |        |    |       |    |     |
| Masse des débris ligneux   |     |    |         |    |    |    | +      | +  | +  | +      | +  | +     | +  | +   |
| Types de débris ligneux    | +   | +  |         |    |    |    |        |    |    |        |    |       |    |     |

\*Bl. : Blyes, Mo : Mollon, Ja : Jastre, SD : Saint-Didier, Vo : Vogüé, Ch : Chauzon, Mi : les Millières, Ve : Verchaix, Th : les Thézières, SM : Saint-Michel, Vi : Violès, En : Enchastrayes, Mé : Méolans, Cha : Champanastais.  
+ : mesure effectuée.

#### - Les critères phytogéographiques

Les variables phytogéographiques retenues sont au nombre de cinq. Leur sélection a répondu à deux impératifs. L'objectif était de définir préalablement des unités végétales homogènes afin d'analyser ensuite la dynamique structurale de la végétation.

En effet, l'étude de la relation entre les écoulements et la forêt et surtout de sa variabilité au sein de la zone riveraine exige de définir des unités homogènes reposant sur des caractères physiologiques ou phytosociologiques. D'autre part, les caractères structuraux de la végétation sont déterminants dans notre démarche dans la mesure où ils conditionnent la réaction de la ripisylve aux écoulements.

Par conséquent, les différentes unités végétales ont été recensées. La distinction repose sur une typologie de groupements élémentaires identifiés d'après les strates (herbacées, arbustives, arborées), des caractères environnementaux (unités non végétalisées, unités à herbacées hygrophiles) et, lorsqu'il s'agit d'unités à ligneux dominants, d'après la ou les espèce(s) dominante(s) (saussaie basse ou arbustive, forêt à bois tendre, pinède, pessière, ...). L'extension latérale de chacune de ces entités était en outre clairement notée.

Sur la plupart des sites étudiés, une identification plus précise des différentes espèces arborées et arbustives a également été effectuée. Leur fréquence relative a ainsi été présentée notamment sur le Giffre, l'Ardèche et l'Ubaye. Le recensement a été conduit sur des parcelles définies dont la superficie est calculée comme suit :  $I * L$

I étant sur tous les sites une distance constante de 6m, 3 m de part et d'autre du transect alors que L représente la largeur d'une unité donnée sur le transect. Ainsi, la parcelle d'échantillonnage peut varier de quelques dizaines de m<sup>2</sup> à plusieurs centaines de m<sup>2</sup> en fonction de l'extension latérale de l'unité.

Tous les arbres présents sur cette bande de 6 m de large ont été localisés latéralement et leur diamètre a été mesuré. Sur chacune des unités traversées, outre l'identification des espèces, un calcul de la surface terrière, c'est-à-dire de la surface occupée par les troncs, a également été effectué à partir des diamètres des individus et ces valeurs ont été rapportées à l'hectare. Ce travail laborieux n'a été effectué que sur quelques rivières telles que le Giffre, l'Ouvèze et l'Ubaye mais la variable collectée est d'importance puisqu'il s'agit d'un indicateur quantitatif potentiel de l'effet de structure ou de rugosité des unités végétales.

Sur le site de Violès (Ouvèze), une distinction a également été faite entre les arbres en place et les arbres couchés par la crue de septembre 1992.

Les débris ligneux grossiers constituent le dernier indicateur biologique. Ce paramètre sera plus particulièrement étudié à l'échelle de secteurs fonctionnels bien définis tels que Mollon sur l'Ain ou Chauzon sur l'Ardèche. Néanmoins, il semblait utile de le retenir lors de l'analyse des différentes rivières. La variabilité spatiale de la nature et de la masse des débris a été observée. Des types de débris ont ainsi été recensés sur l'Ain. Cinq classes ont pour cela été déterminées (tab. 38) et un descripteur qualitatif ordinal de l'hydrodynamique a ainsi pu être collecté. La première modalité de cet indicateur est attribuée aux unités sur lesquelles le bois mort est absent. Les quatre autres modalités sont caractérisées par des volumes de bois mort d'origine allochtone croissants et qui forment des embâcles aux structures de plus en plus imposantes. La masse des débris a également été comptabilisée sur les transects de l'Ouvèze, du Giffre et de l'Ubaye qui sont des rivières à tressage actif. Dans ces systèmes, le bois présent dans la bande active, est très visible et peut laisser penser a priori que les masses accumulées sont importantes. Une quantification objective paraissait ainsi intéressante. Tous les débris ligneux déposés le long du transect et sur une largeur de 20m ont donc été recensés. Ces éléments sont le plus souvent des troncs isolés et parfois des embâcles. L'estimation de leur masse repose sur la méthode développée dans le pédoncule de méandre de Mollon. Les masses sont comptabilisées sur des surfaces de 200 m<sup>2</sup> (10m X 20m) sur le Giffre et l'Ubaye et par unité fonctionnelle sur l'Ouvèze. Toutes les valeurs ont été rapportées à l'hectare afin d'être comparables.

Tableau 38 - Types de débris observés sur les sites de l'Ain.

| Types de débris ligneux observés      | Valeur attribuée |
|---------------------------------------|------------------|
| Embâcles majeurs (troncs)             | 5                |
| Embâcles de branches et de brindilles | 4                |
| Embâcles de brindilles                | 3                |
| Bois mort d'origine endogène          | 2                |
| Absence de bois mort                  | 1                |

#### - Les critères sédimentologiques

L'analyse sédimentologique conduite sur les cinq rivières est d'abord granulométrique. La démarche est à la fois synchronique et diachronique et concerne toutes les tailles de sédiment, des argiles aux galets.

Les prélèvements ont été localisés au sein de la plupart des unités phyto-géomorphologiques. La médiane ou d<sub>50</sub> et le percentile le plus grossier ou d<sub>99</sub> ont été calculés et permettent de construire une image C-M des sédiments (Passega et Byramjee, 1969; Peiry, 1988).

L'échantillonnage a été effectué sur les sédiments de surface, en deçà de l'horizon pédologique A<sub>0</sub> lorsque la pédogenèse est active. Sur quelques sites, des prélèvements ont été effectués en profondeur, tous les 10-15cm dans les limons de débordement afin de décrire l'histoire de la sédimentation en lit majeur. Le prélèvement a été effectué dans une strate homogène afin de ne retenir qu'un épisode hydrosédimentaire.

Sur l'Ain, compte tenu de l'axe de recherche qui était mené en coopération avec R. Marston et J. Newton, le choix a été pris de prélever la totalité des sédiments qu'ils soient fins ou grossiers, stratifiés ou non, récents ou anciens... entre 0 et 20cm et entre 40 et 60cm de la surface. L'objectif principal était de connaître la granulométrie et non de déterminer une dynamique à partir de cet échantillonnage. Sur ces deux sites, seule la valeur centrale, la médiane, a ainsi été retenue. Elle permet de mieux connaître, avec néanmoins une certaine marge d'erreur, la dynamique sédimentaire à l'intérieur du lit majeur de l'Ain. Les résultats acquis ne pourront cependant pas être comparés avec ceux des autres sites.

L'analyse granulométrique des sédiments fins repose sur un tamisage traditionnel lorsque la taille maximale des particules est supérieure à 800 microns. En deçà de cette valeur, l'analyse a été effectuée au compteur Coulter. La collecte des sédiments grossiers a été réalisée, selon la méthode de R. Kellerhals et D.I. Bray (1971), sur des linéaires de 10' m. L'axe B est mesuré sur cinquante individus, chacun étant prélevé sur le linéaire tous les 20 cm.

L'étude porte également sur l'épaisseur des sédiments fins de débordement. Deux variables ont pour cela été collectées; la première, l'épaisseur des sédiments fins déposés lors des crues de l'automne 1992, a été observée sur l'Ouvèze et l'Ain alors que la seconde, l'épaisseur des limons de la plaine inondable, a été relevée sur la plupart des sites.

#### - Les critères hydrauliques

Sur les rivières récemment touchées par de violentes crues, la ligne d'eau maximale a été reconstituée à partir des laisses de crue. L'objectif était de collecter le plus grand nombre de témoins. Ceux-ci ont été choisis le plus près possible du transect, toujours à une distance inférieure à trois mètres et le support sur lequel ils étaient déposés (un tronc, une branche...), ne devait en aucun cas être flexible. Lorsque les marques étaient nombreuses, seule la plus haute était retenue. Ce travail a permis de montrer qu'il existait une réelle logique globale, la valeur altitudinale de ces laisses présentant une progression ou une réduction latérale plus ou moins continue.

Sur l'Ouvèze, les débits exceptionnels ont été beaucoup discutés et par ailleurs, la ripisylve a subi de profonds dommages. Aussi, l'étude conjointe de la topographie et de l'altitude de la ligne d'eau a permis d'estimer la section et le périmètre mouillés. Par ailleurs, comme la pente longitudinale du plan d'eau de crue a été observée à partir des laisses de crue., ces différents éléments de la géométrie du chenal ont permis de calculer les maxima de débit et de puissance spécifique de la bande active.

#### - Les autres critères

Sur les sites de la basse vallée de l'Ain, d'autres critères très spécifiques ont par ailleurs encore été relevés.

Ceux-ci sont d'ordre chimique et porteurs d'une information historique. Une analyse des taux de carbone total et d'azote total (exprimés en pourcentage de leur poids) a été effectuée par G. Pautou et J. Girel et le laboratoire de Biologie Alpine de Grenoble sur les sédiments prélevés. Le rapport C/N ainsi calculé, permet de

déterminer le degré d'évolution d'un sol. Les sols jeunes présentent un rapport C/N faible (moins de 7) alors que les sols évolués, stabilisés, ont une valeur forte (>15). Sur le Haut-Rhône, G. Pautou et H. Décamps (1985) ont observé, sur des échantillons prélevés entre 0 et 10 cm de profondeur, des valeurs de 2,3 pour les communautés à *Alnus incana*, de 5,4 pour les peupleraies et les saussaies blanches mais de 10,75 pour les communautés à *Quercus robur* et *Ulmus minor*.

Des critères intégrant la dimension "temps" ont également été pris en compte. Les unités végétales définies sur les sites de Mollon et de Blyes, ont été repositionnées sur les photographies aériennes disponibles à différentes dates depuis 1945 (tab. 39) ce qui a permis de dater avec une marge d'erreur maximale de +/- 10 ans, la période de colonisation par les végétaux des différentes unités observées aujourd'hui. Comme les photographies sont levées tous les 10 ans, il est possible de coder chacune des périodes. La variable qualitative ordinale ainsi construite sera un indicateur diachronique très utile lors de l'analyse statistique.

Tableau 39 - Code numérique attribué aux périodes de colonisation des points d'échantillonnage par la végétation (d'après les photographies aériennes).

| Périodes de colonisation | Avant 1945 | 1945-56 | 1956-63 | 1963-71 | 1971-83 | 1983-91 | Unités non végétalisées |
|--------------------------|------------|---------|---------|---------|---------|---------|-------------------------|
| Modalités                | 7          | 6       | 5       | 4       | 3       | 2       | 1                       |

### 1.1.3 Présentation des transects

Les résultats bruts, unités par unités, seront présentés sur des transects phyto-morphologiques et les spécificités de chacun des sites seront brièvement décrites avant d'aborder l'analyse statistique proprement dite de chacun des paramètres.

Afin de faciliter la lecture de ce chapitre, seule la planche graphique du transect levé sur le site de Mollon sera présentée. Construites sur le même modèle, les autres sont disponibles en annexe (Annexe IV).

#### 1.1.3.1 Les transects levés sur les sites de l'Ain

##### -Mollon

L'étude a été effectuée à Mollon sur un transect de 800 mètres de longueur (fig. 107) présentant une double orientation, Ouest-Est au coeur du pédoncule de méandre c'est-à-dire parallèle à la berge de concavité puis Nord-Ouest - Sud-Est à l'Est, afin de prendre en compte dans ce secteur complexe et polygénique, le plus grand nombre de groupements. 53 unités et 57 points d'échantillonnage ont été définis.

La topographie est assez contrastée et comprend plus de 10 chenaux de débordement dont quatre sont encore très actifs lors des crues avec des lits de galets transgressifs ou présentant des écoulements en basse eau. La ligne d'eau dispose d'une grande variabilité latérale et les deux secteurs qui correspondent aux deux orientations se distinguent, ce qui confirme qu'il existe deux environnements hydromorphologiques de part et d'autre de la lône Est, le premier recevant de front les apports amont alors que le second, situé plus à l'aval, est calé sur un niveau de base plus bas. La connexion entre les deux se fait par une ligne d'eau à forte pente au

niveau de la lône Est et c'est dans la partie occidentale que la hauteur maximale des eaux est atteinte dans la forêt de bois durs située au coeur du pédoncule et dans les chenaux secondaires occidentaux.

Le couvert végétal est dominé par les formations arborées. Cette homogénéité relative cache une étonnante complexité de la mosaïque puisqu'il n'y a pas un gradient latéral de vieillissement du banc de convexité au coeur du pédoncule de méandre mais plutôt une juxtaposition et une interpénétration d'unités de tout âge. Le bois mort est très présent et constitue des embâcles importants au niveau des axes de débordement à l'ouest et de leurs marges.

La mosaïque sédimentaire est tout aussi complexe et diversifiée puisque les épaisseurs des limons constituant le lit majeur, celles des sables récents et la taille des sédiments de surface sont très variés et ne présentent pas de gradients latéraux. Des galets sont présents sur de nombreuses stations de la zone forestière et forment des deltas transgressifs récents ou des surfaces plus homogènes anciennes, pédogénésées et colonisées par des formations arbustives.

##### -Blyes

Le transect de Blyes présente 62 unités de végétation et 32 points d'échantillonnage sur une longueur de 566 m. Son environnement est très différent de celui de Mollon (Annexe IV).

Le nombre d'unités est plus élevé que le nombre de stations mais le linéaire étudié est marqué par une répétition et une interpénétration d'unités aux caractéristiques phytoécologiques assez semblables. Aussi, une station peut caractériser plusieurs unités.

La colonisation de la végétation s'est essentiellement déroulée au cours de deux périodes : avant 1933 et entre 1970 et 1990. Il existe une nette dissociation spatiale entre des unités récentes, situées à l'ouest dans la convexité et des unités âgées, situées à l'est au coeur du pédoncule.

La dynamique hydromorphologique semble plus faible puisque sur la plupart des stations, les processus autochtones semblent plus importants que les processus allochtones. Les descripteurs d'une forte dynamique, tels que le bois mort déposé en embâcles ou les apports intraforestiers de graviers et de galets récents, sont moins présents qu'à Mollon. Au contraire, l'épaisseur des limons du lit majeur est importante sur un plus grand nombre de stations. De même, la topographie est moins contrastée, le nombre et l'ampleur des chenaux de débordement sont plus faibles. Seul le chenal de l'Ain en 1945, qui est situé à 170 m du chenal actuel, est caractéristique. Quant à la ligne d'eau, elle n'a pas été levée dans la mesure où l'épaisseur de la lame d'eau n'excède que rarement 50 cm. Le repérage des laisses de crue trop proches de la surface, était ainsi difficile et parfois impossible.

#### 1.1.3.2 Les transects levés sur les sites de la moyenne Ardèche

Quatre transects ont été levés (Annexe IV) et le nombre de variables retenu diffère néanmoins de l'un à l'autre. Le site de Chauzon a été plus finement étudié et comporte notamment un relevé sédimentologique et une analyse partielle des surfaces terrières. Sur tous les sites, seuls sont réellement disponibles, l'altitude, les grandes unités de végétation et la hauteur de la ligne d'eau de crue du 22 septembre 1992.

Tous les transects sont également caractérisés par trois principaux ensembles physiologiques. Le premier est constitué des unités non végétalisées de la bande active. Le second comprend des formations pionnières originales dominées par une étroite association de *Alnus glutinosa* et *Salix alba*. Les peupleraies, les stades mûres de la forêt alluviale et les saussaies basses en revanche sont rares. Le dernier ensemble comporte des formations xérophiles, telles que des landes à *Salix eleagnos* ou *Robinia pseudoacacia* et des pelouses sèches.

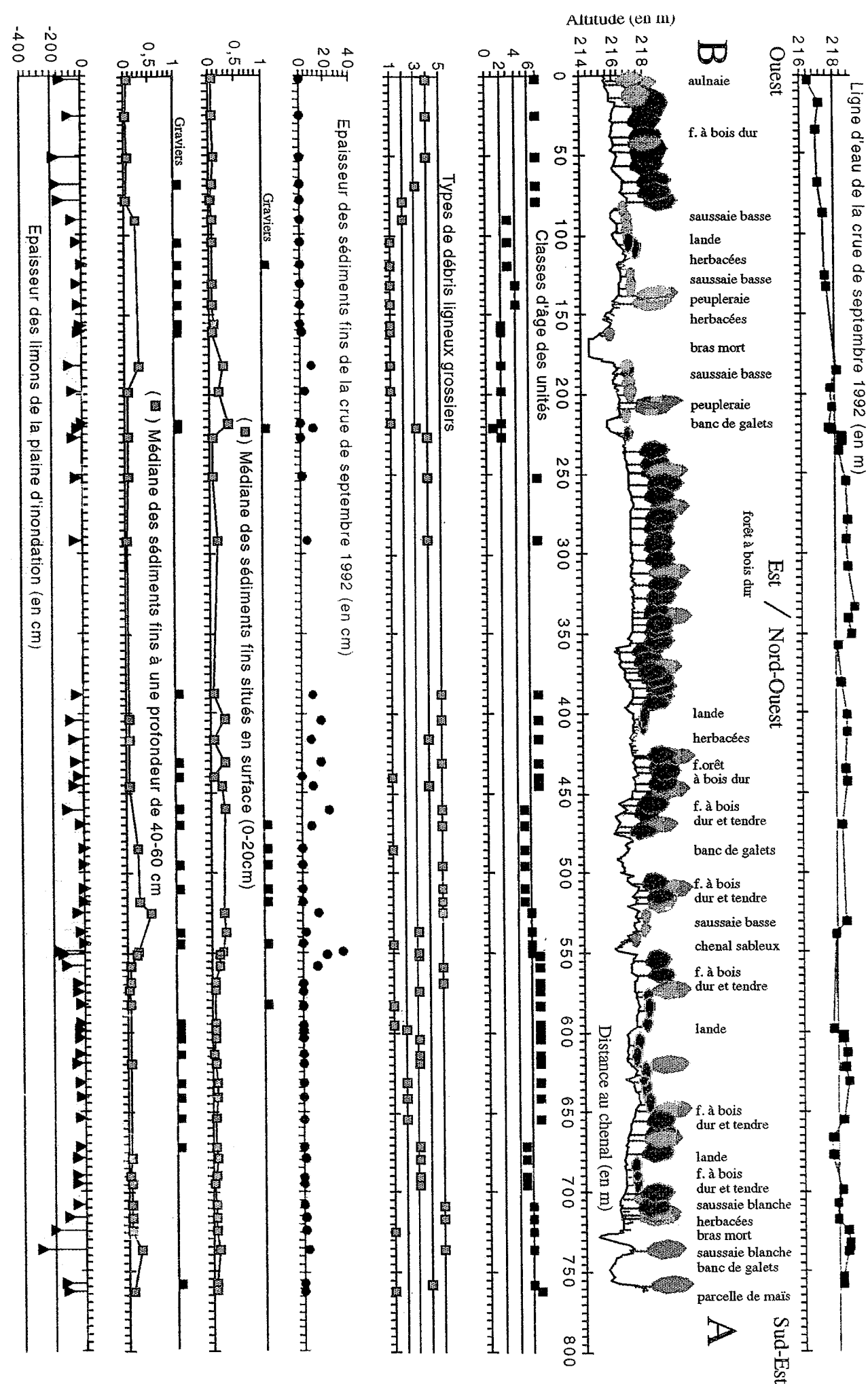


Figure 107 - Unités végétales et variabilité latérale des indicateurs biodynamiques et morphodynamiques

observés sur les transects phyto-morphologiques de Mollon (basse vallée de l'Ain)

(NB : les transects levés sur les autres sites sont en Annexe afin d'alléger le texte).

La variabilité latérale de la ligne d'eau montre que l'influence de la crue a été très nette dans les chenaux de débordement. Les arbustes post-pionniers localisés dans ces axes, à Jastre, Saint-Didier ou sur les marges de la souille d'extraction de Vogüé, ont été couchés. A Jastre, la ligne d'eau est de faible épaisseur et se réduit latéralement de l'axe principal de l'Ardèche vers les marges externes de la ripisylve.

Quant au bois mort, il est globalement rare en dehors des îles de la Borie. C'est pourquoi, ce paramètre n'a pas été retenu lors de la collecte. La crue récente a tout de même permis la formation d'une ligne de débris au contact de la bande active et des unités arborées à Vogüé et à Chauzon.

Le transect de Jastre a été levé en rive gauche de l'Ardèche sur une longueur de 200m (Annexe IV). Dans ce secteur du coude d'Aubenas, la succession est désormais figée en raison des protections de berge (Cérec et Akène, 1992). La lande à robinier, qui est une dégradation plus ou moins forte de la ripisylve naturelle à *Populus nigra*, domine et ce secteur est caractérisé par une déprise agricole et l'existence de friches dans lesquelles sont présents de nombreux poiriers associés à du saule arbustif, du frêne, du sureau et du fusain. Dans la robineraie proprement dite, on note la présence de chêne vert, d'aubépine et de fragon. L'âge de ces robiniers se situe entre 11 et 18 ans, le plus âgé ayant près de 30 ans. Le transect est d'abord caractérisé par des peuplements peu influencés par l'eau, plutôt typiques de milieu relativement secs et insérés dans la série climacique du chêne vert. Les essences ripicoles, telles que *Salix alba*, ne sont observées que dans le chenal secondaire situé à l'extrême Sud - Est.

Le transect de Saint-Didier (Annexe IV) est localisé plus à l'aval sur un bras secondaire de l'Ardèche qui est seulement actif en crue et colonisé par des arbustes pionniers (Saules blancs, Aulnes glutineux et Peupliers noirs). Le lit majeur est occupé à l'est par une frênaie à *Fraxinus excelsior*, *Acer platanoïdes* et *Juglans regia* et à l'ouest par une forêt mixte à *Populus nigra* dominant associé à *Fraxinus excelsior*, *Acer pseudoplatanus*, *Robinia pseudoacacia* et *Ailanthus glandulosa*. Une digue protège les terres agricoles du secteur de "l'ancienne île" des inondations mais elle a été submergée lors de la crue du 22 septembre 1992.

Le transect de Vogüé (Annexe IV) est situé sur une ancienne zone de tressage actif profondément perturbée par les extractions en lits mineur et majeur. Il recoupe les unités végétales situées en rive droite sur une distance de 210 m. Celles-ci sont très récentes et dominées par *Populus nigra* et *Salix alba* associés à *Alnus glutinosa* sur les biotopes humides. Sur les niveaux les plus hauts, les plus âgés, la robineraie est largement étendue et abrite ponctuellement *Evonimus europaeus* et *Ulmus minor*.

Le dernier transect, celui de Chauzon, (Annexe IV) est situé beaucoup plus à l'aval. Sur une distance de 700 m, il présente l'ensemble des unités végétales de la bande naturelle de l'Ardèche, bande active incluse. De part et d'autre de celle-ci, le lit majeur est morcelé par des souilles d'extractions. Les espèces ligneuses sont dominées par les bois tendres : *Alnus glutinosa*, *Salix alba*, *Salix purpurea*, *Populus nigra*, *Fraxinus excelsior* et *Acer negundo* sont apparus récemment (diamètre de 8 à 9cm). Des pelouses hygrophiles, des pelouses sèches et des landes plus ou moins boisées à *Populus nigra* et *Salix eleagnos* occupent le reste de l'espace.

### 1.1.3.3 Les transects levés sur les sites du Giffre moyen

Les transects étudiés sur la moyenne vallée du Giffre sont au nombre de trois :

- Le transect des Millièrès (Annexe IV) se situe à la confluence avec le Clévieux et s'étend sur une largeur de 150 m entre le lit mouillé du Giffre et le versant de rive gauche.
- Le transect de Verchaix (Annexe IV) est localisé à 200 m à l'aval de la station d'épuration de Morillon (PK 6.5) et dispose d'une longueur de 180m. Il s'étend du lit mouillé de la rivière situé au pied de la rive gauche au lit majeur de rive droite protégé par une digue datant de la fin du XIX<sup>e</sup> siècle et colonisé par une forêt d'épicéa. La bande active et quelques unités pionnières occupent 80% de la longueur du transect.

- Le transect des Thézères (Annexe IV) est levé à 250 m à l'amont du Pont de Taninges, en rive droite, du lit mouillé à la terrasse de Mélan.

Le nombre d'unités physiologiques est extrêmement faible et quel que soit le transect, la largeur moyenne des différentes unités est voisine de 15-20 m. Le principal groupement est l'aulnaie-saussaie qui est caractérisée par une surface terrière de 15 à 25 m<sup>2</sup> par ha. La peissière ou la frênaie, développées sur les niveaux les plus hauts, atteignent des valeurs plus fortes, de 20 et 70 m<sup>2</sup> par ha.

La diversité du fonctionnement hydraulique est intéressante puisque plusieurs chenaux actifs pour des débits modestes, serpentent à l'intérieur des stades pionniers. Un chenal secondaire est ainsi situé au pied du niveau supérieur du transect des Millières. Sur le site des Thézères, les formations pionnières sont traversées par trois bras et la peissière est drainée par une "bézière", c'est-à-dire un petit affluent phréatique.

L'échantillonnage des sédiments montre que l'épaisseur des limons de débordement est assez contrastée. Dans les formations pionnières, sa valeur peut dépasser le mètre. La granulométrie des niveaux les plus hauts est également variable. Sur les sites des Millières et des Thézères, ceux-ci présentent une épaisseur limono-sableuse relativement importante alors que sur le site de Verchaix, la surface supérieure est dessinée dans des dépôts graveleux.

Les débris ligneux grossiers disposent d'un tonnage faible, voire nul sur le transect des Thézères et leur présence est plus caractéristique de la bande de tressage que des groupements forestiers.

#### 1.1.3.4 Les transects levés sur les sites de la moyenne Ouvèze

Sur les transects de Violès et de Blyes (Annexe IV), l'Ouvéze présente une bande active relativement large et un style géomorphologique en tresses. Le lit majeur boisé a une largeur modeste qui varie de 50 à 100 m et se dessine dans des sables de débordement dont l'épaisseur moyenne est importante alors qu'il abrite parfois, comme à Saint-Michel des formations végétales postérieures à 1973. Sur ce site, le lit majeur actuel, qui est une surface en galets en 1973, présente une épaisseur sableuse supérieure à 50 cm. La forte dynamique des flux de débordement s'exprime ainsi sur ces marges par la rapidité de la sédimentation qui peut atteindre des valeurs de plus de 2,5 cm/an. D'ailleurs, les sables déposés par la dernière crue à Violès, atteignent localement une épaisseur de plus de 15 cm.

Le lit majeur, enfin, est principalement colonisé par des formations arborées plutôt récentes bien que quelques individus aient un diamètre voisin de 40 cm. Les essences de bois tendres (peupliers, saules et aulnes) dominent largement.

Ces deux transects phyto-morphologiques présentent des indicateurs spécifiques compte tenu de l'intensité de la crue de septembre 1992 et ont ainsi en commun un certain nombre de traits caractéristiques.

La pente longitudinale de la ligne d'eau et la puissance unitaire du pic de la crue du 22 septembre 1992 présentent des valeurs très élevées. La hauteur maximale du plan d'eau se réduit latéralement à l'intérieur du corridor boisé et une ligne de débris ligneux marque un contact très net entre la bande active et le lit majeur.

Par ailleurs, le sommet des bancs de galets non végétalisés de la bande active présente une altitude parfois supérieure à la surface du lit majeur. Une nappe de galets fossilise ainsi le lit majeur en rive droite sur le transect de Violès.

L'analyse diachronique de la granulométrie des sédiments fins montre également qu'il existe depuis la formation du lit majeur, un amenuisement progressif de la granulométrie entre la base et le sommet de l'accumulation. Pourtant, sur 3 des 4 points observés, cette continuité est contrariée par les apports beaucoup plus grossiers de la crue de septembre 1992.

#### 1.1.3.5 Les transects levés sur les sites de l'Ubaye

Le transect topographique amont situé sur le site d'Enchastrayes (Annexe IV), a été levé sur une bande de tressage, large et dans laquelle se dessine une série de chenaux. Le bras principal se situe dans un secteur où les bancs de galets sont les plus élevés. Un changement de la position du cours est ainsi à prévoir à moyen terme en direction de la rive gauche. Par ailleurs, ce levé topographique confirme bien l'exhaussement observé dans ce secteur depuis 1908. D'un point de vue biogéographique, la pinède est très présente sur les bancs de galets récemment colonisés. Dans certaines unités de la ripisylve, le pin occupe 10 à 30% de la strate arborescente et est associé à des saules et des aulnes. Dans cet environnement à forte dynamique, il subsiste des zones de moindre hydraulité dans lesquelles se sédimentent des épaisseurs limono-sableuses parfois importantes. La masse des débris ligneux est faible et ceux-ci se distribuent préférentiellement dans la bande active.

Sur le transect de Méolans-Le Rioclar (Annexe IV), l'axe principal d'écoulement se situe actuellement dans le thalweg et l'altitude de la bande active décroît du SSE au NNO. Deux chenaux de crue plus élevés sont repérables à l'Est. Le premier situé dans la partie centrale, était le lit mouillé principal entre 1956 et 1982 alors que le second plus oriental, était l'axe de l'Ubaye en 1948. La migration progressive du chenal vers l'Ouest est donc parfaitement lisible dans le paysage et s'accompagne d'une légère incision favorable à une recolonisation végétale plus xérique dans la zone de convexité.

Les formations végétales présentes sont largement dominées par *Pinus sylvestris*. Celui-ci est présent dans des unités très âgées comme celle située au SSE sur le plus haut niveau et sur lequel il forme un peuplement monospécifique dont l'âge est sans doute antérieur au XX<sup>e</sup> siècle puisque les diamètres dépassent les 30 cm. Quelques rares saules occupent la strate arbustive et *Hippophae rhamnoides* a fortement colonisé les bancs de galets les plus hauts.

L'analyse de l'épaisseur des sables de débordement permet de constater que les niveaux les plus hauts ne sont pas obligatoirement les mieux pourvus en fines. Ce sont plutôt des niveaux graveleux, propices au développement de la pinède xérophile. Inversement, les niveaux sablo-limoneux se situent à des altitudes intermédiaires et constituent des biotopes favorables à des pionniers ripoles.

La masse des débris ligneux est encore plus faible que sur le site amont. Ceux-ci sont présents sur les bancs de galets récents mais aussi sur le niveau le plus haut dans lequel l'alimentation est endogène, le vent favorisant le chablis et le déracinement de pins âgés. Cette dynamique laisse penser que cette unité est sans doute proche du climax. En effet, l'action du vent ne peut être efficace que lorsque les troncs ont atteint une certaine hauteur. Par ailleurs, ce mécanisme agit comme un régulateur qui marque le renouvellement de l'ensemble des individus les plus élevés. Ce mécanisme de régénération interne de la formation est rare dans le fond de la vallée.

Le transect topographique de Champanastais présente de nombreux chenaux même sur les niveaux les plus hauts (Annexe IV).

La végétation est extrêmement présente et de nombreuses unités se partagent un espace de faible superficie. Les stades arborescents et surtout la pinède dominant. Celle-ci est toujours présente sur les niveaux graveleux mais également sur des secteurs riches en limons. Par ailleurs, un groupement original a été observé sur une surface élevée et constituée de sables et de limons très épais; sa canopée est dominée par *Alnus incana* associé à *Pinus sylvestris* et à des essences de bois dur (*Acer opalus*, *Acer pseudoplatanus*, *Fraxinus excelsior*). Elle constitue un témoin de la ripisylve-type, un stade mûre de la succession écologique caractérisé par un mélange d'essences à bois durs et à bois tendres.

Globalement, une transition progressive de l'aulnaie à la pinède se manifeste du Nord-Est au Sud-Est, les saules devenant finalement dominant sur les marges de l'axe de l'Ubaye. Sur ce site de très forte énergie et par ailleurs très faiblement anthropisé, le bois mort allochtone est par contre totalement absent.

## **Conclusion**

Le nombre et le type de paramètres relevés diffèrent sensiblement d'une rivière à l'autre. Cette disparité est liée à plusieurs raisons :

- Chaque rivière est spécifique. Si le bois mort est un élément fonctionnel important de l'Ain, il est en revanche inexistant sur la plupart des sites de l'Ardèche ou de l'Ubaye. Des crues récentes n'ont par ailleurs marqué que certains des hydrosystèmes étudiés. Ainsi, des indicateurs, comme la ligne d'eau ou l'épaisseur des sédiments de la dernière crue, ne sont pas observés partout. S'ils sont porteurs de résultats originaux, ils sont en outre spécifiques et limitent les comparaisons possibles entre les différents sites.

- L'investissement en matière de recherche a été inégal. Il a notamment été beaucoup plus important sur la rivière d'Ain car le milieu présente une diversité exceptionnelle et la recherche a été développée depuis plus longtemps dans le cadre d'une collaboration pluridisciplinaire.

A l'interface entre les unités terrestres et l'axe fluvial, le corridor forestier dispose d'une dynamique originale qui associe, dans des proportions variables, des processus allochtone et autochtone. La dimension transversale se révèle ainsi être fondamentale pour observer les liens interactifs qui existent entre un milieu, la forêt alluviale, et différents flux de matières qui le modèlent.

L'objectif sera dès lors de reconnaître la variabilité spatiale et temporelle, c'est-à-dire la diversité, des flux intraforestiers à partir de différents indicateurs à la fois hydrauliques, phyto-sociologiques, sédimentaires...

Deux axes majeurs seront retenus dans cette démarche.

Le premier s'attachera à l'étude des flux. La ripisylve freine en effet les écoulements de surface et exerce un effet de filtre hydraulique et sédimentologique.

Le second portera sur la détermination d'un indice de régénération des unités reposant sur des critères à la fois morphodynamiques et phytosociologiques. La dynamique de régénération sera alors confrontée à la diversité des groupements écologiques.

### **1.2 Effet filtre et variabilité des flux intraforestiers**

L'objectif de ce chapitre sera de décrire et d'expliquer au sein de la mosaïque fluviale, la variabilité latérale et temporelle de la hauteur de la nappe d'eau des crues qui ont eu lieu sur l'Ardèche, l'Ouvèze et l'Ain durant l'automne 1992 et de la sédimentation à partir de la granulométrie et de l'épaisseur des sédiments déposés.

#### **1.2.1 Unités végétales et variabilité spatio-temporelle de la ligne d'eau.**

L'étude des laisses de crue a été abordée sur l'Ardèche, l'Ain et l'Ouvèze, des rivières récemment touchées par de violentes crues. Il s'agissait d'apprécier la variabilité latérale de la ligne d'eau de crue et donc indirectement celle de l'énergie hydraulique.

Néanmoins, ce phénomène a été difficile à mettre en évidence et à interpréter car :

- au sein d'une parcelle d'échantillonnage, les laisses de crue les plus hautes ne décrivent pas toujours le plan d'eau du maximum. Une correction a été effectuée après la reconstitution de la ligne d'eau, chaque côte étant comparée à ses voisines et les plus aberrantes étant éliminées.

- la dynamique de dépôts des laisses de crue n'est pas connue. Or, dans certains secteurs soumis à l'inondation, il est parfois difficile de trouver des témoins ce qui permet de penser que les laisses ne se déposent pas partout et avec la même intensité.

L'épaisseur moyenne de la nappe d'inondation du maximum de la crue est très variable d'une rivière à l'autre, voire d'un site à l'autre sur l'Ardèche. Elle est modeste à Mollon, où l'Ain n'a subi qu'une crue de fréquence moyenne, et à Jastre sur l'Ardèche où le lit mineur est très incisé. Sur l'Ouvèze, elle dépasse deux mètres de hauteur ce qui peut paraître modeste pour une crue d'une telle fréquence. En revanche, sur l'Ardèche, cette crue, estimée de fréquence vicennale, présente dans le secteur de Chauzon une hauteur moyenne de la ligne d'eau intraforestière de +3,5m. Cette hauteur est surestimée car la topographie originelle du lit majeur, découpée par des souilles d'extraction, dispose d'une altitude artificiellement basse. Pourtant, les laisses de crue sont globalement plus hautes dans le secteur de Chauzon que dans ceux situés à l'amont alors que la largeur du lit d'inondation est sans doute plus importante. Ce fait permet de penser que le défilé aval de Balazuc forme un goulet d'étranglement à l'origine d'un stockage temporaire des eaux dans le méandre imprimé de Chauzon. Ce site constitue un exceptionnel bassin de rétention des crues dont la préservation devrait être mieux prise en compte par les gestionnaires.

Après avoir présenté la méthode d'analyse de la variabilité latérale de la nappe d'eau d'après son altitude relative ou absolue et son épaisseur, les résultats seront exposés et discutés.

#### **- Méthode d'analyse**

L'altitude du terrain naturel et la distance au chenal actif ont été choisis comme paramètres explicatifs et corrélés à l'altitude des laisses de crue. La relation unités végétales - hauteur d'eau n'a pas été étudiée car elle est difficile à interpréter puisque la structure même de la végétation peut éventuellement intervenir sur la variabilité de la ligne d'eau. Pour mener à bien cette analyse, il conviendrait en outre de disposer non pas du type d'unité végétale mais de variables structurales telles que la densité ou le nombre de ligneux par unité de surface.

Une double analyse a donc été effectuée. Dans un premier temps, l'altitude de la lame d'eau a été corrélée à la distance au chenal afin de déterminer s'il existe une logique spatiale simple, un gradient latéral. Dans un second temps, la hauteur de la lame d'eau a été corrélée à l'altitude du point d'échantillonnage. Si le plan d'eau dispose d'une altitude constante, la relation linéaire ci-dessus serait parfaite. Dans le cas contraire, les résidus nous informent des disparités, des déviations qui existe par rapport au modèle initial. L'étude des résidus et de leur représentation graphique en fonction de la distance au chenal permet de connaître les secteurs pour lesquels la hauteur d'eau est exagérée ou au contraire atténuée pour une altitude de surface donnée. L'altitude du sol retenue n'est pas l'altitude absolue. Il s'agit d'une valeur relative au point le plus bas de chacun des transects de manière à pouvoir représenter et comparer tous les sites d'une rivière sur un même graphique.

#### **- Résultats**

L'altitude de la nappe d'inondation (Y) et la distance au chenal (X) ne présentent que très rarement une relation linéaire et une très forte significativité de la régression ( $R = 0,59$  et  $p = 0,0001$ ) n'est observée que dans le pédoncule de Mollon où une réelle réduction de l'altitude de la ligne d'eau se manifeste du coeur du

pédoncule vers la convexité (fig. 108). Ce phénomène permet de mieux comprendre la capacité de la rivière à recouper son pédoncule. Non seulement, les flux amont arrivent au droit de la concavité du méandre mais encore l'épaisseur de la lame d'eau et sans doute la pente longitudinale du plan d'eau (la distance amont-aval est courte) sont plus importantes dans ce secteur du pédoncule et se conjuguent, favorisant une très forte érosion aréolaire. Ces facteurs hydrauliques expliquent la présence de sédiments grossiers sous forêt.

Sur l'Ouvèze, les mécanismes hydrodynamiques sont différents. Le phénomène a été observé sur une marge forestière étroite, une unité fonctionnelle et non un secteur fonctionnel. Cette fois, l'altitude de la ligne d'eau se réduit latéralement de l'axe principal vers les marges externes. Cette observation est significative en rive droite de Violès ( $p = 0,0005$ ). La droite de régression calculée à Saint-Michel dispose de la même pente mais le seuil de significativité est trop faible ( $p = 0,2722$ ). Dans la forêt de rive droite de Violès, le phénomène s'inverse. Ainsi, la pente latérale de la ligne d'eau est variable ce qui permet de penser que la position de la marge vis-à-vis des flux est sans doute fondamentale. A Violès, l'analyse détaillée du secteur après la crue a permis de montrer que des flux de débordement très importants sont arrivés dans le lit majeur de rive gauche à la suite de la rupture de la route-digue. Aussi, la pente latérale reconstituée peut être considérée en fait comme la pente longitudinale du plan d'eau. L'arrivée de ces flux étant oblique, l'altitude réelle de ce plan d'eau sur le transect est plus haute sur la rive droite, située dans l'axe principal de l'écoulement, que sur la rive gauche située à l'aval de ce courant.

Sur l'Ardèche, l'altitude de la nappe d'inondation présente une variabilité latérale complexe qui ne répond pas à un modèle linéaire. Plusieurs cas ont en fait été observés :

- A Saint-Didier, l'altitude de la lame d'eau se réduit régulièrement de l'axe du chenal vers les marges externes de la forêt.
- A Jastre, Vogüé et en rive droite de Chauzon, l'altitude de la lame d'eau se réduit régulièrement de l'axe du chenal vers le coeur de la ripisylve puis augmente finalement vers les marges externes de la forêt.
- Enfin, la forêt est marquée sur la rive gauche de Chauzon par une augmentation de l'altitude de la ligne d'eau du chenal principal au coeur du secteur.

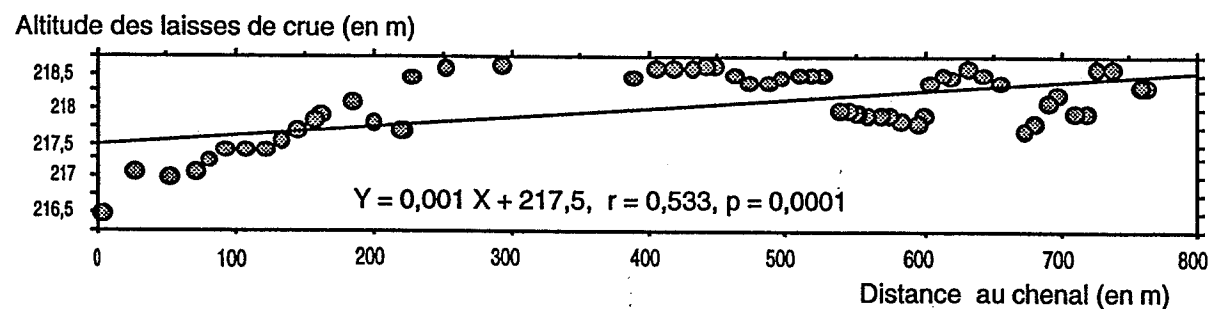


Figure 108 - Relation linéaire entre l'altitude maximale de la ligne d'eau de la crue de l'automne 1992 (Y) et la distance au chenal (X) dans le secteur de Mollon sur l'Ain.

L'analyse de la variabilité latérale de la ligne d'eau repose sur l'analyse des résidus de la relation altitude de la surface topographique - épaisseur de la lame d'eau. Cette relation linéaire est évidente sur la plupart des secteurs étudiés (fig. 109A) avec des seuils optimaux de représentativité ( $p = 0,0001$ ).

La distribution spatiale des résidus (fig. 109B) fait apparaître sur l'Ain quatre secteurs sur lesquels ces résidus sont positifs c'est-à-dire où la hauteur d'eau observée est plus importante que la hauteur d'eau estimée par le modèle pour une altitude donnée de la surface topographique.

Les secteurs, situés à une distance de l'axe de l'Ain de 150 à 250, 400 à 500, 600 à 650 et 700 à 750m, correspondent toujours à des chenaux de débordement. Inversement, les secteurs qui présentent des résidus négatifs (entre 0 et 150, 550 et 700m du chenal de l'Ain) correspondent au coeur des zones intraforestières.

Les observations effectuées sur le terrain montrent que ces zones sont peu affectées par l'érosion aréolaire ou le dépôt de sédiments récents. En revanche, la forêt âgée, située à 300-350m du chenal de l'Ain sur le transect et qui est également un des coeurs du pédoncule, présente des résidus positifs. Or, sa surface est marquée par d'importants dépôts de sédiments récents. Par conséquent sur l'Ain, la valeur des résidus de la relation linéaire altitude de la surface topographique - épaisseur de la lame d'eau est un bon indicateur de l'hydrodynamique et de la morphodynamique de tel ou tel secteur du pédoncule.

L'étude des résidus confirme les distinctions effectuées précédemment sur l'Ardèche lors de l'analyse descriptive de la variabilité latérale de l'altitude de la ligne d'eau. Elle lui confère une validité statistique et tient compte de l'altitude du sol. Sur 4 des 5 sites, les résidus sont nettement positifs sur les marges internes de la forêt (fig. 110). Sur les sites de Chauzon et de Jastre, la hauteur d'eau est aussi exagérée localement au coeur de la ripisylve. Si la localisation correspond à un axe de débordement à Jastre ou en rive gauche de Chauzon (fig. 110B et 110D), la forte valeur des résidus est difficile à interpréter en revanche sur le site de rive droite de Chauzon (fig. 110E). Les écoulements, dans ce secteur, sont sans doute dépendants de la lône ancienne mais partiellement en eau qui est située à l'extrême ouest du site.

Les sites de l'Ouvèze sont caractérisés par une relation épaisseur de la lame d'eau - altitude de la surface topographique moins représentative (fig. 110C). Néanmoins, comme sur les autres sites, les résidus positifs s'observent sur les marges internes de la forêt et dans les chenaux hérités intraforestiers (rive gauche de Violès, Saint-Michel) (fig. 111).

L'analyse de la variabilité altitudinale des laisses de crue permet finalement de retenir quatre phénomènes originaux :

- Il existe une réelle variabilité latérale de l'altitude de la ligne d'eau sur les différents sites d'étude et sur des distances parfois faibles (50 m sur l'Ouvèze par exemple).
- Cette variabilité se manifeste par une hétérogénéité interne ou par un gradient altitudinal négatif de l'axe principal aux marges les plus extrêmes.
- Les chenaux de débordement intraforestiers et les marges boisées de l'axe principal présentent une ligne d'eau globalement plus haute.
- L'altitude de la ligne d'eau peut également se réduire graduellement des marges ripicoles externes à l'axe principal (cas du lit majeur de rive gauche de l'Ouvèze à Violès).

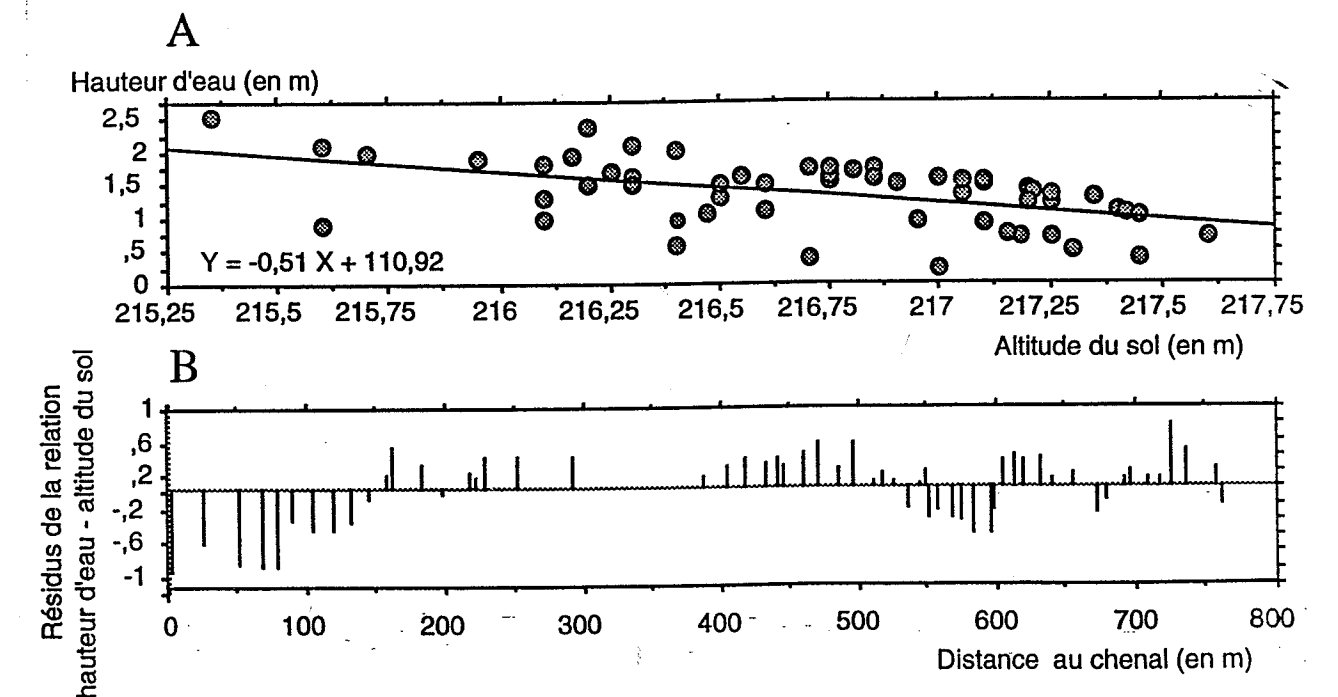


Figure 109 - Relation linéaire "hauteur de la lame d'eau de la crue de l'automne 1992 - altitude de la topographie" (A) et distribution spatiale des résidus (B), site de Mollon, Ain.



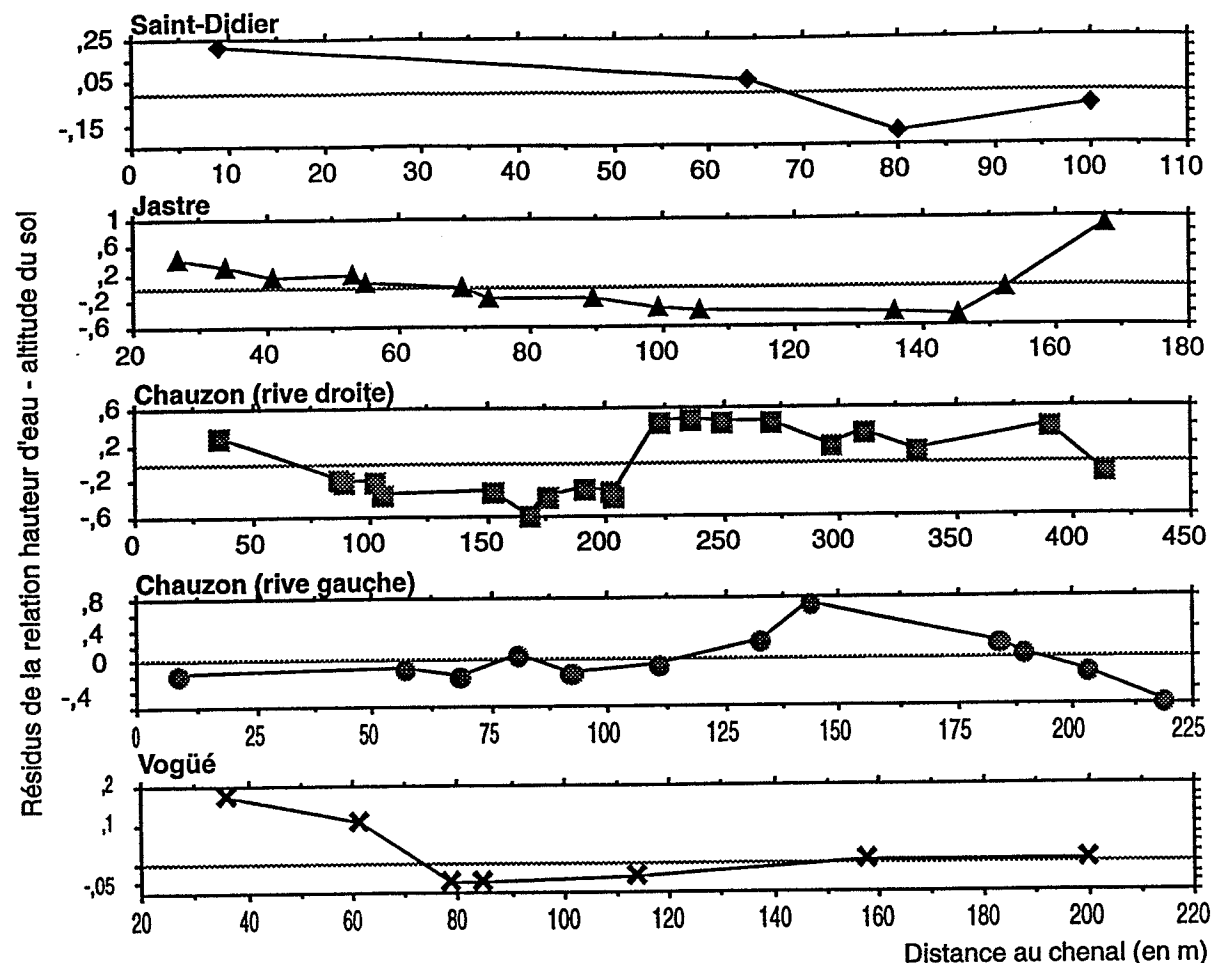


Figure 110 - Distribution spatiale des résidus de la relation linéaire "hauteur de la lame d'eau de la crue de l'automne 1992 - altitude de la topographie" sur les sites de l'Ardèche.

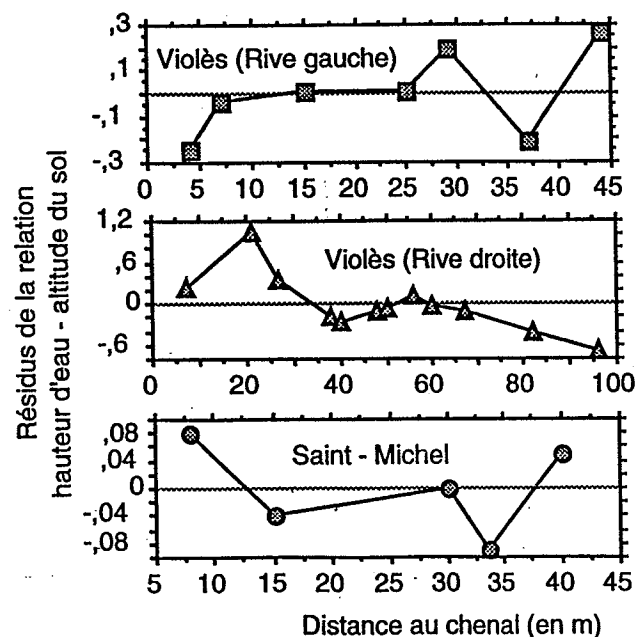


Figure 111 - Distribution spatiale des résidus de la relation linéaire "hauteur de la lame d'eau de la crue de l'automne 1992 - altitude de la topographie" sur les sites de l'Ouvèze.

### - Interprétation hydraulique du phénomène.

En écoulement permanent, c'est-à-dire indépendant du temps, le phénomène présente une contradiction apparente. Le niveau du plan d'eau de la bande active devrait être en contrebas de celui observé sur la marge forestière si l'énergie totale était la même. En effet, selon l'équation de Bernoulli, l'énergie mécanique totale est la somme de l'énergie potentielle et de l'énergie cinétique. Pour une énergie totale donnée et sachant que la vitesse est plus forte dans le chenal ( $V_1$ ) que dans la forêt ( $V_2$ ), l'équilibre énergétique entre les deux milieux est retrouvé si l'altitude du plan d'eau est plus haute sous forêt ( $Z_2$ ) que dans la bande active ( $Z_1$ ) :

$$Z_1 + (V_1^2 / 2g) = Z_2 + (V_2^2 / 2g) = \text{constante}$$

Néanmoins, dans le cas présent, le niveau maximal observé dans la bande active est supérieur à celui observé sous forêt ce qui signifie que l'énergie totale est différente d'un compartiment à l'autre et que la marge boisée, en raison de sa rugosité, induit une perte d'énergie par frottement.

Ce phénomène ne peut être observé qu'en régime transitoire c'est-à-dire faisant intervenir le temps. Plusieurs écoulements sont en fait observés simultanément. L'onde de crue se propage longitudinalement dans les axes d'écoulement et présente une forte énergie mécanique liée à une forte énergie cinétique et à une forte énergie potentielle. L'onde se propage également latéralement dans un milieu présentant une forte inertie. Dans ce cas, la pente du plan d'eau indique le sens d'écoulement des eaux et le pic de la crue est atteint dans la bande active avant celui observé sous forêt.

Ce phénomène, relativement bien connu des hydrauliciens, est observé lorsqu'une onde se propage dans un milieu présentant une plus grande inertie que le milieu d'origine. C'est le cas des marges boisées comme des nappes d'accompagnement.

Ce mécanisme n'est pas nouveau mais les résultats acquis permettent de montrer que la forêt riveraine est, à l'image d'une nappe phréatique par exemple, un espace d'écoulements multidirectionnels dans lequel les écoulements latéraux sont très importants. Par ailleurs, des écoulements longitudinaux, entretenant les chenaux hérités, sont également observés. Les écoulements sous forêt sont donc guidés par des axes longitudinaux de forte énergie et de faible inertie séparés par des zones à forte rugosité et caractérisées par des écoulements transversaux. L'ensemble forme une mosaïque d'écoulements qui présentent une large amplitude d'énergies et induisent une mosaïque de milieux morphosédimentaires. Le fonctionnement hydraulique du lit majeur diffère ainsi sensiblement du fonctionnement hydraulique du lit mineur, ce dernier étant marqué par la prépondérance des écoulements longitudinaux.

En outre, les résultats acquis sur les trois rivières permettent de conclure que :

- La nappe d'inondation présente une grande variabilité altitudinale dans les milieux intraforestiers. Ceux-ci sont en effet caractérisés par des axes préférentiels d'écoulement et des zones de moindre énergie.
- La hauteur relative de la nappe d'eau est un indicateur de sa capacité morphogène dans la mesure où il y a une coexistence spatiale entre les hauteurs d'eau les plus importantes et les axes de débordement et de régénération.
- Les marges boisées exercent, par l'intermédiaire de leur structure rugueuse, un filtre efficace vis-à-vis des flux liquides. La forêt est capable de réduire latéralement et sur une distance parfois inférieure à 50 m la hauteur et par conséquent la capacité érosive de la lame d'eau.

Ainsi, le plan d'eau de la crue du 22 septembre 1992 s'est abaissé de 65 cm en moins de 30m dans la ripisylve de rive droite de l'Ouvèze à Violès. Cette valeur, qui correspond à une pente de 2,2%, est

exceptionnelle dans la mesure où la rugosité est extrêmement importante compte tenu de la présence d'une ligne de débris presque continue à la lisière de la forêt. En fait, l'abaissement sur les autres sites est moindre puisqu'il a été estimé à 1,1 m sur une distance de 100 m à Jastre sur l'Ardèche et 0,25 cm sur 30m à Saint-Michel, soit des pentes de 0,8 à 1,3%. En fait il semble que plus le contraste est accusé entre les deux milieux, plus la pente est forte et la distance est faible.

### 1.2.2. Unités végétales et variabilité synchronique latérale de la granulométrie

La granulométrie a été étudiée sur les cinq rivières et deux indicateurs, la médiane (M) et le percentile (C), ont été retenus. Néanmoins, l'approche n'a pas été normalisée. Sur l'Ain, le nombre d'échantillon est élevé mais la valeur de la médiane ne correspond pas aux sédiments de surface mais à une tranche de sédiments situés entre 0 et 20 cm d'épaisseur. Aussi, lorsque l'épaisseur des sédiments fins est inférieure à 20 cm, cette valeur ne décrit que trop partiellement la dynamique puisqu'elle prend aussi en compte la charge de fond située à la base. Compte tenu du choix de prélèvement, la valeur centrale est le plus souvent peu affectée et la médiane étudiée permet une approche synchronique élémentaire. Néanmoins, le percentile, très sensible à tout changement granulométrique d'une strate à l'autre, n'a pas été estimé.

L'étude porte essentiellement sur les sédiments fins mais la présentation des données, site par site, concerne l'ensemble des prélèvements effectués sur le transect, dans le corridor ripicole et dans la bande active. Par ailleurs, des prélèvements ont également été effectués dans des parcelles viticoles du lit majeur de l'Ouvèze non protégées par un corridor boisé.

L'objectif proposé sera de mettre en évidence et d'expliquer la variabilité latérale de la granulométrie des sédiments fins de l'hydrosystème et surtout du compartiment forestier. La démarche sera organisée autour de trois points :

- présenter les résultats synthétiques par sites afin d'apprécier les principales différences ,
- étudier la relation statistique entre la médiane des sédiments et des variables géographiques et structurelles,
- construire l'image C-M des sédiments collectés et la comparer avec l'image C-M théorique des dépôts fluviaux (Passega, 1963; Peiry, 1988).

#### 1.2.2.1 Présentation des résultats bruts par rivières

Sur les treize sites des cinq rivières étudiées, la taille des sédiments, qu'il s'agisse de la charge de fond ou de la charge en suspension, est très variable (fig. 112).

Les rivières comme l'Ardèche ou l'Ubaye présentent une charge de fond grossière et hétérogène, caractéristique d'une forte torréalité; la moyenne des médianes dépasse les 6 cm. Néanmoins, la charge ne dépend pas uniquement de la capacité de transport du cours d'eau. La géologie du bassin versant intervient également et explique notamment la différence granulométrique qui existe entre les dépôts de crue de l'Ardèche, très grossiers et provenant de la désagrégation des roches cristallines, et ceux de l'Ubaye, relativement fins et liés aux marnes et schistes du bassin de Barcelonnette. Inversement, l'Ouvèze et l'Ain sont caractérisés par une charge de fond (2 à 4 cm de diamètre) et des apports de débordement (100 microns en moyenne), plus fins.

Des contrastes ont aussi été observés non seulement entre les rivières mais également entre les sites d'une même rivière comme sur l'Ubaye, le Giffre et l'Ouvèze.

Sur l'Ubaye, le diamètre moyen de la charge de fond augmente vers l'aval alors que parallèlement, la taille des fines se réduit. Ainsi, globalement le contraste granulométrique entre le lit mineur et le lit majeur s'accroît. Deux

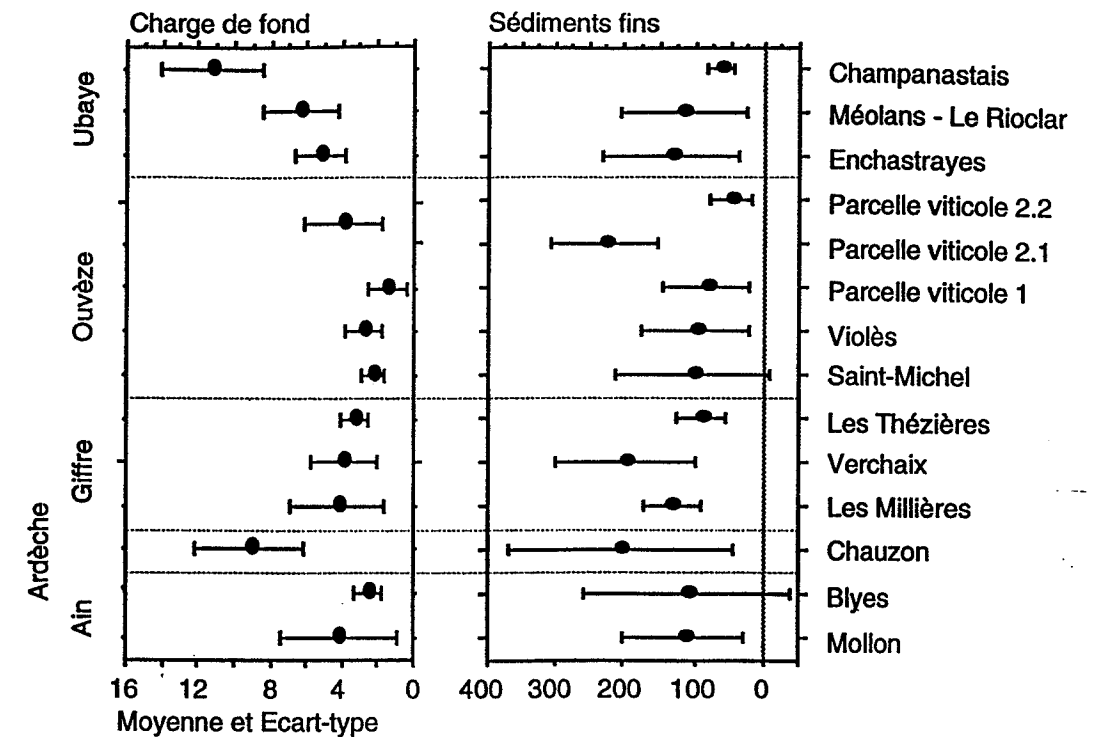


Figure 112 : Variabilité de la médiane des sédiments présents dans la bande active (charge de fond) et sur les marges boisées (charge en suspension) des cinq rivières d'étude.

explications interviennent dans ce phénomène. 1. Le rétrécissement de la vallée et l'augmentation de la pente longitudinale vers l'aval favorisent des apports grossiers locaux plus abondants en lit mineur. 2. La dynamique des fines est différente puisque les sources de sédiments sont plus éloignées (bassin de Barcelonnette essentiellement) et que leur taille s'amenuise vers l'aval au fur et à mesure de l'usure du transport. D'autre part, la différence d'altitude entre le lit majeur et le lit mineur s'accroît vers l'aval et peut expliquer que les flux de débordement aient une compétence plus faible.

Sur le Giffre, l'évolution granulométrique amont-aval est particulière : la taille des sédiments, qu'ils soient grossiers ou fins, est maximale sur le secteur médian. Ceci s'explique sans doute par le fait que la plupart des prélèvements ont été effectués dans la bande active.

Les secteurs peu perturbés de Saint-Michel et de Violès sur l'Ouvèze présentent une granulométrie assez semblable. Ces résultats, qui concernent autant les valeurs centrales et que les valeurs extrêmes, contrastent avec ceux observés dans les parcelles viticoles. Ces dernières sont caractérisées par une granulométrie plus contrastée. Les moyennes des médianes des sédiments grossiers ou fins sont tantôt plus fortes, tantôt plus faibles que celles observées sur les secteurs naturels.

Après avoir brièvement présenté les caractéristiques granulométriques de chacun des sites, une analyse explicative de la variabilité latérale de la médiane est proposée sur les marges boisées des différents systèmes puis sur les marges viticoles de l'Ouvèze.

#### 1.2.2.2 La variabilité latérale de la médiane

##### - Sur les marges boisées

Comme la médiane des sédiments présente une variabilité latérale, l'objectif proposé ici sera de voir quelle relation il existe entre la taille et le site de dépôt des sédiments. Ce site sera caractérisé par sa distance au chenal

principal ou secondaire, par son altitude relative et par sa végétation (type de groupement végétal et surface terrière) (tab. 40). La plupart des variables sont quantitatives. Seul X<sub>3</sub> est qualitatif mais ordinal, dans la mesure où la valeur de la modalité exprime un niveau dans la succession, depuis les stades abiotiques (1) jusqu'aux stades arborés matures (5) ou aux landes (6). Le codage est relativement élémentaire mais il reste le même quelle que soit la rivière étudiée ce qui permet les comparaisons.

Une régression multiple a donc été effectuée sur l'ensemble des échantillons et sur les populations partielles correspondant à chacune des rivières.

Tableau 40 - Les variables de la régression multiple associant Y, la médiane des sédiments et quatre variables explicatives.

| Y                             | X <sub>1</sub>  | X <sub>2</sub>  | X <sub>3</sub>  | X <sub>4</sub>  |
|-------------------------------|---|---|---|---|
| Médiane des sédiments (en cm) | Altitude relative au niveau de l'eau de la rivière (en m) | Distance au chenal le plus proche, principal ou secondaire (en m) | Unités végétales avec pour modalités :<br>banc en galets : 1<br>stades herbacés : 2<br>stades pionniers : 3<br>aulnaie - saussaie : 4<br>stades arborés : 5<br>landes : 6 | Surface terrière des ligneux de l'unité végétale (en m <sup>2</sup> par ha) |

Sur chacune des rivières, la variabilité de la médiane dépend de différents facteurs (tab. 41). Alors que sur l'Ardèche, la médiane est d'autant plus forte que le chenal est proche de la station, sur le Giffre ou l'Ubaye, sa variabilité dépend plutôt du type d'unité de végétation. Sur l'Ouvèze enfin, aucune relation n'est clairement mise en évidence.

L'analyse de l'ensemble des sites montre une certaine relation entre le D<sub>50</sub> et l'altitude relative à l'eau ou les unités végétales. Ainsi, le D<sub>50</sub> est d'autant plus faible que l'unité végétale dans laquelle il est prélevé est mûre et que l'altitude relative à l'eau est élevée. Par ailleurs, l'altitude de l'eau et le type d'unité végétale sont également liées et leur relation linéaire est très significative (R = 0,525 pour p = 0,0001). Si cette observation paraît évidente, elle ne peut pourtant pas être faite sur les analyses spécifiques à telle ou telle rivière.

Malgré tout, une régression linéaire simple permet d'estimer le D<sub>50</sub> en fonction de l'altitude relative à l'eau, l'équation étant la suivante (R = 0,356 pour p = 0,0005) :

$$Y = -0,006 X + 0,21$$

Si les résultats obtenus sur les sites de l'Ubaye et de l'Ouvèze sont conformes à ce modèle, la régression calculée à Chauzon présente la même pente mais les valeurs du D<sub>50</sub> sont beaucoup plus élevées (fig. 113 A). Quant au modèle du Giffre, il présente une pente beaucoup plus forte.

Sur l'ensemble de la population, aucune relation linéaire n'existe entre la médiane des sédiments et la distance au chenal car les rivières présentent des dynamiques trop dissemblables. L'analyse par secteur (fig. 113 B) montre que le Giffre, l'Ubaye et l'Ouvèze disposent de modèles linéaires assez semblables alors que celui de Chauzon est beaucoup plus spécifique. Sur ce seul site, les relations linéaire et polynomiale entre la médiane des sédiments et la distance au chenal sont par ailleurs encore plus significatives (R = 0,864 et R = 0,918 pour p = 0,0003 et p = 0,0002) et correspondent à une largeur forestière deux fois plus importante.

En écartant de l'analyse les individus de l'Ardèche, il est possible sur les autres rivières d'estimer le D<sub>50</sub> (Y) en fonction de la distance au chenal (X) grâce à l'équation suivante (R = 0,24 pour p = 0,04) :

$$Y = -5,37.10^{-5} X + 0,013$$

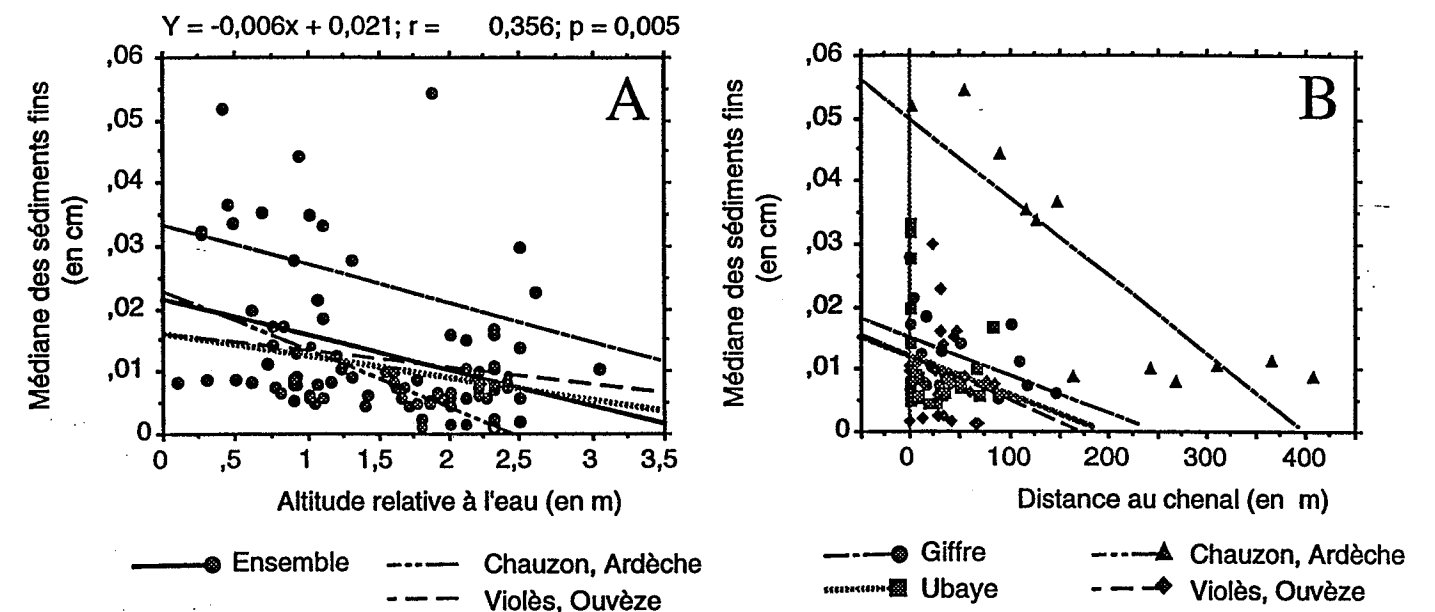


Figure 113 - La médiane des sédiments, une variable dépendant de l'altitude relative (A) et de la distance au chenal (B). Exemples de l'Ardèche, du Giffre, de l'Ouvèze et de l'Ubaye.

Tableau 41 - Résultats de la régression multiple associant Y, la médiane des sédiments et 4 régresseurs.

|   | Ensemble des sites | Ardèche (Chauzon) | Giffre | Ubaye  | Ouvèze |
|---|--------------------|-------------------|--------|--------|--------|
| nombre d'échantillons                   | 93                 | 11                | 20     | 26     | 35     |
| coef. de corrélation (r)                | 0,399              | 0,860             | 0,679  | 0,440  | 0,333  |
| probabilité p du test F                 | 0,0004             | 0,0003            | 0,0010 | 0,0250 | 0,1587 |
| p partiel, X <sub>1</sub> (altitude)    | 0,0340             | -                 | -      | -      | -      |
| p partiel, X <sub>2</sub> (distance)    | -                  | 0,0003            | -      | -      | -      |
| p partiel, X <sub>3</sub> (type vég.)   | 0,0640             | -                 | 0,0010 | 0,0250 | -      |
| p partiel, X <sub>4</sub> (surf. terr.) | -                  | -                 | -      | -      | -      |

D'après les résultats ci-dessus, il est clair que la taille des sédiments dépend de deux variables fondamentales: la position altitudinale et la position spatiale du point d'échantillonnage. Celles-ci conditionnent la valeur de l'énergie mécanique en modifiant l'épaisseur de la lame d'eau et la distance "de rugosité" ou de "peignage" séparant la station de l'axe principal. Les unités végétales ne sont finalement que des indicateurs redondants de ces deux phénomènes (surtout de l'altitude).

Malgré tout, les relations statistiques proposées ne peuvent pas être parfaites car :

- sur l'ensemble de la population, chaque rivière présente une population granulométrique originale dépendant d'une énergie totale variable,  
 - sur la population d'un seul site, le nombre d'individus est faible et l'espace étudié, souvent étroit, ne décrit que quelques unités (amplitude altitudinale et distance latérale modestes),  
 - par ailleurs, la dynamique du secteur complexifie le schéma de sorte que la granulométrie peut être très différente d'une rive à l'autre alors que les points d'échantillonnage respectifs se situent à la même altitude et à la même distance du chenal principal. Les deux rives boisées du secteur de Violès sont à cet égard caractéristiques.

**- Sur les marges viticoles de l'Ouvèze.**

Une étude granulométrique a été conduite dans des parcelles viticoles du lit majeur de l'Ouvèze, situées à l'aval des ponts de Sablet et de Violès et partiellement fossilisées sous une nappe de galets. L'objectif est de voir s'il existe une différence de sédimentation entre les marges boisées et les marges agricoles à la suite de la crue quadricentennale de l'automne 1992.

Des prélèvements équidistants de quelques 10 m sont effectués sur trois transects latéraux. Les résultats sont comparés à ceux acquis sous couvert forestier. Le premier transect est levé dans une parcelle en vigne située en rive gauche, 50 m à l'aval du pont de Sablet (PK 30,6). Le premier point se situe au bord du chenal d'étiage puis les autres se succèdent tous les 10 m jusqu'à 150 m. Deux prélèvements supplémentaires sont réalisés à 175 et 200m. Le transect est perpendiculaire à l'axe de la rivière c'est-à-dire parallèle à la route et dans une rangée de vigne. Le second et le troisième transects se situent à l'aval du pont de Violès dans la parcelle viticole de rive gauche. Le premier est levé dans l'axe de la nappe de galets qui est orientée 160° Est alors que l'axe de la rivière est de 160° Ouest. Trois prélèvements sont effectués dans la nappe à une distance de 50, 75 et 100m de la rivière puis au-delà tous les 10m. Le second, en revanche, est perpendiculaire à l'axe de la rivière et parallèle à la route conduisant au pont. Le premier prélèvement se situe sur la nappe de galets et correspond au point 50 précédent. L'échantillonnage est ensuite effectué tous les 10m jusqu'à 140m de l'axe de l'Ouvèze. Ces parcelles étaient protégées avant la crue par un liseré arboré. Situées sur des tronçons assez comparables (aval immédiat de ponts) et de très forte énergie, ces zones sont aujourd'hui en contact direct avec le lit mineur. La sédimentation fine n'apparaît qu'à une distance de 50 à 75m de la berge. Cet espace est ainsi occupé par un delta graveleux dont la taille des sédiments est semblable voire localement supérieure à la taille médiane des sédiments du lit.

Les résultats acquis dans ce secteur sont comparés à ceux du lit majeur boisé de Violès. Les deux rives naturelles sont distinguées afin de distribuer les valeurs en fonction de leur distance à la bande active (fig. 114 A).

A égale distance du chenal, la granulométrie est beaucoup plus grossière dans les parcelles viticoles que dans la forêt. Les sédiments limono-sableux les plus grossiers (entre 100 et 200 microns) se situent à quelques mètres du lit mineur sur les marges naturelles du secteur de Violès alors qu'ils ne sont présents qu'au-delà de 50m sur les marges agricoles.

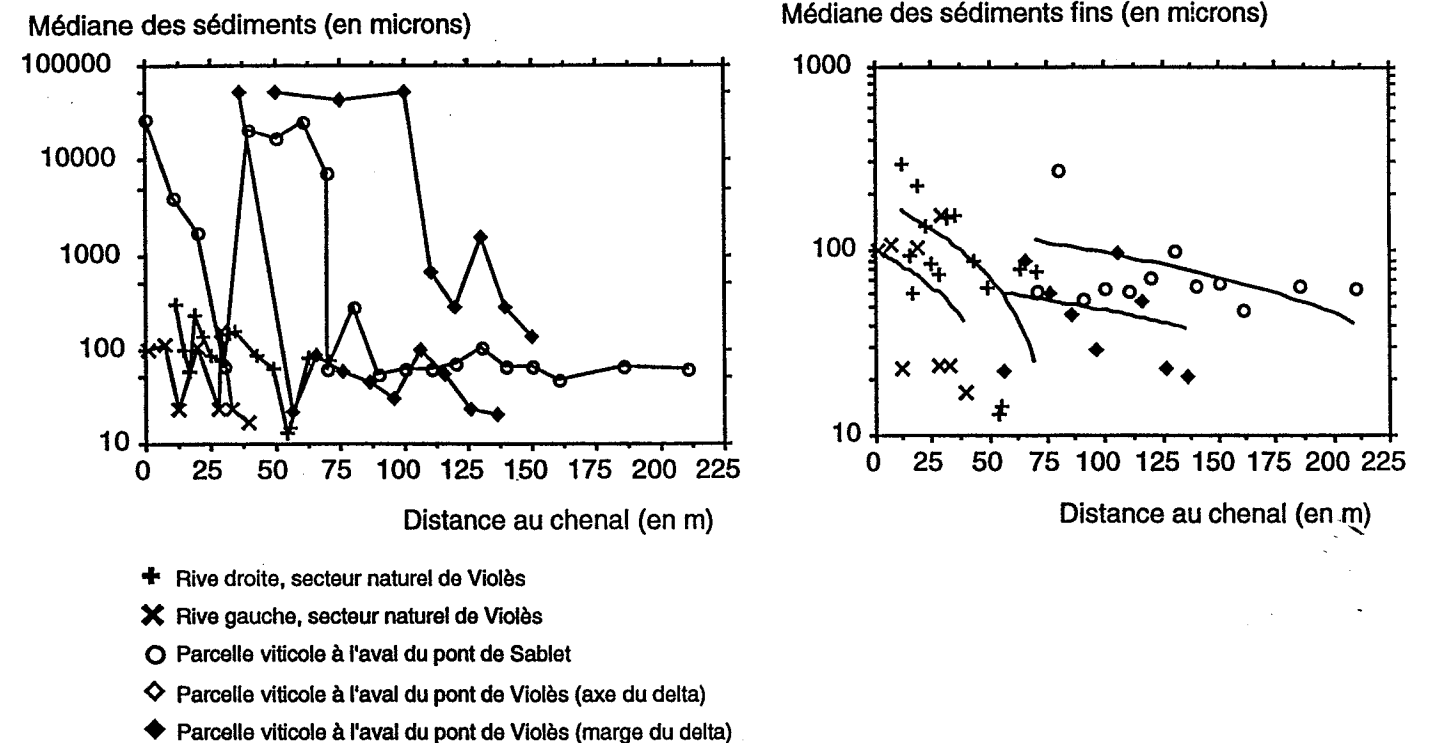
Dans le secteur boisé de Violès, la réduction granulométrique latérale est observée sur les deux rives. Elle est néanmoins beaucoup plus caractéristique en rive droite. La taille médiane des sédiments est plus élevée et passe globalement selon le modèle linéaire calculé (fig. 114 B) de 200 microns en bordure de la bande active à 20 microns à 55m. D'ailleurs, il a été montré précédemment que la rive gauche est moins dynamique, décentrée par rapport aux flux dominants alors que la rive droite les subit. Or, la réduction granulométrique est relativement plus rapide sur cette rive gauche que sur les marges agricoles.

Un modèle linéaire permet d'estimer la médiane des sédiments (M), exprimée en microns, en fonction de leur distance (D) au chenal, exprimée en m, dans le cadre d'une parcelle viticole (M<sub>1</sub>) et d'une marge boisée (M<sub>2</sub>). Les équations sont les suivantes :

$$M_1 = -0,137 D + 88 \quad \text{et} \quad M_2 = -1,47 D + 141$$

Les deux équations proposées ci-dessus montrent qu'une réduction latérale de la médiane des sédiments, de 100 à 50 microns, s'effectue sur une distance de 34 m sous forêt contre 364 m en zone viticole. Le rapport est ainsi de 1 à 10.

Il est donc démontré que la forêt alluviale exerce un filtre sédimentaire d'une exceptionnelle efficacité. La réduction granulométrique latérale existant sur les lisières boisées à haute énergie est un phénomène rapide. L'amortissement des galets et des graviers est acquis brutalement, dès la lisière. L'amortissement des sables ne nécessite que 25 m. Au-delà les valeurs des médianes sont relativement semblables.



**Figure 114 - Variabilité latérale de la médiane des sédiments (A) et modèles linéaires de la relation entre la médiane des sédiments fins (Y) et la distance au chenal (X)(B) sur les marges forestières et viticoles de la moyenne Ouvèze.**

**1.2.2.3 L'image C-M des dépôts fluviatiles des marges ripicoles**

Sur le Giffre, l'Ubaye, l'Ouvèze et à Chauzon sur l'Ardèche, une approche spécifique est proposée à partir de la médiane et du percentile des sédiments de surface. L'image C-M des dépôts de la forêt alluviale est construite et comparée à l'image C-M théorique des dépôts fluviatiles (Peiry, 1988). L'approche en lit majeur a déjà été esquissée sur le Haut-Rhône (Bravard, 1983) et le Bas-Rhône (Roditis, 1993) mais nos résultats, acquis sur les rivières de piémont, viennent préciser ces approches.

La méthode de l'image C-M a été mise au point par R. Passega (Passega, 1963; Passega et Byramjee, 1969) afin de corréliser la variation de la texture des sédiments et les processus de transport et de dépôt. En effet, une population de sédiments dispose d'individus issus de processus très différents. Passega utilise deux paramètres granulométriques indépendants l'un de l'autre et extraits de la courbe sédimentologique cumulée : la médiane (M) et le percentile (C). Une trentaine d'échantillons permet de construire une image où sont présents tous les sédiments, des plus fins aux plus grossiers. Celle-ci correspond à un nuage de points sur un diagramme logarithmique où M est en abscisses et C en ordonnées. L'image C-M théorique des dépôts alluviaux différencie plusieurs segments de points, c'est-à-dire plusieurs modes de transport et plusieurs sites préférentiels de dépôts.

L'image C-M est un outil efficace qui permet d'apprécier la diversité des processus hydromorphologiques dans le temps. Une analyse verticale des dépôts successifs en un point de prélèvement donné nous renseigne sur le nombre et le type de dynamiques successives. Cette approche verticale et paléohydrologique est fondamentale, notamment en archéologie fluviale (Salvador, 1991). Or, celle-ci se fonde sur des analyses synchroniques à partir desquels a été construite une image C-M théorique des dépôts alluviaux. L'approche proposée ici a donc son intérêt puisqu'elle est centrée sur l'étude de dépôts particuliers et encore été peu étudiés dans le cadre de cette problématique, ceux de la forêt d'inondation. Aussi, les résultats acquis devraient permettre de confirmer et d'affiner certains segments de l'image C-M théorique des dépôts fluviaux.

Quatre images C-M des dépôts ont été construites (fig. 115) et présentent respectivement les sédiments collectés sur les sites naturels de l'Ubaye (A), du Giffre (B), de l'Ouvèze et de l'Ardèche (C). Les prélèvements en zones viticoles ont été représentés sur la figure 115 D. La plupart des individus se distribuent dans le cadre étroit de l'image théorique ce qui confirme la réalité morphodynamique de cet outil y compris sur les marges boisées.

Sept segments de l'image théorique ont été retenus dans la mesure où ils concentrent les échantillons étudiés. Chacun d'entre eux illustre un site de dépôt particulier. Selon J.L. Peiry, 1988, les sédiments du segment S''R par exemple sont typiques d'une section de chenal abritée ou d'un bras secondaire lent (fig. 115 E). Cette classification des échantillons montre que les segments PQ et S''R concentrent 25 et 30% des individus alors que le segment SS'' qui décrit "les sédiments de la plaine d'inondation éloignée du chenal", est en revanche très faiblement représenté.

Par conséquent, les sédiments déposés sur les marges boisées étudiées présentent une médiane élevée typique des milieux de forte énergie. Le grand nombre d'échantillons présents sur le segment SR, (suspension uniforme) est caractéristique. De même, l'ensemble T des dépôts pélagiques n'est pas représenté sur la plupart des sites, les dépôts les plus fins ayant tendance à se distribuer vers le segment S'R' et à présenter ainsi une médiane relativement grossière.

Afin de bien identifier la position géographique de chacun des échantillons et de relier celle-ci à leur position sur l'image, trois graphiques complémentaires ont été proposés (fig. 116). Ils présentent pour chacun des segments de l'image C-M, la distance moyenne au chenal (A), l'altitude moyenne relative (B) et le nombre d'unités végétales (C).

Ainsi, les sédiments roulés du segment OP sont presque exclusivement observés dans la bande active. Néanmoins, de tels dépôts peuvent également être trouvés dans les différentes unités végétales et notamment dans des groupements arborés matures (à Chauzon) mais ces derniers sont alors toujours très proches de l'axe fluvial. Les segments PQ et QR (suspension graduée) ne sont pas forcément typiques du lit mineur. Ils sont fortement représentés dans les stades arborés matures ou post-pionniers et se situent à une altitude relative moyenne élevée. Cette dynamique, typique d'un milieu de haute énergie, n'existe pas seulement dans les axes d'écoulements principaux ou secondaires mais sont également présents sur les marges terrestres. Les sédiments du segment S''R sont observés dans toutes les unités végétales. Ce segment est le plus représenté

dans la plaine d'inondation quel que soit son altitude ou sa distance au chenal. Cette plaine d'inondation est relativement dynamique et la suspension uniforme n'est pas observée pour des sédiments de faible médiane (segment SS''). Le segment R'S' est assez original et s'apparente à des milieux d'altitude relative modeste mais colonisés par des formations arborées jeunes. La structure interne et la rugosité hydraulique particulière de ces milieux (très grande densité d'arbres à l'hectare) expliquent cette étroite relation. Quant à l'ensemble T des dépôts dits "pélagiques" car mis en évidence pour des milieux d'eaux profondes, il correspond aux niveaux les plus hauts et aux formations arborées matures des sites.

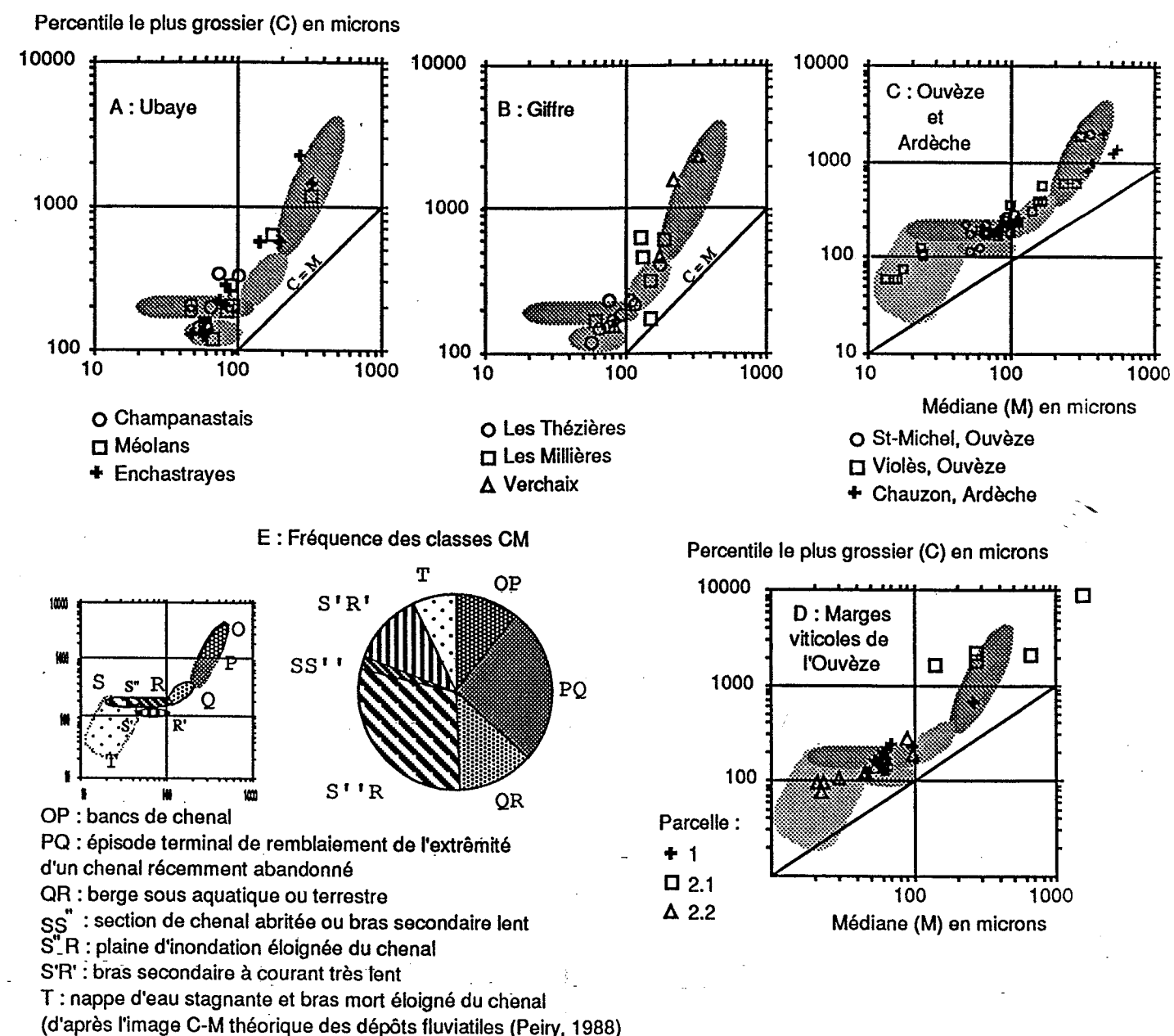


Figure 115 - Les images C-M des sédiments prélevés sur différents secteurs des rivières étudiées.

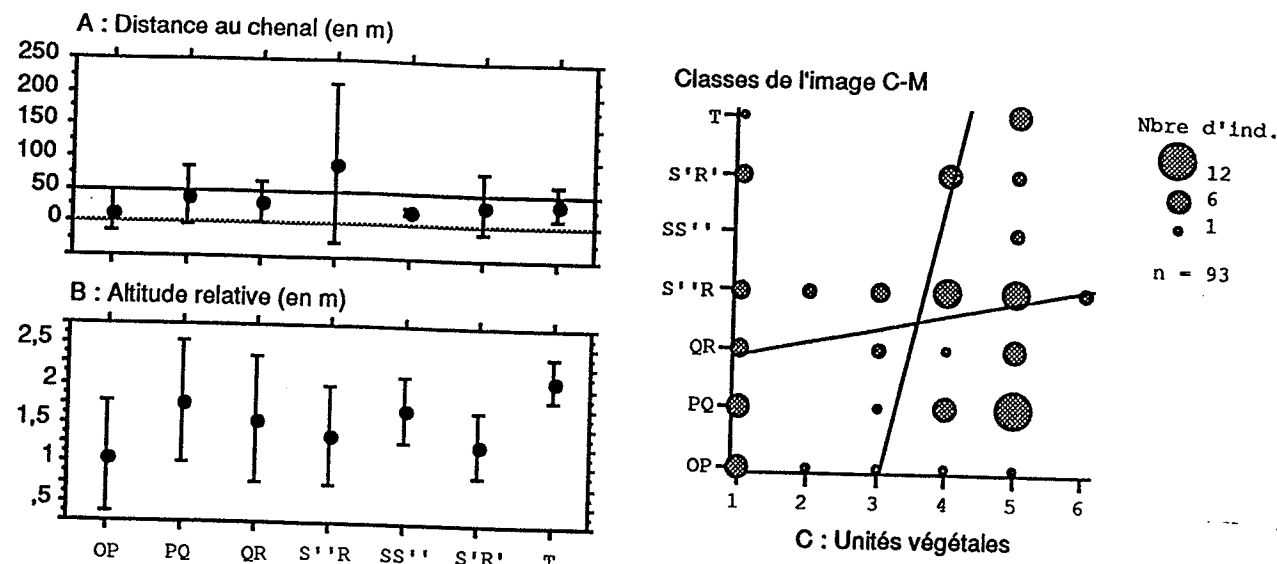


Figure 116 - Répartition des classes de l'image C-M selon la distance au chenal (A), l'altitude relative (B) et les unités végétales (C) (analyses effectuées dans des unités végétales naturelles).

L'ensemble de ces observations permet, sur les rivières de piémont et de plaine intramontagnarde caractérisées par une forte énergie hydraulique, d'affiner l'identification des segments de l'image C-M théorique.

Le segment PO est caractéristique, comme sur les rivières étudiées précédemment, du chenal alors que les segments PQ et QR typiques de la bande active et de ses marges sont également des indicateurs de surfaces forestières sur lesquelles les courants tractifs sont puissants. Ces segments correspondent ainsi à des zones de projection de sédiments, notamment dans les zones de concavité ou à des levées de berges végétalisées.

Le segment SR est typique de la plaine d'inondation dans laquelle la vitesse de l'eau est encore élevée quelle que soit l'unité de végétation, la distance au chenal ou l'altitude relative. La position des "dépôts de la plaine d'inondation éloignée du chenal" sur l'image théorique peut être discutée. Les milieux observés, situés à l'écart des flux de régénération, présentent en effet une sédimentation de type "pélagique" qui s'explique probablement par l'effet filtre de la ripisylve qui retient les sables et réduit donc C, la fraction la plus grossière de l'échantillon (cas du lit majeur boisé de rive gauche de Violès et des marges des parcelles viticoles sur l'Ouvèze). J.C. Roditis (1993), qui a travaillé sur les sédiments situés dans la plaine alluviale du Rhône dans le secteur Beaucaire-Arles, arrive au même résultat. Si la plupart de ses échantillons ont été prélevés dans la bande active, quelques uns concernent cependant les milieux terrestres de l'hydrosystème. Il note ainsi que le lit moyen, colonisé par une peupleraie, est caractérisé par une sédimentation "pélagique". Pour les rivières étudiées, le segment SR, qui correspond à la sédimentation de la plaine d'inondation, peut alors se limiter au seul segment S''R (médianes situées entre 40 et 100 microns). L'étude de J.P. Bravard (1983) sur les sédiments fins des plaines d'inondation du Haut-Rhône met en évidence la présence de sédiments sur le segment S''R mais il n'est pas précisé s'il s'agit de dépôts de plaine d'inondation ou de lône en voie de colmatage dans la mesure où ils ont été associés.

Quant à la section S'R', elle est caractéristique des dépôts des milieux post-pionniers proche de l'axe fluvial, de faible altitude mais de forte inertie (vitesses d'écoulement très lentes).

Une rupture hydrodynamique et donc sédimentaire ne peut donc pas se concevoir entre les marges ripicoles et la bande active. Dans les rivières à dynamique latérale active, H.C. Reineck et I.B. Sing (1980) ont ainsi noté que les vitesses des courants de débordement pouvaient atteindre 40 à 50 cm/s en lit majeur et déposer des sables, voire des graviers.

Aussi, il existe des marges boisées de très haute énergie marquées par la présence de sédiments roulés et de sédiments liés à une suspension graduée. Dans les groupements pionniers, post-pionniers et arborés, les échantillons se distribuent ainsi sur trois segments principaux : PQ, QR et S''R. Cette répartition originale et linéaire des dépôts dans l'image C-M diffère de celles observées sur le haut-Rhône ou l'Arve et s'explique principalement pas le fait que ces marges sont soumises à des vitesses élevées d'écoulement à l'origine d'une granulométrie d'ensemble, c'est-à-dire d'une médiane, plus grossière. La forêt intervient également pour filtrer les sédiments et favoriser la réduction progressive de C, ce qui explique la répartition des échantillons les plus fins, ceux-ci étant peu nombreux dans la classe T, notamment sur les marges du Giffre et de l'Ubaye mais se situant plus à droite, dans la classe S'R'.

Ces phénomènes ne s'observent pas sur tous les hydrosystèmes du continuum. J.C. Roditis note que sur le Bas-Rhône, la suspension graduée n'est pas observée en dehors de la bande active. Néanmoins, les dépôts de berge font exception et ne s'inscrivent pas dans les segments caractéristiques de l'image théorique; leur dynamique de dépôt serait en effet liée à un courant tractif mixte associant des phénomènes de suspension graduée et de suspension uniforme.

### 1.2.3 Unités végétales et variabilité diachronique latérale de la granulométrie

Au delà de l'étude synchronique, une approche diachronique de la granulométrie des sédiments de la plaine de débordement a été effectuée afin de savoir si des tendances reproductibles existent sur les différentes rivières. Compte tenu des résultats acquis précédemment, il est possible de diagnostiquer sur les hydrosystèmes présentant une faible aptitude à migrer latéralement, un amenuisement progressif de la granulométrie au fur et à mesure de l'exhaussement. L'étude conduite par G.C. Nanson (1980) concernant la morphologie et la genèse des bancs de galets et du lit majeur de la rivière Beaton (Canada) a ainsi montré que la granulométrie des sédiments de débordement se réduit de la base au sommet de l'accumulation. Inversement, il est possible de penser, notamment dans les systèmes caractérisés par une mobilité horizontale du chenal, que la granulométrie peut s'accroître vers le sommet de la formation. La combinaison au cours du temps des deux dynamiques que sont le vieillissement et la régénération, est ainsi à l'origine d'une mosaïque granulométrique.

L'étude diachronique a été menée sur trois rivières, le Giffre, l'Ubaye et l'Ouvèze (tab. 42) mais la dernière a davantage été prospectée dans la mesure où la crue de septembre 1992 a induit en raison de sa fréquence exceptionnelle, un dépôt lui-même exceptionnel qui peut être comparé aux dépôts antérieurs. Sur le Giffre et l'Ubaye, l'analyse ne porte que sur quelques stations situées dans des secteurs de plus ou moins faible énergie tels qu'une formation post-pionnière, une aulnaie âgée ou une pinède et le nombre de points pour chacune d'entre elles n'est que de 2 à 3 contre 6 à 8 sur celles de l'Ouvèze.

Comme le montre le tableau 42, aucune tendance simple et ubiquiste ne s'esquisse et la granulométrie peut s'accroître, se réduire, varier, voire rester constante de la base au sommet. L'ensemble de ces observations met en évidence l'équilibre complexe entre l'énergie hydraulique et l'inertie des formations végétales, toutes deux variant dans le temps.

Dans la mesure où le nombre de points est faible, il serait difficile de développer davantage ces résultats. Par contre, l'analyse effectuée sur l'Ouvèze est beaucoup plus riche d'enseignements.

Les images granulométriques diachroniques construites à partir des échantillons prélevés à Violès et à Saint-Michel sur l'Ouvèze (Annexe IV) montrent que la crue "plus que centennale" du 22 septembre 1992 a été filtrée très rapidement dans les zones boisées proches de la bande active.

Sur le site de Violès, la charge récente est très grossière au point 234,3, situé à 6 m en arrière de la ligne de débris. En revanche, elle est semblable, voire plus fine que celles apportées par des crues plus anciennes, aux points 12,7 et 194,7, situés respectivement à 30 et 55 m de la bande active. Aussi, la charge sédimentaire sableuse est stoppée dès les premiers mètres à l'intérieure de la forêt. Le vieillissement de celle-ci, et corrélativement son exhaussement, ont provoqué une réduction progressive de la médiane (points 12,7 et 234,3); cette évolution n'est pas remise en cause par une crue centennale. Inversement, le point 194,7, proche de la lisière, voit sa médiane s'accroître sans cesse. Par conséquent, d'un point de vue sédimentaire, la crue de l'automne 1992 à Violès n'est plus, au-delà de 40 m de forêt, un phénomène exceptionnel.

Ces résultats ont été confirmés par ceux acquis sur le site de Saint-Michel. Les prélèvements effectués sur le point 126,1 (a), situé seulement à une dizaine de mètres de la bande active, montrent que l'amenuisement progressif, observé de la base au sommet de la sédimentation, n'est pas perturbé par la dernière crue. Le point b en revanche présente une image plus complexe puisqu'il a été rajeuni par de violents apports lors d'un épisode antérieur, l'échantillon situé à 40 cm de profondeur étant beaucoup plus grossier que les autres. Par contre, la sédimentation de la crue de septembre 1992 est relativement fine.

Par conséquent, cette marge inondée sous deux mètres d'eau le 22 septembre et située dans une zone de concavité, c'est-à-dire d'énergie extrême, n'a pas été soumise à une régénération granulométrique car elle était protégée en berge par une ligne de débris presque continue.

Tableau 42 - Caractéristiques des stations d'échantillonnage.

| Localisation du transect | Distance sur le transect (en m) | Nombre de points | Tendance granulométrique de la base au sommet |
|--------------------------|---------------------------------|------------------|---|
| Les Millières (Giffre)   | 60                              | 3                | variable                                      |
| Les Millières (Giffre)   | 100                             | 2                | en augmentation                               |
| Enchastrayes (Ubaye)     | 33,6                            | 3                | constante                                     |
| Enchastrayes (Ubaye)     | 119,7                           | 2                | en augmentation                               |
| Enchastrayes (Ubaye)     | 144                             | 2                | en réduction                                  |
| Champanastais (Ubaye)    | 37                              | 3                | constante                                     |
| Champanastais (Ubaye)    | 277,2                           | 2                | en réduction                                  |
| Champanastais (Ubaye)    | 367,7                           | 3                | en augmentation                               |
| Saint-Michel (Ouvèze)    | 126,1 (a)                       | 5                | en réduction                                  |
| Saint-Michel (Ouvèze)    | 149,0 (b)                       | 4                | variable                                      |
| Violès (Ouvèze)          | 12,7 (a)                        | 7                | en réduction                                  |
| Violès (Ouvèze)          | 194,7 (b)                       | 6                | variable                                      |
| Violès (Ouvèze)          | 234,3 (c)                       | 8                | en réduction                                  |

La taille des sédiments dépend donc principalement dans ces secteurs de l'Ouvèze, non pas de l'ampleur de l'événement hydraulique, mais de l'âge de la formation. Celui-ci explique une augmentation des forces d'inertie à la suite du développement des structures biologiques et une réduction de la lame d'eau à la suite de l'exhaussement limoneux.

Une crue exceptionnelle peut en outre détruire une partie de la forêt riveraine et favoriser la formation d'une ligne de débris en arrière de laquelle la granulométrie des dépôts peut également ne pas être exceptionnelle alors que le site présente une inertie modérée et une altitude relative faible.

## 1.2.4 Unités végétales et variabilité latérale de l'épaisseur des sédiments fins de débordement

L'épaisseur des sédiments de débordement a enfin été étudiée sur quatre des cinq rivières : l'Ain, l'Ouvèze, le Giffre et l'Ubaye.

L'épaisseur moyenne des dépôts fins de lit majeur des rivières de piémont se distingue de celle des rivières intra-alpines. Les premières, l'Ain et l'Ouvèze, présentent une épaisseur moyenne de l'ordre de 60 cm et la variabilité d'une station à l'autre est également importante avec des épaisseurs maximales respectives de 2,84 m et 1,5 m. Les secondes, le Giffre et l'Ubaye, disposent de sédiments fins de débordement de faible épaisseur mais ceux-ci sont plus homogènes d'une station à l'autre, la valeur maximale observée sur l'Ubaye n'excédant pas 70 cm.

Au cours de la démarche proposée, nous nous efforcerons de comprendre la variabilité latérale de l'épaisseur des limons (Y). Pour cela, une régression multiple sera effectuée et reposera sur les régresseurs suivants : l'altitude relative (X<sub>1</sub>), la distance au chenal (X<sub>2</sub>), le type d'unité végétale (X<sub>3</sub>) et la surface terrière (X<sub>4</sub>). L'Ain mérite une étude spécifique dans la mesure où deux variables originales sont disponibles : l'âge de la surface végétalisée et une typologie plus précise des unités végétales qui repose sur 18 classes contre 6 pour celle des rivières précédentes. L'estimation de l'âge des surfaces est effectuée à partir de photographies aériennes et la date retenue pour l'analyse correspond à la date moyenne de la période séparant deux prises de vue et dont la durée est de l'ordre de 10 ans.

La variabilité spatiale de l'épaisseur des sédiments de débordement et celle du taux de sédimentation seront étudiées successivement.

### - L'épaisseur des sédiments de débordement, un indicateur temporel

Sur la rivière d'Ain, l'épaisseur des sédiments sablo-limoneux de débordement est en étroite relation avec les unités de végétation (R = 0,385 pour p = 0,0002) et l'âge des surfaces depuis leur recolonisation végétale (R = 0,293 pour p = 0,0051)(fig. 117). Néanmoins, ces deux variables explicatives sont elles-mêmes dépendantes (R = 0,401 pour p = 0,0001) et font finalement état de la même dynamique : l'épaisseur des sédiments de débordement est d'autant plus importante que la surface est anciennement colonisée par la végétation et présente donc un stade de succession écologique avancé. Si ces deux relations ont une bonne significativité, il faut souligner néanmoins une hétérogénéité croissante de ces valeurs des unités récentes aux unités anciennes. Ainsi, les unités antérieures à 1945 peuvent aussi bien présenter une épaisseur nulle qu'une épaisseur de 1 à 1,5 m.

L'analyse conduite rivière par rivière met en évidence, pour un seuil de significativité plus ou moins représentatif, la variable X<sub>1</sub>, l'altitude relative de l'eau (tab. 43) alors que les autres régresseurs sont très largement rejetés. Par ailleurs, l'analyse portant sur les trois rivières met en lumière une autre relation très significative entre l'épaisseur des sédiments de débordement et le type d'unité végétale. Cette épaisseur est ainsi d'autant plus importante que l'unité se situe dans un stade de succession avancé. Comme sur l'Ain, l'écart-type entre les individus s'accroît dans les groupements végétaux évolués (fig. 118). Dans les stades matures, l'épaisseur varie en effet de 0 à près de 1,5 m.

L'altitude relative est une variable très spécifique à chacun des sites. Aussi, une analyse générale, intégrant les valeurs de toutes les rivières d'étude, ne permet pas toujours de mettre en évidence une évolution unique même si par ailleurs l'analyse rivière par rivière montre que cette variable est importante. Inversement, l'analyse

générale met en évidence l'importance de l'unité végétale beaucoup plus que les analyses partielles car elle dispose alors d'une population beaucoup plus large et variée. Les résultats ne sont ainsi pas contradictoires et confirment bien l'importance de deux variables, l'altitude relative et le type de végétation, la première étant beaucoup plus spécifique au site d'étude que la seconde.

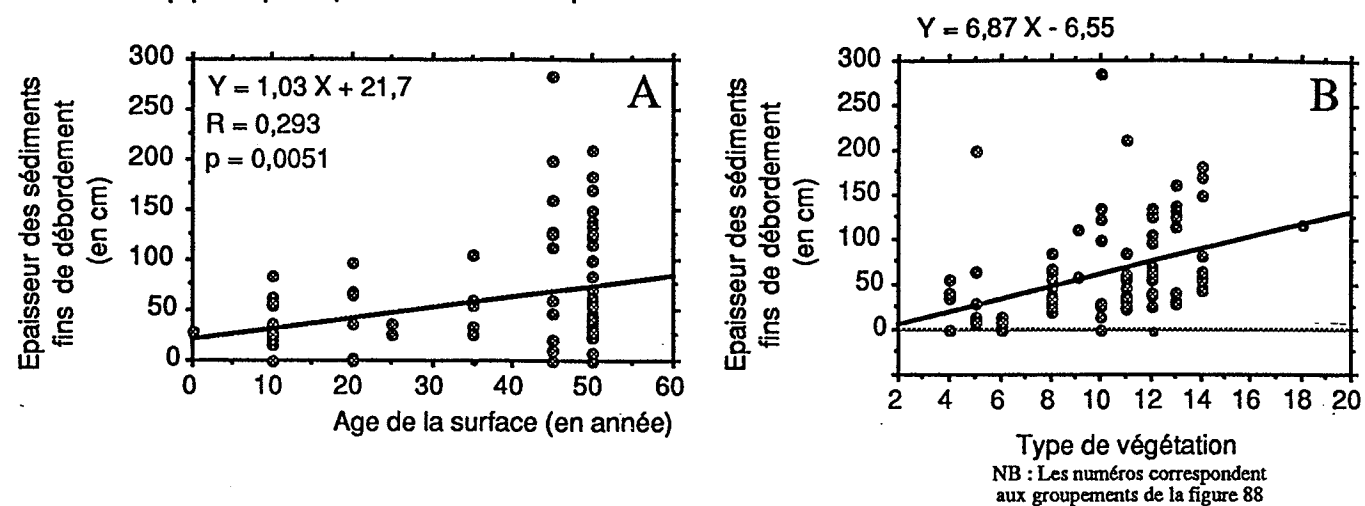


Figure 117 - L'épaisseur des formations sablo-limoneuses de la plaine d'inondation de l'Ain, une variable en relation avec l'âge des surfaces (A) et le type d'unité végétale (B).

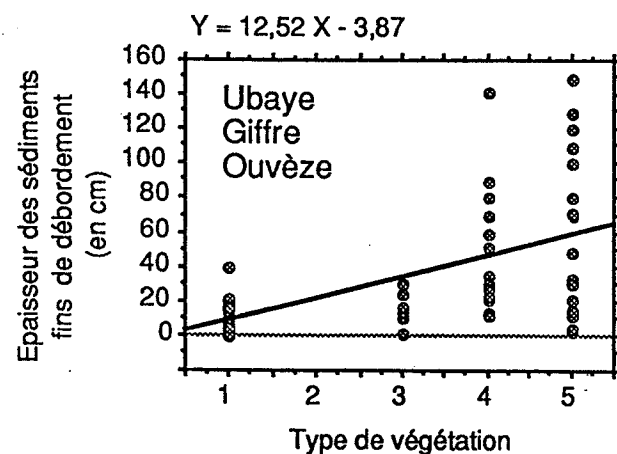


Figure 118 - L'épaisseur des formations sablo-limoneuses de la plaine d'inondation du Giffre, de l'Ouvéze et de l'Ubaye, une variable en relation avec le type d'unité végétale.

Tableau 43 - Résultats de la régression multiple entre Y, l'épaisseur des sédiments de débordement du lit majeur, et 4 régresseurs.

|  | Ouvéze | Giffre | Ubaye  | Ensemble |
|--|--------|--------|--------|----------|
| nombre d'échantillons                          | 19     | 21     | 26     | 66       |
| coefficient de corrélation (r)                 | 0,852  | 0,519  | 0,666  | 0,559    |
| probabilité p du test F                        | 0,0007 | 0,2562 | 0,0121 | 0,0001   |
| p partiel, X <sub>1</sub> (altitude)           | 0,0239 | 0,1935 | 0,031  | 0,1339   |
| p partiel, X <sub>2</sub> (distance)           | 0,0792 | 0,7656 | 0,2222 | 0,6136   |
| p partiel, X <sub>3</sub> (type de végétation) | 0,8911 | 0,3150 | 0,2973 | 0,0052   |
| p partiel, X <sub>4</sub> (surface terrière)   | 0,3605 | 0,2527 | 0,4686 | 0,8410   |

Les résultats acquis sur les différentes rivières permettent d'affirmer que trois variables évoluent en même temps que Y : l'altitude relative, le type de végétation et l'âge de l'unité végétalisée. L'hydrodynamique et le temps interviennent ainsi conjointement dans l'explication de ce phénomène.

Si l'altitude relative et le type de végétation sont des indicateurs indirects du temps, ils interviennent parallèlement sur la dynamique. L'altitude relative augmente avec le temps à la suite de l'exhaussement des sédiments fins lié aux crues répétées. Néanmoins, il est probable que ce mouvement se ralentisse dans la mesure où les crues deviennent alors de moins en moins fréquentes. Les groupements de végétation, classés en fonction de leur position dans la succession, sont également un indicateur indirect du temps. Ils constituent cependant aussi un descripteur de l'inertie et interviennent, dans ce cas, sur l'hydrodynamique. En augmentant la rugosité et en ralentissant les flux débordants, la végétation riveraine favorise le dépôt des sédiments (Li et Shen, 1973, cité par G.P. Malanson, 1993). G.C. Nanson et H.F. Beach (1977) ont montré que les taux de sédimentation sont affectés par les troncs et ils émettent l'hypothèse que les dépôts régressent dans les secteurs ouverts, de moindre inertie vis-à-vis des écoulements débordants.

Dans la mesure où la rugosité hydraulique augmente et où la fréquence des crues se réduit, des unités les plus basses et les moins végétalisées aux unités les plus hautes et les plus avancées dans la succession, l'action du temps sur les changements de la dynamique des flux et des structures est parfaitement mise en lumière et confirmée sur l'Ain où il existe une relation directe entre l'âge de la recolonisation végétale et l'épaisseur des sédiments fins du lit majeur.

Cette tendance n'est cependant pas générale et certaines unités évoluées peuvent avoir une épaisseur de sédiments fins relativement faible. En effet, les transferts de la charge en suspension du chenal principal vers la plaine d'inondation doivent être considérés en terme de diffusion-dispersion. Le principal facteur affectant la distribution de la charge est la vitesse du courant. Or, à travers la plaine, la situation est très complexe car il existe différentes conditions d'écoulement (James, 1985 cité par G.P. Malanson, 1993). Celles-ci varient en fonction de l'espace et du temps dans la mesure où l'axe principal, et par conséquent la zone de haute énergie intraforestière, l'altitude relative et les structures internes des marges boisées sont eux-mêmes variables.

#### - Le taux de sédimentation

Le taux de sédimentation a été étudié sur les sites de l'Ain. La figure 119 montre que la période la plus récente (depuis le début des années 1980) est marquée par une vitesse de sédimentation relativement élevée (3 cm/an), les valeurs maximales atteignant près de 8 cm/an. Les unités colonisées par la végétation avant 1980 présentent en revanche des vitesses plus faibles et assez comparables, de l'ordre de 1.5 cm/an.

Ces informations permettent de retenir deux éléments importants :

- Globalement, les vitesses observées sont élevées pour la période 1950-1990. Les valeurs acquises sur l'Ouvéze sont assez semblables, de l'ordre de 2,5 cm/an sur 20 ans à Saint-Michel. L'épaisseur maximale observée à la suite de la crue de 1992 dans la forêt alluviale de Violès est de l'ordre de 16 cm mais des valeurs bien supérieures ont été reconnues sur les parcelles viticoles. Ces résultats ont été comparés à ceux publiés notamment par M.G. Macklin *et al.* (sous presse). Ces derniers ont étudié l'exhaussement des alluvions fines du lit majeur de la basse vallée de la Tyne dans le nord de l'Angleterre (module de 44m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>). Cette rivière à fond graveleux et à faible dynamique latérale présente un taux de sédimentation estimé à 2,5 cm/an, ce qui est exceptionnel au Royaume-Uni. L'étude porte sur une période de 130 ans et l'exhaussement maximal est observé entre 1920 et 1930. Les vitesses sont alors de l'ordre de 7 cm/an. En revanche, depuis 1950, les vitesses sont moindres, voisines de 0,3 cm/an. Ces mêmes auteurs proposent d'autres résultats et citent



notamment A.G. Brown (1983) qui estime l'épaisseur maximale des dépôts de débordement lors de la crue de 1979 à 10 cm/an sur le bassin de la rivière Stour.

- Les vitesses de sédimentation sur les marges boisées des rivières de piémont sont très élevées au début de la phase de recolonisation par la végétation. En revanche, une fois la végétation établie, le taux de sédimentation est plus modeste et conserve une valeur constante de l'ordre de 1,5 cm/an. Ces résultats peuvent être comparés à l'accrétion verticale observée par G.C. Nanson et H.F. Beach (1977) sur la rivière Beaton au Canada. Ceux-ci notent qu'elle atteint 6-10 cm par an entre 0 et 50 ans contre 0,8 cm au-delà. Ce ralentissement de la vitesse d'exhaussement au cours du temps accompagne en fait l'amenuisement granulométrique que nous avons observé précédemment et s'explique principalement par deux phénomènes. 1. Les formations jeunes, par définition proches de l'axe fluvial, constituent le premier filtre sédimentaire latéral. 2. Ces stades pionniers présentent une plus grande densité de ligneux qui explique qu'ils exercent un peignage plus efficace que les stades plus matures.

La plaine d'inondation et surtout ses marges internes de colonisation récente agissent donc comme un filtre efficace et piègent les sédiments (Malanson, 1993). R.C. Brunet *et al.* (1994) ont étudié le rôle de la zone riveraine dans la rétention des matières en suspension sur l'Adour, une rivière de rang 7 dont le débit moyen annuel est de  $350 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  à Bayonne. Ils ont estimé, lors de deux crues dont la fréquence de retour est de 0,7 an, que la plaine d'inondation retient entre 10 et 20% de la charge en suspension entrant dans le site d'étude. De plus, alors que la zone ripariale est 15 fois plus petite que le lit d'inondation, la charge en suspension retenue est 50 fois plus importante.

Ainsi, il ne faut pas considérer les rivières importantes comme de simples organismes de transport. La zone riveraine est capable de retenir une partie significative de la charge en suspension. Néanmoins, la spirale des sédiments doit être considérée à une échelle de temps beaucoup plus grande que celle des processus écologiques.

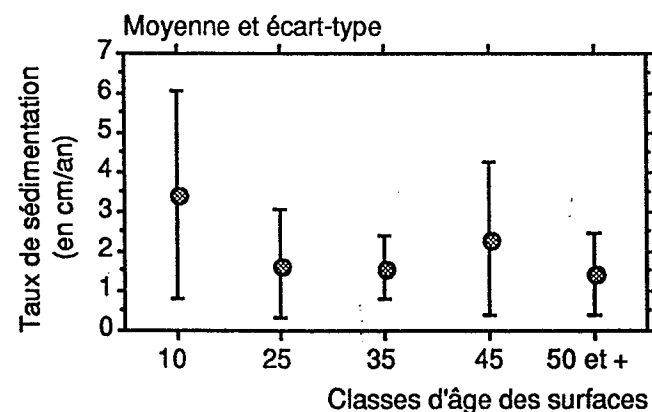


Figure 119 - Taux annuel moyen de sédimentation et âge des unités (le cas des sites de Blyes et de Mollon sur l'Ain)

Cette approche de la sédimentation a permis de retenir deux phénomènes majeurs :

- l'épaisseur des sédiments de débordement est en relation directe avec le temps. L'altitude relative augmente et la végétation se développe ce qui entraîne une réduction de la fréquence des crues et une augmentation de l'inertie hydraulique. Néanmoins, ce phénomène n'est pas général : certaines unités âgées ne présentent qu'une faible épaisseur des sédiments fins. La mobilité horizontale du chenal est donc également à intégrer dans l'explication.

- le taux de sédimentation est relativement fort sur ces rivières et atteint un maximum au cours des premières années de la recolonisation de la surface par la végétation car les unités pionnières sont les plus proches du chenal et les plus aptes, compte tenu de la grande densité de troncs, à piéger les sédiments.

Après avoir étudié l'effet filtre de la végétation riveraine sur les flux de débordement hydriques et minéraux, une analyse de la régénération de la mosaïque est proposée enfin, un indice synthétique étant défini à partir des différentes variables étudiées précédemment et comparé à la diversité végétale.

### 1.3 Typologie biomorphodynamique des unités végétales de la mosaïque fluviale : vers un indicateur de régénération.

L'analyse synchronique abordée précédemment est restée très analytique. L'objectif était de connaître la variabilité spatiale et temporelle de telle ou telle variable hydraulique, sédimentaire ou morphologique à l'intérieur de l'hydrosystème et notamment du compartiment forestier. La démarche proposée dans ce paragraphe se veut plus synthétique. L'objectif sera de déterminer, grâce aux différents indicateurs étudiés précédemment, un gradient hydromorphologique qui rendra compte du rajeunissement des unités et qui sera confronté aux relevés phyto-écologiques et à un indicateur de la biodiversité. Alors que J.P. Bravard *et al.* (1990) ont déterminé un indicateur du dynamisme des tronçons de l'Ain, l'approche proposée ici souhaite mettre en évidence une telle variabilité non plus longitudinalement mais latéralement.

Les questions sont en fait les suivantes :

- Est-il possible de définir un indice de régénération des unités de la mosaïque à partir des variables morphologiques et phyto-écologiques ?
- En outre, la régénération est-elle un facteur augmentant la diversité végétale ?

Les variables sélectionnées pour cette étude ont été collectées sur deux sites de la rivière d'Ain, Blyes et Mollon, soit au total 86 stations réparties sur deux transects. Elles concernent des secteurs fonctionnels bien identifiés : deux pédoncules de méandre actif caractérisés par une migration aval du chenal et un fonctionnement naturel remarquable. Ces milieux présentent une originalité exceptionnelle dans la mesure où la migration aval contribue d'année en année à rapprocher le cœur du pédoncule de l'axe principal d'énergie hydraulique. Les unités végétales, qu'elles soient d'implantation récente ou ancienne, sont ainsi soumises à des épisodes de rajeunissement de plus en plus marqués et qui précèdent leur destruction. Les deux sites sont cependant différents dans la mesure où ils n'ont pas atteint le même stade d'évolution. Le pédoncule de Mollon devrait être bientôt recoupé par débordement et sa vitesse de migration est beaucoup plus rapide, le rapport  $r/l$  (rayon de courbure / largeur du lit) (Hickin, 1974; Malavoi, 1985) étant de 3,11 contre 5,33 à Blyes et son taux de sinuosité supérieur à 1,5. Le second pédoncule présente en revanche une concavité de méandre en cours de formation, plus juvénile et moins marquée, le taux de sinuosité étant légèrement inférieur à 1,5. Par ailleurs, la hauteur de berge moyenne est plus faible sur Mollon d'environ 70 cm ce qui implique une fréquence des flux débordants morphogènes plus élevée (Piégay, 1994).

La démarche sera conduite en trois temps. Nous analyserons tout d'abord les indicateurs biomorphologiques puis les groupes écologiques seront présentés. Dans les deux cas, nous rechercherons des indicateurs permettant de synthétiser cette information initiale. Ces deux démarches seront ensuite confrontées afin de mettre en évidence les indicateurs portant la même information, la question principale étant de savoir s'il est possible de définir un indice de la régénération récente des unités à partir de données biomorphologiques et phyto-écologiques. La question de la biodiversité sera aussi abordée en relation avec ce gradient de régénération.

### 1.3.1 L'analyse biomorphologique

Après avoir présenté les variables et la méthode d'analyse des données, nous exposerons les résultats.

#### 1.3.1.1 Les variables et la méthode d'analyse

Identifier la régénération actuelle est une démarche qui n'est pas aisée car l'indicateur retenu peut associer sans distinction des milieux naissants dans lesquels les processus allochtones sont prépondérants et qui sont donc rajeunis en permanence et des milieux stabilisés, anciens mais en cours de régénération à la suite du déplacement de l'axe principal de l'Ain.

Les sept variables qui ont été sélectionnées ont toutes en commun une certaine aptitude à décrire un gradient géographique de stabilité - instabilité. L'altitude relative à l'eau, l'âge de la surface végétalisée, l'épaisseur des sédiments fins de débordement et le rapport C/N ont une valeur d'autant plus élevée que la station est anciennement stabilisée. Inversement le type de débris ligneux, la médiane des sédiments de surface et l'épaisseur des sables déposés lors de la crue étudiée (automne 1992) sont d'autant plus élevés que le milieu est énergique et donc instable, constamment remanié par les débordements. Les variables utilisées sont d'abord d'ordre morphologique et secondairement biologique ou pédologique. C'est pourquoi, le terme d'"indicateurs biomorphologiques" sera employé pour les nommer afin de les distinguer des indicateurs phyto-écologiques.

La plupart de ces variables sont quantitatives. Seules trois sont qualitatives ordinales et reposent sur un classement. C'est le cas de l'âge de la surface et des types de débris ligneux grossiers dont les modalités ont été précédemment précisées. C'est le cas également de la médiane des sédiments de surface dont le classement repose sur les principaux types de sédiments (tab. 44).

Une Analyse en Composantes Principales centrée normée a été employée afin de résumer cette information initiale (86 stations X 7 variables) à une ou deux variables de synthèse sur lesquelles notre indice de régénération devrait être fondé.

Tableau 44 - Types de sédiments de surface d'après une classification des valeurs médianes (cité par Platts *et al.*, 1983).

| Types de sédiments    | Classes granulométriques<br>(en cm) | Valeur<br>de la modalité |
|-----------------------|-------------------------------------|--------------------------|
| Graviers moyens       | 16 - 8                              | 9                        |
| Graviers fins         | 8 - 4                               | 8                        |
| Graviers très fins    | 4 - 2                               | 7                        |
| Sables très grossiers | 2 - 1                               | 6                        |
| Sables grossiers      | 1 - 0,5                             | 5                        |
| Sables moyens         | 0,5 - 0,25                          | 4                        |
| Sables fins           | 0,25 - 0,125                        | 3                        |
| Sables très fins      | 0,125 - 0,062                       | 2                        |
| Limons grossiers      | 0,062 - 0,031                       | 1                        |

#### 1.3.1.2 Les résultats de l'analyse

Une matrice des corrélations a d'abord été construite afin de déterminer les relations linéaires bivariées existant entre les différentes variables. Il apparaît que celles-ci sont peu nombreuses puisque seule la variable "âge de la surface" est réellement corrélée avec 3 autres variables : l'épaisseur totale des sédiments

fins de lit majeur, le rapport C/N et l'altitude. En revanche, la zone préférentielle de dépôt des sédiments fins est totalement indépendante de l'altitude ou du rapport C/N...

Cette première analyse confirme que l'information est complexe et ne peut se résumer clairement à quelques axes factoriels. Le graphique des valeurs propres indique une forte dispersion de l'information (fig. 120A) puisque l'axe F<sub>1</sub> ne détient que 25% de la part d'information totale contre 18 et 17% pour les axes F<sub>2</sub> et F<sub>3</sub>. Ce phénomène n'est pas seulement lié à la spécificité de l'un des sites dans la mesure où l'ACP qui a été conduite sur chacun d'eux redistribue l'information sur la plupart des axes, F<sub>1</sub> ne totalisant que 28,5% de l'information totale sur Mollon et 33,08% sur Blyes. Si la complexité de l'information concerne les deux sites, ce phénomène est cependant beaucoup plus accusé sur Mollon, l'axe 1 retenant peu d'information et ne se distinguant pas vraiment des autres axes.

La répartition des variables dans le cercle des corrélations permet d'identifier assez bien les deux premiers axes factoriels (fig. 120B).

L'axe F<sub>1</sub> peut être interprété comme l'axe d'ancienneté de la surface caractérisé par l'âge (contribution absolue de 38%), l'épaisseur des sédiments fins de débordement (21%) et dans une moindre mesure l'altitude (13%) et la médiane des sédiments de surface (13%) (tab. 45), cette dernière variable présentant une tendance inverse de celles des précédentes. Si l'axe F<sub>1</sub> ne prend en compte qu'une faible part de l'information, il est néanmoins facilement identifié et se démarque tout de même des autres axes.

L'axe F<sub>2</sub> s'explique principalement par la médiane des sédiments de surface, le type de bois mort et l'épaisseur des sédiments récents mais en revanche, il est indépendant de l'âge de la surface. Il détient une faible part de l'information mais peut être facile à identifier également. Il s'agit de l'axe de la régénération récente, celle-ci se manifestant par des apports importants de sédiments lors des débordements, une granulométrie grossière de ces dépôts et la présence d'embâcles de bois. La valeur de ce facteur est d'autant plus négative que le phénomène est intense.

L'axe F<sub>3</sub> détient presque autant d'information que l'axe F<sub>2</sub> et correspond principalement à deux variables : l'épaisseur des sédiments fins de la crue étudiée et l'épaisseur totale des sédiments fins de lit majeur qui évoluent dans le même sens ce qui peut paraître paradoxal d'un point de vue dynamique; ils s'opposent d'ailleurs sur l'axe F<sub>1</sub>. Aussi, cet axe présente donc des phénomènes originaux et s'explique par quelques individus caractérisés par des apports fins importants lors de la dernière crue alors qu'ils disposent déjà d'une importante épaisseur de fines. Cet axe est trop spécifique (8% des individus expliquent 50% de l'axe) et ne peut donc être pris en compte bien qu'il caractérise lui aussi une certaine régénération des unités anciennes.

Outre, la difficulté rencontrée à résumer cette information, il apparaît que chaque variable a été inégalement prise en compte. Ainsi seulement 20% de la variance du rapport C/N est expliquée dont 16% par le premier axe ce qui est normal puisque C/N augmente avec le temps. C'est en fait l'absence des stades les plus âgés des successions écologiques qui explique la faible importance de cet indicateur. Celui-ci ne présente en effet une certaine valeur que lorsque le taux de matière organique est suffisamment élevé. Dans une moindre mesure, le type de bois mort est aussi assez peu pris en compte (45% de sa variance) mais il constitue néanmoins un facteur clé de l'axe F<sub>2</sub> (31% de sa variance).

La distribution latérale de ces deux variables sur les transects de Blyes et de Mollon (fig. 121) permet d'identifier les différents secteurs et de confirmer l'analyse conduite sur le terrain. Sur le transect de Blyes, le gradient de stabilité F<sub>1</sub> oppose parfaitement bien la partie supérieure du banc de convexité d'implantation plus récente (0 à 200 m), au reste du lit majeur. En revanche, le facteur F<sub>2</sub> présente une répartition plus complexe et la régénération ne se manifeste que ponctuellement au niveau de secteurs plus bas c'est-à-dire d'anciens bras maintenus plus ou moins actifs par les flux débordants. Sur le site de Mollon, les secteurs les plus anciens comme la forêt située à proximité de l'Ain (0-80 m), se distinguent bien sur l'axe F<sub>1</sub>

des secteurs jeunes des anciens bras et de leurs marges (100-200 m, 470-525 m). Le facteur F2 met parfaitement en évidence les stations situées au coeur de la convexité, dans l'axe des flux de débordement. Celles-ci s'opposent aux stations âgées ou jeunes situées dans la convexité et mieux protégées des débordements les plus morphogènes. L'observation des individus sur le plan factoriel F1F2 (fig. 122) met en lumière l'opposition entre les deux sites, celui de Blyes étant caractérisé par un gradient "milieux jeunes et instables à milieux âgés et stables" couramment observé dans le cas de séries climaciques non soumises à des phases de régression. En revanche, la distribution des points sur la station de Mollon est plus originale puisque des milieux âgés mais instables peuvent être observés à côté de milieux jeunes et stables.

Analyser la régénération identifiée sur l'axe F2 ne peut s'entreprendre sans connaître l'âge de la surface c'est-à-dire indépendamment de l'axe F1. C'est pourquoi, un indice de régénération élémentaire a été élaboré à partir du plan factoriel après avoir effectué une discrétisation visuelle reposant sur 4 classes (I : jeunes et instables, II : jeunes et stables...)(fig. 122). Cet indice F1F2 a été représenté sur les profils en travers (fig. 121) ce qui a permis d'identifier les principaux secteurs, Blyes étant caractérisé par deux tendances majeures alors que Mollon présente les quatre tendances possibles, les milieux stables et âgés étant présents sur les deux extrémités du tronçon, l'une se situant d'ailleurs en bordure de l'Ain.

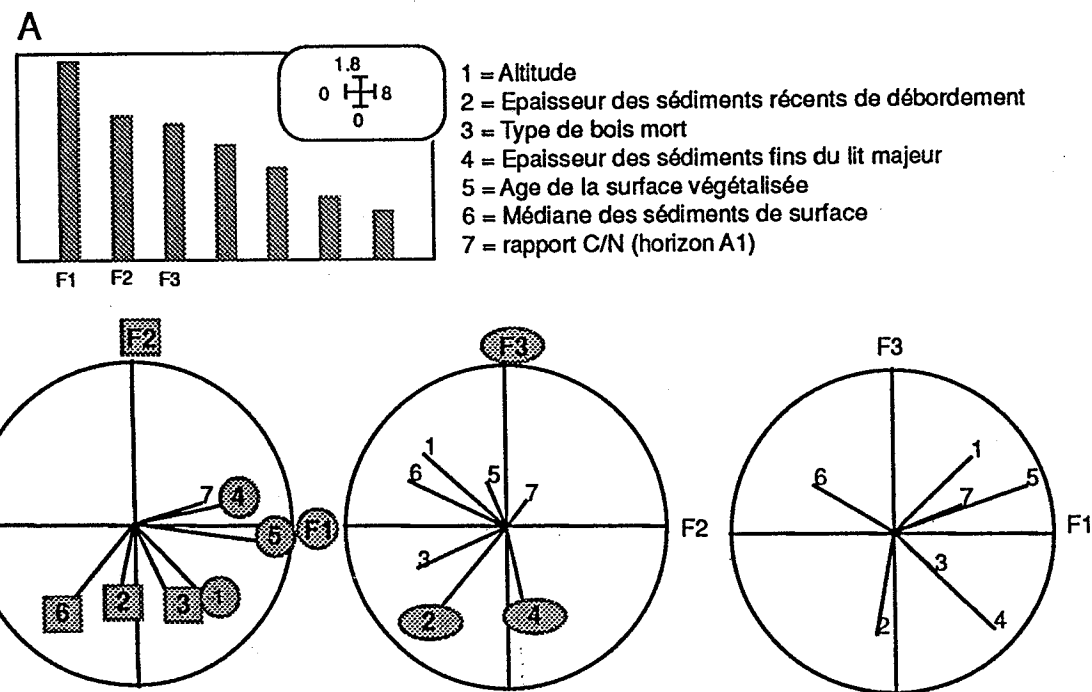


Figure 120 - Histogramme des valeurs propres (A) et cercles des corrélations (B) de l'Analyse en Composantes principales portant sur les facteurs biomorphologiques.

Tableau 45 - Contributions absolues des variables biomorphologiques aux facteurs F1, F2 et F3 (en %).

| Variables  | Facteur 1 | Facteur 2 | Facteur 3 |
|--|-----------|-----------|-----------|
| Altitude   | 13        | 21        | 16        |
| Épaisseur des sédiments de la crue de l'automne 1992 | 1         | 22        | 35        |
| Type de bois mort                                    | 3         | 25        | 5         |
| Épaisseur totale des sédiments fins du lit majeur    | 1         | 30        | 21        |
| Age de la surface végétalisée                        | 38        | 2         | 6         |
| Médiane des sédiments de surface                     | 14        | 29        | 6         |
| Rapport C/N  | 10        | 1         | 1         |
| Total  | 100       | 100       | 100       |

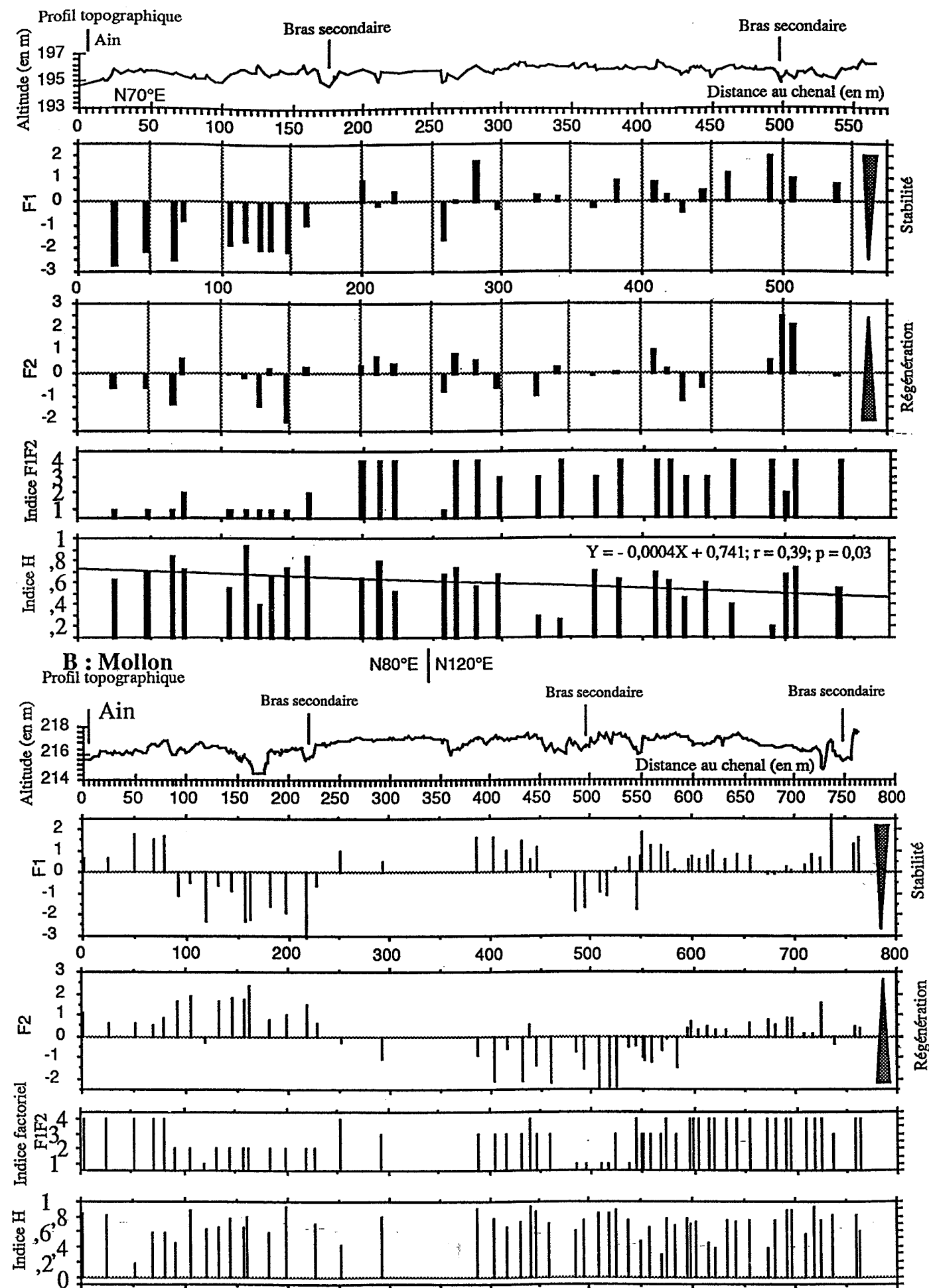


Figure 121 - Distribution latérale de la valeur des facteurs biomorphologiques F1 et F2 et des indices H et F1F2 sur les transects de Blyes (A) et de Mollon (B).

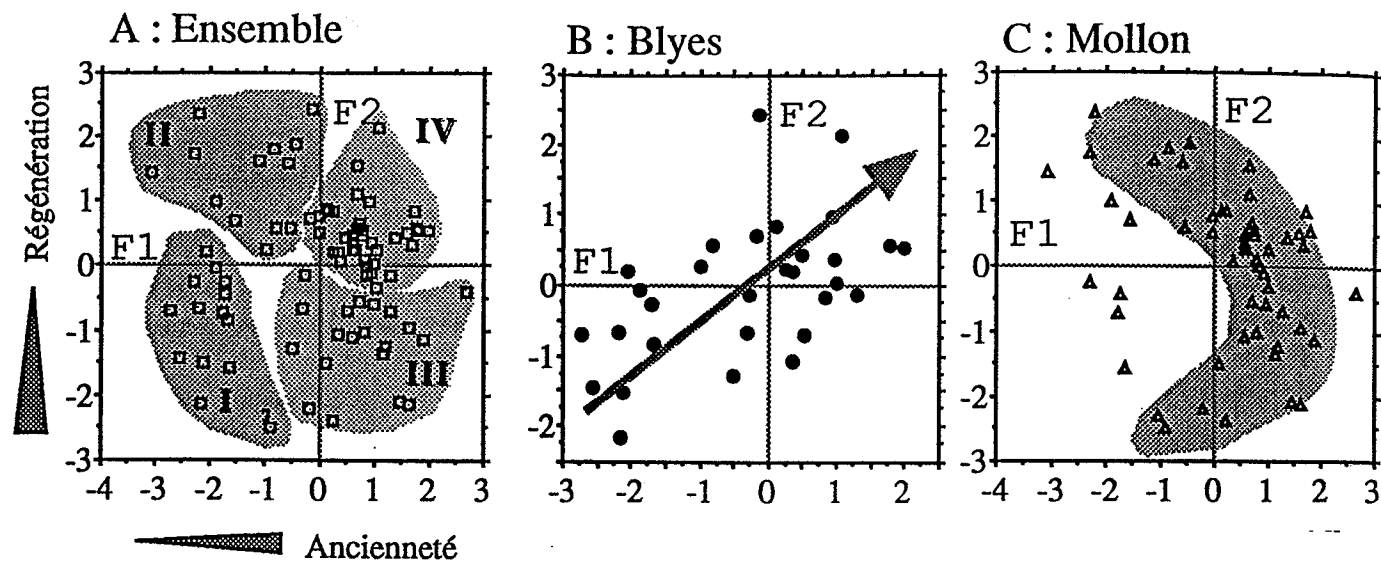


Figure 122 - Plan factoriel F<sub>1</sub>-F<sub>2</sub> de l'Analyse en Composantes Principales concernant les variables biomorphologiques de l'ensemble des sites (A), de Blyes (B) et de Mollon (C).

### 1.3.2 L'analyse phytosociologique

#### 1.3.2.1 Les variables et la méthode

La démarche phyto-sociologique repose sur un recensement des espèces effectué par J. Girel et G. Pautou sur les 86 stations de l'Ain. Ces espèces ont été regroupées par G. Pautou en 16 groupes caractérisés par des besoins écologiques spécifiques et des caractères biologiques fondamentaux (Annexe III). Les espèces ligneuses se distribuent dans les groupes 1 à 6 alors que les herbacées se trouvent dans les groupes 7 à 16 à l'exception du groupe 8, dans lequel sont recensées les lianes. Globalement le système est jeune et les groupements présentent une faible hétérogénéité. L'ensemble du cortège de la forêt de bois dur est peu représenté puisque les groupes 4, 11 et 12 sont peu présents. Malgré tout, pour des unités qui ont le plus souvent moins de 40 ans, la gamme de combinaison floristique est large.

Une même station peut abriter plusieurs groupes écologiques, l'importance de chacun d'eux étant déterminé par le nombre d'espèces représentées et par les surfaces occupées. Chacune des stations dispose en moyenne de 6 groupes et de 12,7 espèces avec un maximum qui peut atteindre 11 groupes et 28 espèces. Il n'existe pas de distinction majeure entre les deux stations, Mollon présentant néanmoins une espèce de plus en moyenne par station.

Une Analyse en Composantes Principales centrée a été conduite à partir de ces 16 groupes écologiques afin de résumer l'information initiale et de définir les principales tendances enregistrées. Celles-ci pourront ensuite être confrontées aux facteurs biomorphologiques.

#### 1.3.2.2 Les résultats de l'ACP

Le tableau initial composé de 86 individus et de 16 variables a été résumé à l'aide d'une ACP centrée, les données étant quantitatives et de même unité. Le diagramme des valeurs propres confirme que le découpage de G. Pautou repose sur un gradient puisque l'axe F<sub>1</sub> présente un bon résumé (37% de

l'information totale) et se détache largement des facteurs F<sub>2</sub> et F<sub>3</sub> qui détiennent seulement respectivement 19 et 12% de l'information totale (fig.123A).

Néanmoins, ce gradient ne correspond pas à un degré de stabilité de la surface et oppose les groupes 3 et 11 aux groupes 15 et 16. En fait, il repose principalement sur un groupe, le 3, "espèces ligneuses des paliers d'altitude moyenne, inondés périodiquement" (68,5% de la contribution absolue) et secondairement sur les groupes 16, "espèces herbacées des pelouses sèches" (13% de la contribution absolue), 11, "herbacées liées à la forêt de bois durs" (7% de la contribution absolue) et 15, "herbacées des pelouses mésophiles" (5% de la contribution absolue). Inversement, les groupes intermédiaires (5 à 9) sont faiblement représentés (fig.123B).

G. Pautou (1984) a déjà mis en évidence un tel gradient qui repose essentiellement sur la granulométrie de surface, les groupes 3 et 11 mais également 4 et 12 se développant sur des niveaux sableux fins alors que les groupes 15 et 16 préfèrent les milieux présentant une granulométrie plus grossière. D'ailleurs, la relation linéaire entre le facteur F<sub>1</sub> et la médiane des sédiments de surface est bonne ( $r = 0,4$ ;  $p = 0,0001$ ) (fig. 124A). En outre, le facteur F<sub>1</sub> est également dépendant de l'altitude relative de la surface ce qui montre qu'il est un indicateur partiel d'un certain degré d'ancienneté de la surface.

Néanmoins, il convient de nuancer l'importance de ce premier axe qui prend surtout en compte la distribution de la variable la mieux représentée, le groupe 3, celui-ci étant présent sur 83% des stations et comportant 27% des individus recensés.

L'axe F<sub>2</sub> s'explique principalement par le groupe 16 dont la contribution absolue atteint 71% et secondairement par le groupe 3 (19%). Alors que ces deux facteurs s'opposaient sur l'axe F<sub>1</sub>, ils suivent ici la même tendance. Cet axe n'a pas été retenu car il ne repose que sur trois individus très spécifiques, M<sub>50</sub>, M<sub>51</sub> et B<sub>19</sub>, ce dernier contribuant par exemple à plus de 50% de la valeur de cet axe.

L'axe F<sub>3</sub> enfin s'explique principalement par trois groupes herbacés, le 13 (55% de la contribution absolue), le 11 (18%) et le 15 (15,1%). Il peut se définir comme un gradient de la diversité, puisqu'il est d'autant plus élevé que le nombre d'espèces ou de groupes est lui-même important. Il existe ainsi une étroite relation linéaire entre ce facteur et le nombre de groupes écologiques ( $r = 0,658$ ;  $p = 0,0001$ ) ou le nombre d'espèces ( $r = 0,735$ ;  $p = 0,0001$ ) (fig.124B).

Enfin, l'analyse des contributions relatives montre que 93% de la variance des groupes 3 et 16 est expliquée par les trois premiers axes factoriels contre moins de 10% pour celle des groupes 5 à 9.

Si l'analyse phyto-sociologique proposée a permis de résumer l'information sur un gradient granulométrique, elle ne met cependant pas en lumière les gradients de régénération récente ou d'ancienneté de la surface. Malgré tout, cet indice sera confronté aux indices biomorphologiques définis précédemment.

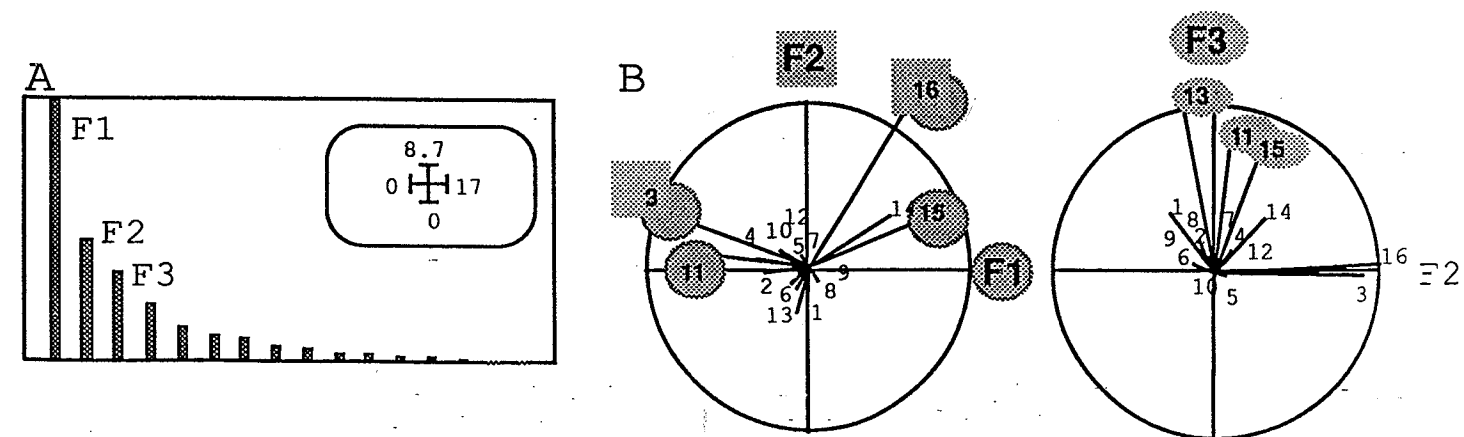
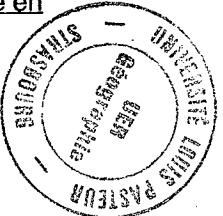


Figure 123 - Histogramme des valeurs propres (A) et cercles des corrélations (B) de l'Analyse en Composantes principales portant sur les facteurs phyto-écologiques.

no 22905



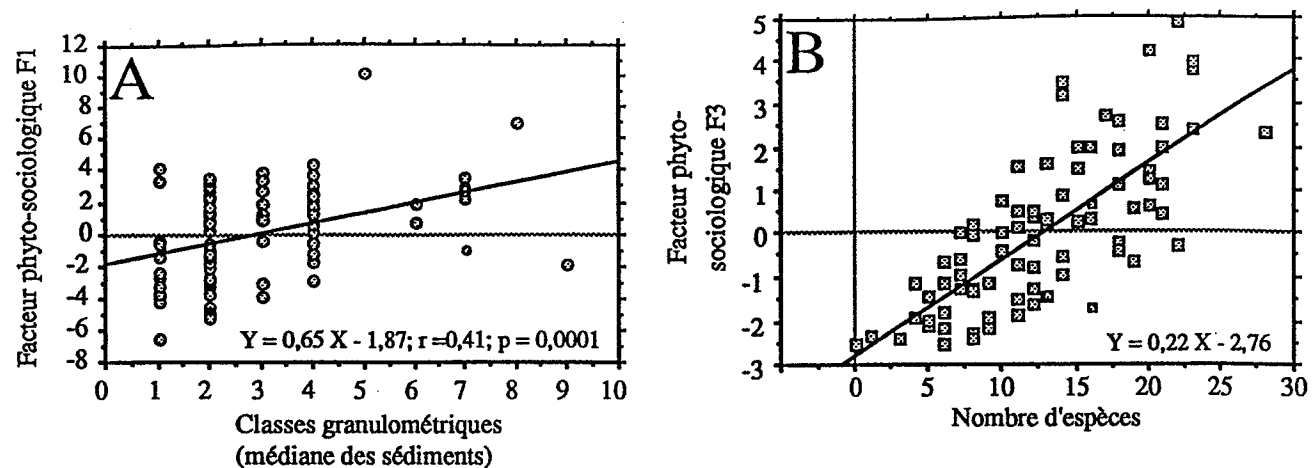


Figure 124 - Relations linéaires entre le facteur phyto-sociologique F<sub>1</sub> et la médiane des sédiments de surface (A) et entre le facteur phyto-sociologique F<sub>3</sub> et le nombre d'espèces présentes dans chacune des stations (B).

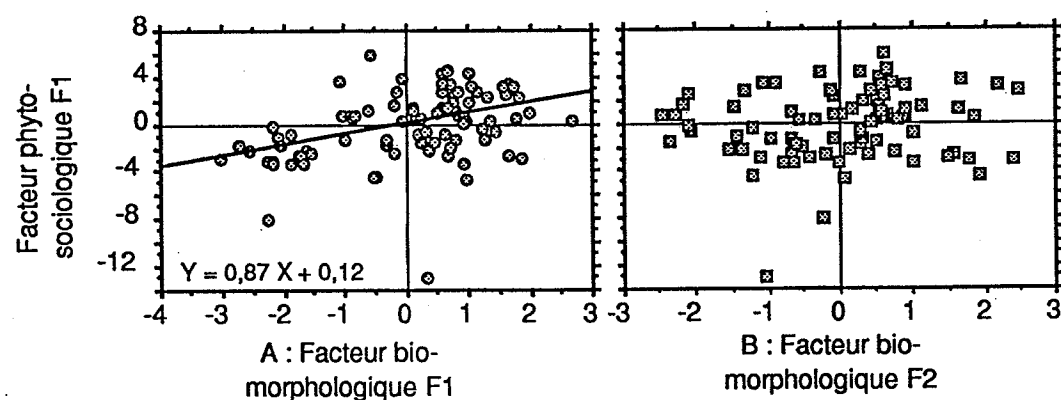


Figure 125 - Relation linéaire entre le facteur phyto-sociologique F<sub>1</sub> et les facteurs biomorphologique F<sub>1</sub> (A) et F<sub>2</sub> (B).

### 1.3.3 Relations entre les indicateurs biomorphologiques et phytosociologiques et analyse causale de la diversité végétale

Avant d'aborder la relation entre la régénération et la diversité, les indicateurs biomorphologiques et phyto-sociologiques seront confrontés afin d'identifier leurs liens de causalité.

#### 1.3.3.1 Relations entre les indicateurs biomorphologiques et phyto-sociologiques

La relation entre le facteur phyto-sociologique F<sub>1</sub> et les indicateurs biomorphologiques F<sub>1</sub> et F<sub>2</sub> a d'abord été étudiée. Il apparaît que les deux facteurs F<sub>1</sub> présentent une bonne relation linéaire ( $r = 0,394$ ;  $p = 0,0002$  et  $n = 86$ ). En revanche, Une indépendance statistique existe entre le facteur biomorphologique F<sub>2</sub> et le facteur phyto-sociologique F<sub>1</sub> (fig.125). Ainsi, ce dernier correspond bien à un certain gradient de stabilité des unités mais ne décrit en aucun cas la régénération actuelle liée à la migration du méandre.

Afin d'affiner ces premiers résultats, la relation entre ce facteur et l'indicateur F<sub>1</sub>F<sub>2</sub> a été étudiée. Comme ce dernier repose sur des variables qualitatives (quatre modalités), un test d'indépendance du  $\chi^2$  est effectué après une discrétisation des variables du facteur phyto-sociologique F<sub>1</sub> en 4 classes d'égale population. Ainsi, il apparaît qu'il existe une certaine dépendance entre ces deux variables puisque  $\chi^2$  atteint 26,135 pour un  $\chi^2$  lu de 16,92 ( $\alpha = 0,05$  et  $ddl = 9$ ) avec un coefficient de contingence de 48,3 (tab. 46).

Le test montre que les valeurs de F<sub>1</sub> se distribuent assez logiquement en fonction du type de milieu. Les stations stables et âgées correspondent toujours au quatrième quartile de F<sub>1</sub> alors qu'inversement les milieux stables et jeunes correspondent à Q<sub>2</sub>. Par ailleurs, Q<sub>1</sub> et Q<sub>3</sub> caractérisent les milieux instables. Ainsi, compte tenu de cette relation, il semble possible d'identifier les stations en cours de régénération à partir des seules valeurs du facteur phyto-sociologique F<sub>1</sub>. Néanmoins, cette démarche est imprécise car :

- elle ne définit pas l'intensité du phénomène de régénération mais seulement son existence,
- des confusions sont possibles, puisqu'il existe une certaine attractivité par exemple entre Q<sub>1</sub> et les stations jeunes, quel que soit leur degré de stabilité.

Tableau 46 - Contribution des cases a posteriori (test de contingence associant le facteur phyto-écologique F<sub>1</sub> discrétisé et l'indice biomorphologique F<sub>1</sub>F<sub>2</sub>).

| Quartiles de F <sub>1</sub>                             | station         | station           | station          | station        |
|---|-----------------|-------------------|------------------|----------------|
|   | jeune et stable | jeune et instable | âgée et instable | âgée et stable |
| < D <sub>25</sub> (Q <sub>1</sub> )                     | 0,22            | <b>3,11</b>       | -0,99            | -1,70          |
| D <sub>25</sub> < x < D <sub>50</sub> (Q <sub>2</sub> ) | <b>1,27</b>     | -1,06             | -1,11            | 0,66           |
| D <sub>50</sub> < x < D <sub>75</sub> (Q <sub>3</sub> ) | -0,39           | 0,40              | <b>2,64</b>      | -2,21          |
| > D <sub>75</sub> (Q <sub>4</sub> )                     | -1,11           | -2,40             | -0,51            | <b>3,19</b>    |

C'est pourquoi une deuxième approche a été proposée afin de mettre en relation l'indice biomorphologique de régénération (F<sub>2</sub>) avec les différents groupes écologiques. Ainsi, la question est de savoir s'il est possible de déterminer la régénération à partir du seul recensement phyto-écologique. La régression multiple, utilisée lors de cette démarche, montre que le facteur biomorphologique F<sub>2</sub> dépend essentiellement de l'importance relative de 4 groupes écologiques ( $r = 0,51$ ;  $p = 0,0001$ ). L'équation suivante permet ainsi de déduire l'indice de régénération d'une station donnée à partir du nombre d'espèces présentes dans différents groupes écologiques :

$$Y_{F2} = -0,231 - 0,354 X_6 + 0,348 X_{11} - 0,201 X_{13} + 0,169 X_{15}$$

La régénération est d'autant plus forte que les espèces des groupes 6 et 13 sont nombreuses par opposition aux groupes 11 et 15. Ainsi, le rajeunissement est un phénomène principalement mis en évidence par la présence des nitratophiles qu'ils soient herbacés ou ligneux. Inversement, les groupes herbacés mésophiles et ceux de la forêt de bois durs sont absents de telles unités.

#### 1.3.3.2. Biodiversité et régénération

La biodiversité est considérée par les gestionnaires comme un indicateur de la qualité du milieu. Par conséquent, comprendre les facteurs qui la modifient à court et moyen terme est une démarche

intéressante dont les résultats peuvent servir à terme lors de la conception de projets de restauration. Cet axe a déjà été proecté par différents auteurs. G. Pautou et J. Wuillot (1989) ont notamment expliqué la haute diversité spatiale des forêts alluviales dans les îles du Haut-Rhône par la situation géographique de ce milieu à l'interface entre plusieurs domaines floristiques, la présence de la montagne et la faible pente de la plaine.

La démarche sera conduite ici à une plus grande échelle et la question sera donc de savoir si la régénération actuelle contribue efficacement ou non à modifier latéralement la mosaïque végétale; en d'autres termes, est-elle un facteur de biodiversité?

La variable retenue pour mettre en lumière la diversité végétale des stations est un indicateur très utilisé en écologie : l'entropie H de Shannon (Legendre et Legendre, 1979; Cancela da Fonseca, 1993). Il s'agit d'une mesure de diversité spécifique en relation avec le vecteur des fréquences relatives (probabilités)  $p_i$  des différents individus  $i$  de l'échantillon :

$$H = -\sum_{i=1}^n p_i \log p_i \text{ où } p_i \text{ est le nombre d'espèces de chaque groupe écologique d'une station.}$$

Le calcul du coefficient de diversité de Shannon repose ainsi sur un nombre de groupes écologiques et le pourcentage d'espèces de chacun des groupes. Plus la structure de dominance est forte, moins l'échantillon est diversifié.

L'indice H est globalement élevé, la médiane et la moyenne atteignant respectivement 0,7 et 0,65 avec un maximum de 0,94. Néanmoins Mollon apparaît globalement plus diversifié que Blyes, leur médiane respective étant de 0,74 et 0,66 et l'intervalle interquartile de 0,24 et 0,16.

Une indépendance statistique a été constatée entre H et chacune des variables biomorphologiques, ainsi qu'entre H et les indices de synthèse biomorphologique ou phyto-écologique. Seule une relation étroite est évidemment observée entre H, l'indice de diversité et le facteur phyto-sociologique F<sub>3</sub> (fig.126 A). Si cette remarque est confirmée sur le seul site de Mollon, à Blyes en revanche, les résultats sont plus originaux puisque plusieurs relations linéaires ont été observées, H étant d'autant plus élevé que le facteur biomorphologique F<sub>1</sub>, qui indique un gradient de stabilité ( $r = 0,40$ ;  $p = 0,0001$ ), ou que l'altitude relative de la surface ( $r = 0,39$ ;  $p = 0,03$ ) (fig. 126 B et C) disposent de faibles valeurs.

Il apparaît ainsi qu'il existe un gradient très simple de diversité sur le site de Blyes. La station est d'autant plus diversifiée qu'elle est instable. Ainsi H passe-t-il d'une valeur de 0,8 sur les niveaux les plus bas et les plus instables à 0,50-0,55 sur les niveaux les plus hauts et les plus stables. La forte biodiversité des milieux soumis à des remaniements fréquents a déjà été soulignée par certains auteurs (Malanson, 1993) qui l'expliquent par le fait que ces mécanismes sont favorables au maintien d'une mosaïque de biotopes.

Sur le site de Mollon, la situation est plus complexe. La valeur de la moyenne de l'indice H a ainsi été calculée dans chacune des classes déterminées sur le plan factoriel F<sub>1</sub>F<sub>2</sub> (tab. 47). Les stations anciennes présentent une diversité relativement forte, plus élevée d'ailleurs que sur les stations jeunes et instables. Ainsi, la question est de savoir pourquoi ce site présente une telle diversité quels que soient les types de groupements. Outre la diversité des stades les plus jeunes encore observés ici, celle des niveaux les plus âgés correspond sans doute à deux phénomènes :

- Le premier est lié à l'apparition des espèces de la forêt de bois durs. Sur le site de Mollon, le groupe 12, "herbacées des forêt de bois durs liées aux paliers les plus hauts dans des forêts stabilisées depuis plusieurs décennies" est présent sur 26% des stations alors que sur Blyes, une seule espèce est recensée sur la station B29, soit une fréquence stationnelle de 3%.

- La régénération des unités âgées intervient également. Le rajeunissement de leur surface par une érosion aréolaire et des apports sédimentaires riches en éléments nutritifs ainsi que l'alternance de zones ouvertes et de zones fermées, permettent le développement d'espèces nitratophiles ainsi que d'autres groupes écologiques (mésoxérophiles).

Cette interprétation permet de comprendre pourquoi le site de Mollon est plus diversifié que celui de Blyes. Il est en effet soumis à plusieurs dynamiques spatio-temporelles qui se déroulent de manière synchrone :

- une dynamique de vieillissement qui a atteint un seuil important, celui de l'apparition des espèces de bois durs,
- une dynamique de régénération des unités anciennes de concavité qui se manifeste par la coexistence spatiale d'espèces dont les besoins écologiques sont très différents,
- une dynamique de construction favorisant l'apparition de nouvelles unités jeunes et donc diversifiées.

Ainsi, la réponse de la diversité à l'ancienneté de la surface correspond non pas à un gradient mais à une évolution cyclique caractérisée par des phases paroxysmiques ou "écotones temporels" d'après l'expression de R.J. Naiman et H. Décamps (1990) comme les stades marquant la transition entre les unités abiotiques et la forêt de bois tendres ou entre la forêt de bois tendres et la forêt de bois durs, et des phases de moindre diversité. Cette dynamique cyclique est modifiée sur les cours d'eau forestiers à dynamique latérale active par des phases de régénération à l'origine d'une diversité supplémentaire. La coexistence de ces deux phénomènes temporels, l'un agissant à long terme, l'autre à plus court terme expliquent l'extrême diversité des unités végétales de la mosaïque de Mollon.

Tableau 47 - Valeur moyenne de l'indice H selon la classe déterminée sur le plan factoriel F<sub>1</sub>F<sub>2</sub>.

| Classes F <sub>1</sub> F <sub>2</sub> | 1     | 2     | 3     | 4     |
|---------------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| Ensemble des deux sites               | 0.708 | 0.665 | 0.631 | 0.624 |
| Blyes                                 | 0.687 | 0.750 | 0.550 | 0.570 |
| Mollon                                | 0.740 | 0.640 | 0.660 | 0.650 |

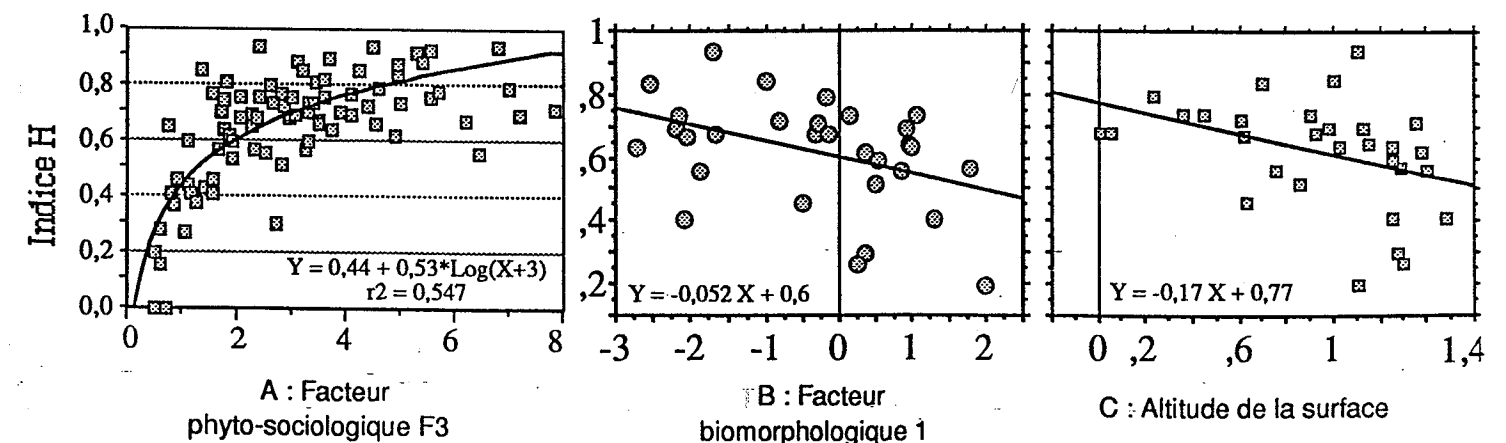


Figure 126 - Relation entre l'indice de Shannon et le facteur phyto-sociologique F<sub>3</sub> (A) (Sites de Mollon et de Blyes), le facteur biomorphologique F<sub>1</sub> (B) ou l'altitude de la surface (C) (site de Blyes).

## Conclusion

Après avoir analysé de manière analytique chacune des variables biomorphologiques, ce dernier chapitre a permis de mettre en évidence une géographie de la régénération. Celle-ci a été déterminée à partir de sept indicateurs biomorphologiques et des groupes phyto-écologiques définis par G. Pautou.

Un indice de rajeunissement a été élaboré et repose sur un double gradient : l'ancienneté de la surface et l'intensité de la régénération actuelle. Cette combinaison permet de distinguer les unités récentes qui présentent le plus souvent une forte énergie et les unités anciennes soumises à régénération. Par ailleurs, il est apparu que de jeunes unités pouvaient avoir une moindre énergie car elles étaient situées au coeur du pédoncule de méandre et donc soumises à des flux filtrés et peu morphogènes.

La confrontation des données biomorphologiques et phyto-sociologiques a en outre montré que :

- les groupes écologiques se distribuaient d'abord en fonction de la granulométrie de surface,
- les milieux en cours de régénération étaient d'abord caractérisés par la présence d'espèces nitratophiles caractéristiques des communautés rudérales.

Les milieux anciens en cours de rajeunissement sont enfin des milieux diversifiés dans la mesure où coexistent des espèces aux besoins écologiques différents, certaines étant d'implantation ancienne et typiques du stade de la succession alors que d'autres, d'implantation récente, se sont développées à la suite des nouvelles conditions morphodynamiques.

Néanmoins, la diversité maximale est principalement observée dans les milieux post-pionniers et les milieux plus anciens marqués par la transition de la forêt de bois tendres à la forêt de bois durs.

## 2. Variabilité spatiale de la morphodynamique des unités végétales d'un pédoncule de méandre.

Alors que la démarche précédente était centrée sur la comparaison de plusieurs rivières et sur une dimension strictement latérale, ce chapitre se propose d'analyser la dynamique morphosédimentaire dans le cadre d'un espace fonctionnel et d'intégrer les deux dimensions du plan. Deux échelles ont été définies afin de mieux comprendre les processus de régénération :

- celle du pédoncule de méandre, un secteur fonctionnel bien identifié,
- celle du chenal de débordement considéré comme une unité fonctionnelle.

Les méthodes et les résultats acquis aux deux échelles seront exposés successivement.

### 2.1 La démarche méthodologique à l'échelle d'un secteur fonctionnel

Les unités végétales déterminées lors du premier niveau d'échantillonnage ont d'abord été distinguées dans un secteur strictement défini, Mollon, un pédoncule de méandre de la rivière d'Ain. Cette démarche a l'intérêt de prendre en compte l'ensemble d'un secteur fonctionnel, d'étudier les relations entre les différentes unités de la mosaïque et de mettre en évidence différents gradients de régénération existant latéralement et longitudinalement à l'intérieur du secteur. En revanche, elle a l'inconvénient d'être longue à mettre en oeuvre.

136 unités de la mosaïque ont été définies au préalable sur le site selon la physionomie de la végétation, celle-ci étant précisée par des critères écologiques ou taxinomiques. L'objectif est de montrer non seulement la très grande complexité du secteur qui fait que chaque unité est presque unique, mais encore la logique de l'espace qui régit cette répartition. Les 136 unités de base ont été numérisées manuellement sur le logiciel de cartographie automatique "carto-2D".

68 parcelles d'observation (fig. 127) ont ensuite été créées afin d'effectuer un relevé des indicateurs le plus exhaustif et le plus normalisé possible. Pour être échantillonnées, les communautés doivent cependant être homogènes et occuper une aire trois fois plus grande que la parcelle d'échantillonnage. La localisation de cette dernière dans une communauté est importante car elle doit en décrire la tendance centrale. L'extension géographique minimale mais représentative d'un point varie ainsi selon la communauté de 50 m<sup>2</sup> (5x10) pour une unité herbacée ou arbustive à 375, voire 500 m<sup>2</sup>, pour une unité arborée. La parcelle est généralement rectangulaire afin de répondre à la répartition linéaire des communautés ripuaires.

Une cartographie analytique est possible pour chacune des variables et une cartographie de synthèse permet encore de représenter simultanément plusieurs paramètres ou une donnée de synthèse statistique qui est l'expression de plusieurs critères. La cartographie est finalement un outil essentiel puisqu'elle est une expression immédiate et réfléchie de l'espace et permet de confirmer ou d'infirmer les observations effectuées sur le terrain.

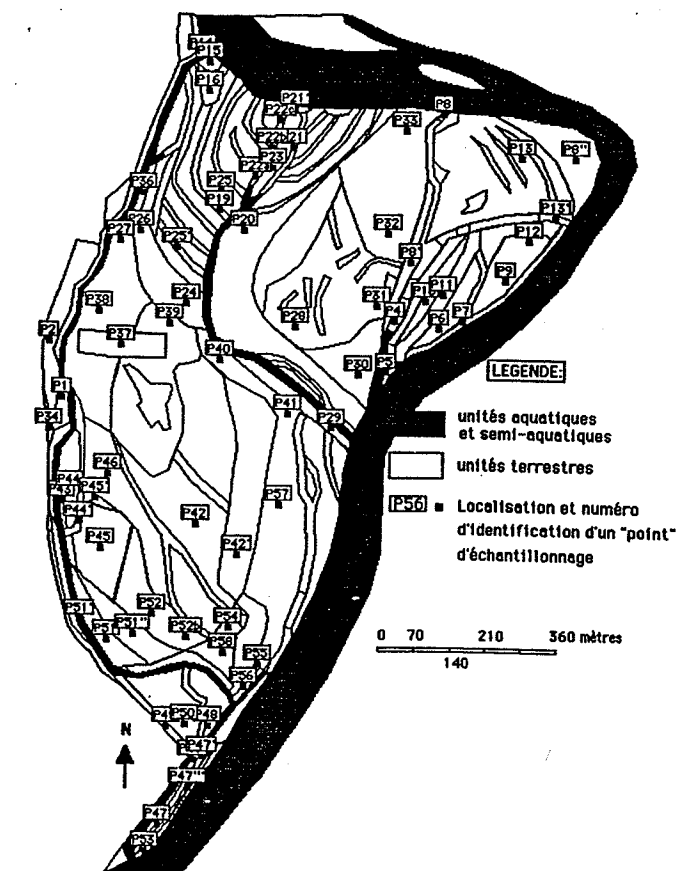


Figure 127 - Unités fonctionnelles et points d'échantillonnage dans le pédoncule de Mollon, basse vallée de l'Ain.

Plusieurs problèmes se sont aussi posés, certains étant liés aux limites de l'outil. Le logiciel de cartomatique ne peut pas, par exemple, intégrer au sein de formes proportionnelles, des trames d'intensité variable. En outre, la cartographie de variables qualitatives a été longue et difficile à mettre en oeuvre. D'autres problèmes ont également été liés au choix de représentation. Les parcelles d'analyse doivent-elles être cartographiées comme des points ou comme des surfaces et faut-il considérer alors qu'elles correspondent à toute la

superficie du groupement? Ceci est le cas des variables qui ont servi à ébaucher la mosaïque. En revanche des indicateurs plus sujets à la variabilité spatio-temporelle de l'hydrodynamique et relevés sur plusieurs points de prélèvement au sein d'une même unité taxinomique, ne présentent pas toujours la même valeur selon leur localisation. Leur représentation est donc ponctuelle ce qui rend possible l'observation de la dynamique au sein même des unités.

La carte est un outil d'analyse d'une grande flexibilité et très expressif mais la démarche est lourde et laborieuse. Aussi, cette méthode-test n'a été retenue que sur le seul site de Mollon.

## 2.2 Les paramètres retenus lors de la collecte

Au sein de chaque parcelle d'échantillonnage, des indicateurs qualitatifs et quantitatifs ont été relevés afin de comprendre les caractéristiques dynamiques de chaque unité de la mosaïque. Ces variables sont d'ordre morphologique, sédimentologique et pédologique, l'étude du bois mort étant conduite dans un second temps.

Elles ont été choisies car elles décrivent le vieillissement et la régénération du milieu sur lequel se développe les groupements. La question est de savoir si tel ou tel indicateur permet de mieux comprendre les interactions entre l'hydrodynamique et la forêt alluviale.

### - Les variables morphologiques

La dynamique des géoformes s'exprime surtout à travers l'étude des modifications affectant la surface des groupements. Les indicateurs retenus (tab. 48), le remaniement de la litière, l'accumulation de sables récents et l'arrachage de la couverture herbacée (ou "scalping"), doivent décrire un gradient hydrodynamique. Ils coexistent sur une même unité ou se succèdent longitudinalement ou latéralement et permettent d'identifier des axes de pénétration et d'atténuation des écoulements.

Tableau 48 - Les critères hydromorphologiques et leurs modalités.

| CARACTERES                        | MODALITES    |            |           |
|-----------------------------------|--------------|------------|-----------|
| Remaniement de la surface         | 1 : oui      | 2 : non    |           |
| Affouillement (érosion aréolaire) | 1 : oui      | 2 : non    |           |
| Dépôt de sédiments récents        | 1 : graviers | 2 : sables | 3 : aucun |

### - Les variables sédimentologiques

Il s'agit d'indicateurs très intéressants dans la mesure où ils permettent une approche à la fois diachronique et synchronique.

La granulométrie, exprimée soit par la médiane ou autres fractiles, soit par des classes de tailles, a d'abord été étudiée.

Le pourcentage de fines présentes dans l'horizon pédologique de surface a également été collecté. Comme certains problèmes techniques se sont posés lors du traitement en laboratoire, le pourcentage retenu ne concerne pas uniquement les argiles, dont la taille est inférieure à 2 microns, mais des particules fines inférieures à 4 microns, cette limite étant la plus petite que nous ayons pu atteindre. Deux éléments nous ont conduits néanmoins à retenir cette limite faute d'avoir celle des argiles :

- la part des particules fines est extrêmement faible puisque 50% des échantillons ont en effet moins de 1% de leurs individus inférieurs à 4 microns

- comme tous les points ont été calculés de la même manière, ils restent comparables.

Ces deux indicateurs sédimentologiques sont porteurs d'une même information géographique : plus les flux sont rares et lents, plus le pourcentage d'argiles augmente et plus la granulométrie est fine. Ils sont également porteurs d'un gradient temporel. Le pourcentage d'argiles augmente en principe avec le temps au cours de la pédogenèse et perturbe alors la granulométrie originelle de la formation; si la médiane reste stable, le percentile est beaucoup moins grossier. Aussi, le faisceau d'informations complémentaires apporté par ces indicateurs permet une distinction relative des unités.

### - Les variables pédologiques

Il existe de nombreux indicateurs pédologiques de différenciation des unités de la mosaïque. Deux variables seulement ont cependant été étudiées : les pourcentages de calcaire et de matière organique présents dans l'horizon pédologique de surface. Une cinquantaine d'échantillons a été prélevée et analysée., chacun des individus (parfois deux) étant représentatif d'une unité fonctionnelle.

Le calcul du pourcentage de calcaire permet de s'interroger sur le phénomène de décarbonatation. Celle-ci est en principe d'autant plus avancée que le sol est âgé. Cette variable est ainsi un bon indicateur de la stabilité du milieu. Néanmoins, compte tenu de la jeunesse du site, la question est de savoir si les valeurs calculées sont suffisamment différentes pour permettre des distinctions spatiales.

Le calcaire est tantôt peu soluble et présent dans le sol sous la forme de graviers et de particules sableuses, tantôt facilement solubles par les eaux chargées en CO<sub>2</sub> et présent alors sous la forme de fines particules limoneuses et argileuses. Le calcimètre Bernard permet de doser la somme de ces deux types de calcaire, de mesurer le CO<sub>2</sub> dégagé par l'attaque du calcaire à l'acide chlorhydrique, la méthode étant simple mais peu précise.

Le calcul du taux de matière organique permet une seconde approche de la stabilité du milieu au cours du temps. La question est une fois encore de savoir si l'enrichissement organique est suffisamment important pour permettre une discrimination géographique.

La matière organique inerte du sol est constituée, d'une part de débris de végétaux visibles macroscopiquement et encore peu décomposés (fragments de feuilles mortes, de racines..), et d'autre part, d'humus (au sens strict), c'est-à-dire d'un mélange de substances qui résulte de la minéralisation progressive des débris végétaux par l'action microbienne. Pour doser l'humus, on soumet l'échantillon de terre à une calcination d'une heure au four électrique à 1 000°C. Cette calcination provoque l'oxydation totale de la matière organique. Néanmoins, la perte de poids qui résulte et qui est quantifiable, est aussi liée au départ de l'eau de constitution des argiles variant de l'ordre de 10% de leur poids et à la disparition du gaz carbonique des carbonates (44% des carbonates de chaux). Ces deux phénomènes sont donc également pris en compte dans la formule de calcul.

## 2.3 Résultats : La variabilité spatiale des indicateurs micromorphologiques, pédologiques et sédimentaires

La variabilité spatiale et temporelle de l'hydrodynamique a été étudiée au sein de la mosaïque végétale à partir :

- de l'observation et du traitement de paramètres qualitatifs qui décrivent la micromorphologie de surface,
- d'une étude fine de la granulométrie,
- d'une analyse de constituants pédologiques à gradient temporel (taux de matière organique, pourcentage de calcaire dans la formation).



### 2.3.1 L'analyse micromorphologique

L'analyse de la dynamique qui est proposée repose sur l'observation des microformes. La question est de savoir quelles sont les zones où il y a des formes d'érosion et d'accumulation récentes. La figure 128 présente la synthèse des observations, chacun des indicateurs étant porteur d'une information qui lui est propre. Le remaniement est un phénomène presque ubiquiste et n'est absent que dans les quatre zones les mieux protégées, au coeur de la mosaïque. Le dépôt de sables récents caractérise des sites particuliers tels que l'aval de l'ônes, le banc de convexité ou la partie périphérique d'unités forestières. Les affouillements enfin concernent la marge des axes d'écoulement les plus actifs.

L'association de ces variables n'est pas due au hasard; elle permet une hiérarchisation du phénomène. Une typologie peut ainsi être établie entre les sites selon qu'ils enregistrent simultanément la présence d'un ou de plusieurs indicateurs, chaque association décrivant alors un environnement géodynamique précis (Piégay et Bravard, 1993).

#### Trois ensembles d'unités, d'instabilité croissante ont été définis :

- Le premier n'est déterminé que par le remaniement. La compétence du cours d'eau est très faible puisque seules des feuilles et des brindilles sont mises en mouvement. Ce faible dynamisme caractérise les zones les plus marginales des axes d'écoulement. D'ailleurs, au coeur de ces zones de stabilité, le remaniement devient lui-même absent. Finalement deux stades caractérisent cette classe selon l'influence graduelle des eaux.
- Le second est caractérisé par des dépôts de sables récents. Cette dynamique s'exprime surtout à l'aval de la lône ouest et sur le banc de convexité. C'est sans doute la faible compétence des eaux qui explique leur incapacité de transport et de creusement. Les processus de dépôt caractérisent davantage des zones de faible turbulence (aval de l'ônes), des zones où l'écoulement en nappe est peu important et très discontinu dans le temps. Dans les milieux de plus haute énergie comme la partie médiane de la lône occidentale, le dépôt de sables et l'érosion aréolaire coexistent (photographie 20). En effet, le gravier récent, originaire de l'axe de l'Ain et de l'érosion de la berge, n'a pas encore atteint le secteur (photographies 21 et 22); l'énergie est encore importante et dissipée par une érosion aréolaire.
- Le troisième ensemble, le plus dynamique, est caractérisé par l'association dépôts graveleux - affouillement. Ces processus coagissent sur l'ensemble des rives de l'Ain (banc inférieur de convexité, berge de concavité) et dans la partie amont des principaux bras secondaires. A une certaine distance de l'axe de l'Ain, la progression des galets de rajeunissement s'arrête en effet brutalement. Ces processus sont caractéristiques des zones de turbulence et de rugosité dans des zones de contact entre un espace ouvert et un espace fermé. L'affouillement est plus actif sous forêt où chaque tronc est un perturbateur des flux liquides et accroît leur agressivité. Comme beaucoup de débris ligneux sont stoppés à la lisière forestière, il est aussi possible de penser que ce dépôt forcé renforce la capacité de transport des eaux à l'aval, l'énergie en excès étant alors utilisée au creusement.

### 2.3.2 La sédimentologie

Cette seconde approche a été centrée sur l'étude de la granulométrie des sédiments de surface. Quarante points de prélèvement ont été échantillonnés et leur population a été traitée en laboratoire avec le compteur Coulter. A partir des courbes cumulées et des données statistiques alors obtenues, une différenciation spatio-temporelle des unités a été entreprise.

Celle-ci repose sur trois indicateurs : le premier, la médiane, est une valeur centrale qui résume la distribution granulométrique de chacun des échantillons. Le second est une valeur extrême, le pourcentage de sédiments fins. Ce dernier a l'intérêt de révéler d'une part l'hétérogénéité des échantillons en relation avec la médiane et d'autre part des processus dynamiques de dépôt. Le troisième indicateur, le coefficient de



Photographie n° 20 : Le tronc exhumé, un témoin du rajeunissement d'une unité forestière riveraine du chenal secondaire situé à l'ouest dans le pédoncule de méandre de Mollon sur l'Ain.



Photographie n° 21 : La nappe de galets transgressive de la lône orientale dans le pédoncule de méandre de Mollon sur l'Ain (vue depuis la rive droite).

Photographie n° 22 : La nappe de galets transgressive de la lône ouest dans le pédoncule de méandre de Mollon sur l'Ain (vue vers l'amont).



variation, est une variable de dispersion relative qui permet donc de comparer nos différents prélèvements sans effets de taille.

Trois cartes analytiques seront présentées, chacune révélant une image partielle de la dynamique.

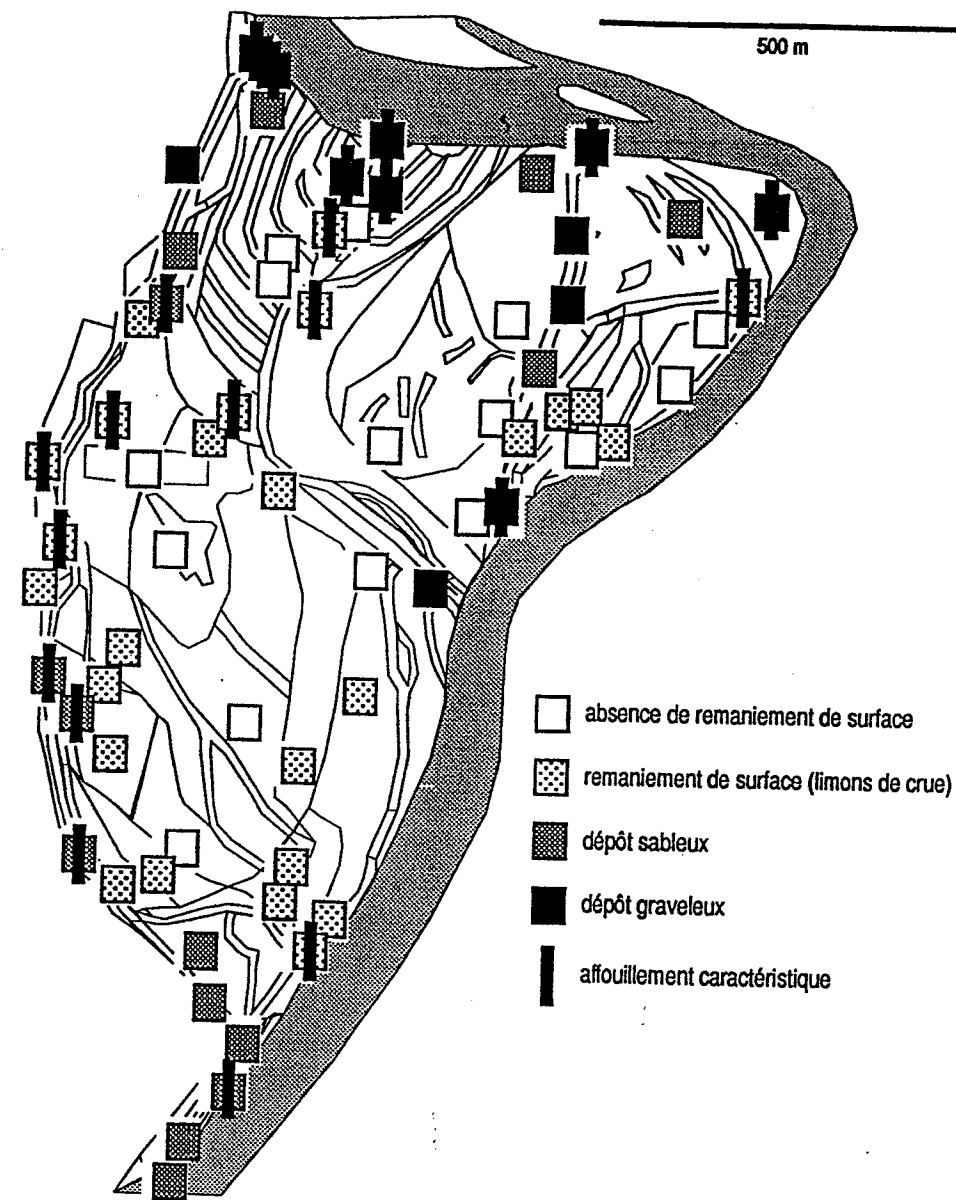


Figure 128 - Le remaniement, le dépôt et l'affouillement, trois descripteurs de la régénération de la surface ripicole.

### - La médiane

La médiane, qui est une valeur centrale, semble un bon indicateur de la dynamique. Les 40 échantillons ont une taille comprise entre 10 et 52 microns, la moyenne étant de 25,7 microns. La population est statistiquement très concentrée, le coefficient de variation s'établit à 15,5%.

Une analyse géographique de cette répartition statistique a été effectuée en classant précisément les individus selon des seuils visuels distingués sur un diagramme de distribution (fig. 129A). Les valeurs les plus

importantes (plus de 30 microns) caractérisent les secteurs les plus récents, les bordures de îones. Les individus de la classe {26,1-30}, très proche de la première, se distribuent également sur les marges des îones mais aussi sur des axes secondaires (A) et sur des sites de débordement (B) alors que les faibles valeurs ont été observées sur les espaces les plus anciens, tels que le môle sud ou la zone située à l'aval du point B non rajeuni par le débordement.

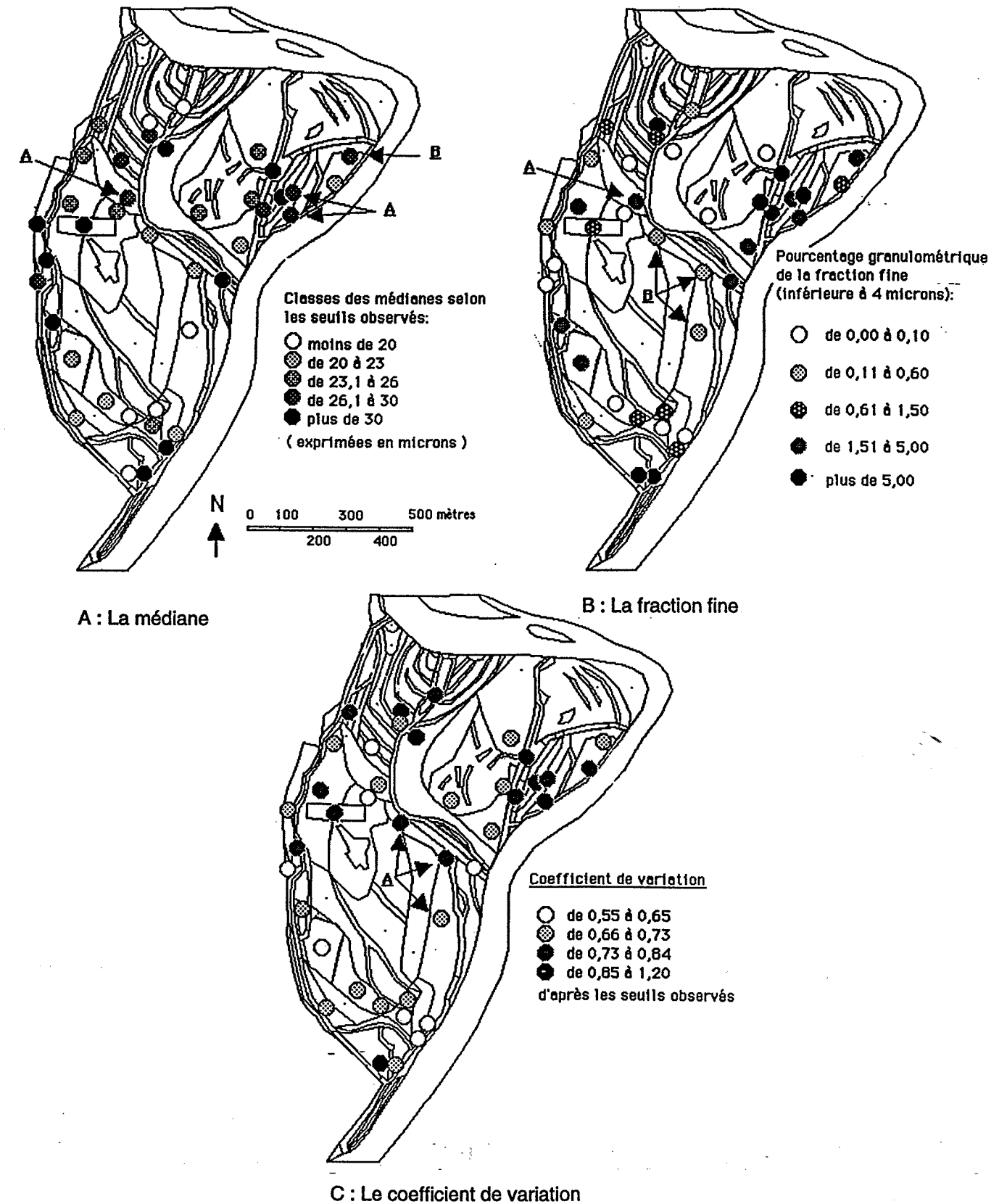


Figure 129 - Variabilité spatiale des sédiments de débordement selon la médiane (A), la fraction fine (B) et le coefficient de variation (C) des échantillons.

### - Le pourcentage de la fraction fine

La population est ici comprise entre 0 et 20%, une moyenne s'établissant à 2,1%. La dispersion statistique est très grande et le coefficient de variation atteint 189%. En fait deux groupes distincts se détachent au sein de la population. Le premier représente 50% de la population et constitue un ensemble très homogène concentré autour de 0-1%. L'autre moitié forme un ensemble étiré de 1-2 à 20%, le nombre d'individus se faisant plus rares lorsque les valeurs augmentent.

Une classification de cette population en fonction de seuils visuels a permis de construire une carte expressive de sa disparité géographique (fig. 129B). Il apparaît que le pourcentage de la fraction fine n'est pas ici une variable de discrimination temporelle (argilification liée à la pédogenèse) mais une variable de discrimination hydrodynamique. Seuls certains secteurs récents, en l'occurrence la partie aval des chenaux de débordement, présentent un pourcentage de fines qui dépasse 1,5%. La lône la plus orientale en cours de végétalisation et le secteur aval de la lône ouest sont à cet égard caractéristiques. Le point A situé à l'aval d'un axe secondaire présente ainsi un taux de fines plus élevé que ses voisins.

Ces sites récents présentent en effet une faible énergie puisqu'ils se situent en retrait de l'axe principal dans des zones protégées des courants les plus tractifs.

### -Le coefficient de variation

L'étude des coefficients de variation a pour objet de montrer à quelle logique spatiale répondent les types de distribution granulométrique. Les valeurs ont été distribuées sur un diagramme des fréquences, réparties en classes en fonction de seuils visuels observés et cartographiées (fig. 129C).

La variable est tout à fait expressive. L'hétérogénéité des échantillons est la plus grande dans les axes (lône est) et dans les zones de débordement. Ainsi les points A, proches de la lône centrale, sont très différents du point plus méridional qui est protégé. Inversement, une plus grande homogénéité règne dans les zones anciennes (secteur méridional, secteur centre nord).

L'hétérogénéité de l'échantillon est d'autant plus forte que le milieu est récent et soumis à une énergie hydraulique élevée, à des courants de traction de forte compétence. Deux interprétations peuvent être formulées pour expliquer cette observation :

- Il est possible que les sédiments soumis à des courants très turbulents liés à une forte rugosité des structures ligneuses soient plus hétérométriques que ceux localisés dans des zones de moindre énergie et qui ont été peignés.

- Comme les sédiments ont été prélevés à proximité de la surface, il est possible de penser qu'ils ont été soumis à une pédogenèse d'autant plus importante que le milieu est âgé. Ce phénomène, conduisant à une désagrégation des éléments les plus grossiers, peut expliquer une plus grande homométrie des sédiments les plus anciennement déposés.

### 2.3.3. Les constituants pédologiques

Les prélèvements de sédiments effectués au niveau des points d'échantillonnage ont permis non seulement une analyse fine de la granulométrie mais encore une étude du taux de calcaire et du taux de matière organique dans l'horizon pédologique de surface. Cette information permet une discrimination géographique dans la mesure où ces taux varient au cours du temps, le premier tendant à décroître alors que le second augmente. Néanmoins, il est nécessaire de tenir compte de la dynamique qui à tout moment peut

perturber le vieillissement de l'unité par des processus allochtones de rajeunissement. Le fait de connaître l'évolution historique de la plaine, grâce notamment aux photographies aériennes, est alors précieux.

Si ces deux variables présentent des valeurs très concentrées statistiquement, leur étendue est suffisante pour étudier leur répartition spatiale, celle-ci étant fondée sur 4 ou 5 classes dont les limites sont définies selon des seuils observés visuellement.

### - Le taux de calcaire

Le taux de calcaire varie selon les échantillons de 41 à 74%, la moyenne s'établissant autour de 52,4%. Si l'étendue est relativement importante, le coefficient de variation n'est que de 13%.

Le taux de calcaire, cartographié sur la figure 130A, présente une répartition géographique assez complexe. Le pourcentage est effectivement élevé dans les milieux les plus récents. Ceci est évident pour la lône médiane et la lône orientale ainsi que pour la confluence entre l'Ain et la lône ouest. En revanche, le pourcentage est faible dans la plus grande partie de la lône ouest pourtant connectée avec l'axe de l'Ain au nord.

Comme ce dernier est le vecteur du calcaire, ceci conduit donc à une situation paradoxale : la lône occidentale, pourtant en relation avec le chenal principal, présente un taux de calcaire relativement faible. Cette situation n'est vérifiée que dans la partie médiane. En revanche à l'amont et surtout à l'aval, les taux sont plus élevés. En fait, le pourcentage de calcaire augmente là où l'action de l'Ain est directe.

Deux explications peuvent être proposées pour comprendre sa régression dans la lône ouest. Celle-ci est en cours de rajeunissement et les crues les plus fréquentes mais les moins efficaces d'un point de vue morphogène, n'ont agi sur les marges de la lône que dans sa partie amont. Ceci serait en conformité avec les résultats sédimentaires. Une deuxième explication tient compte du matériel en transit. Quelle est l'origine géographique de ce dernier, l'Ain ou la partie amont de la lône? S'il s'agit de cette dernière, les dépôts pourraient présenter un taux de calcaire faible dans la mesure où ils seraient issus d'un remaniement local de sédiments pédogénésés. Si la question mérite d'être posée, la réponse est difficile car le rôle de l'Ain ne peut pas être effacé, le matériel qui nous intéresse étant en suspension et donc très mobile dans l'ensemble du lit majeur. Il est possible de penser que la variation du taux de calcaire existant entre la partie médiane et les extrémités de la lône s'expliquent par le fait que la part relative des apports locaux, pauvres en calcaire, soit plus importante dans le tronçon le plus éloigné de l'Ain. Cette seconde explication à l'avantage de prendre donc en compte de possibles apports de la rivière sur tout le linéaire.

Le pourcentage de calcaire est faible dans les milieux les plus anciens, les plus élevés et les mieux protégés de la plaine. Si cette observation est vérifiée dans la plupart des cas, quelques sites cependant se distinguent de ce schéma; les échantillons localisés en A (fig.130A) dans des unités âgées disposent ainsi d'un taux de calcaire élevé en raison sans doute de leur position riveraine du chenal principal.

### - Le taux de matière organique

Le taux de matière organique est une variable qui présente une faible variabilité spatiale dans le secteur étudié, le coefficient de variation n'étant ainsi que de 5,26%. Les valeurs se concentrent autour d'une moyenne de 31,2, le minimum et le maximum étant respectivement de 28 et 35%. Néanmoins, la distribution est bimodale et se scinde en deux sous-ensembles caractéristiques. Cette anomalie statistique n'a cependant pas véritablement d'expression géographique.

Ce taux est plus important dans les secteurs les plus anciens et les mieux protégés des flux de débordement comme la partie méridionale du môle sud (fig. 130B). Le taux est en revanche plus faible dans les différents axes et sur leurs marges.

Malgré l'homogénéité des valeurs, les trois lônes se distinguent sur la carte. Le taux de matière organique est plus important dans l'axe central ce qui laisse supposer que ce dernier est peu perturbé depuis longtemps. Il est par contre très faible dans l'axe ouest ce qui confirme que l'Ain perturbe de manière continue ce secteur. La teneur en matière organique est enfin moyenne dans l'axe oriental, la dynamique de celui-ci pouvant ainsi être interprétée comme une stabilisation, un vieillissement. Cette interprétation est confirmée par les observations effectuées sur le terrain puisque celles-ci montrent que le vieillissement est effectivement en cours dans la partie aval de cet axe. Ce mécanisme risque cependant d'être éphémère, une langue de galets frais progresse en effet dans la lône depuis l'amont et fossilise la végétation.

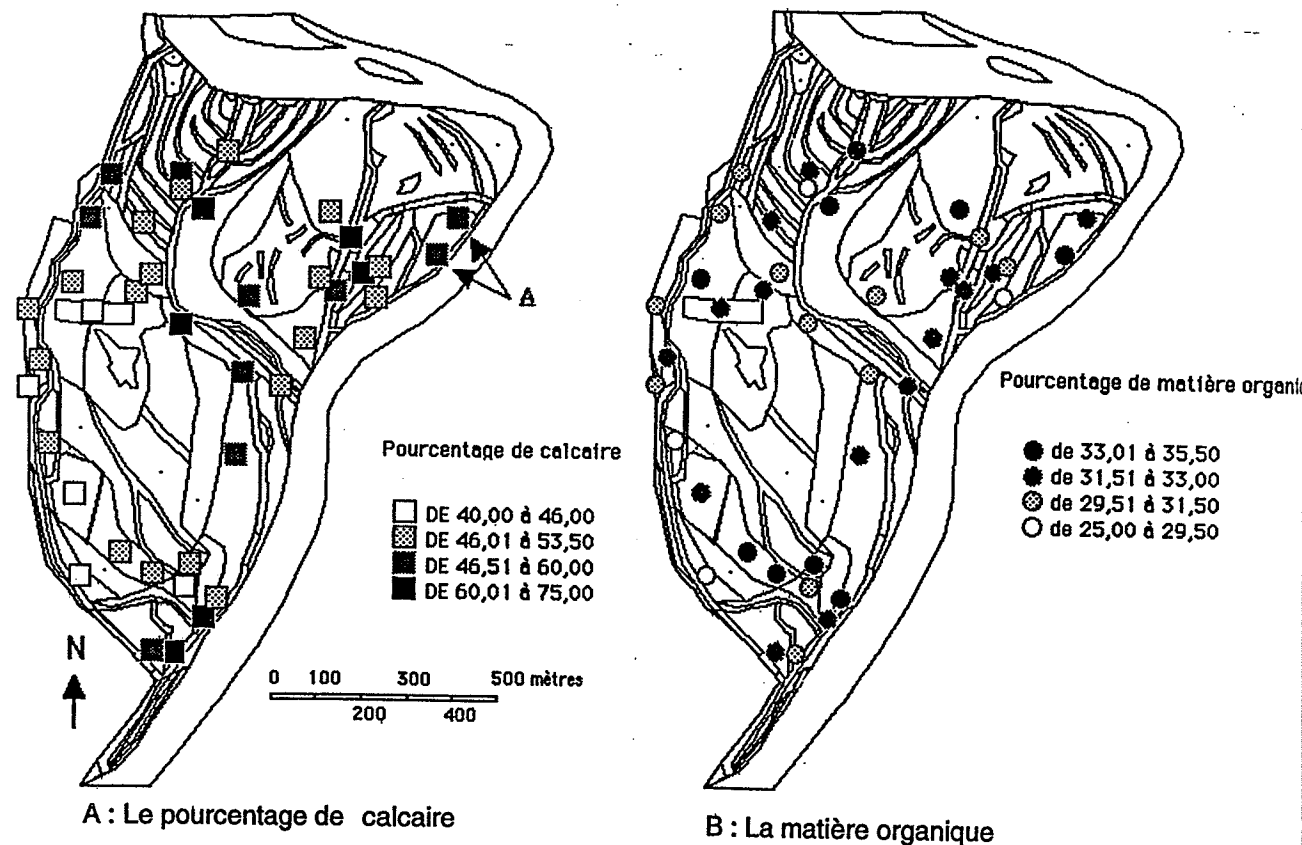


Figure 130 - Le pourcentage de calcaire (A) et le taux de matière organique (B) dans l'horizon pédologique de surface.

#### - Confrontation des deux analyses

Les milieux les plus stables et les plus anciens subissent une décarbonatation en même temps qu'une augmentation du taux de matière organique. Inversement un milieu instable et dynamique comme la lône Est est caractérisé par une faible décarbonatation alors que le taux de matière organique n'a pas encore beaucoup augmenté compte tenu du caractère récent de l'unité.

Si ce schéma est confirmé par la plupart des échantillons, quelques secteurs se distinguent cependant. Deux des trois lônes, compte tenu de l'originalité de leur localisation et de leur dynamique, ne se conforment pas à ces principes élémentaires.

La partie médiane de la lône ouest est caractérisée par un pourcentage de calcaire et un taux de matière organique faibles. Ce dernier indicateur confirme que le milieu est très dynamique ce qui a priori serait en contradiction avec les faibles pourcentages de calcaire observés. Si les remaniements des rives anciennes interviennent pour expliquer ces dernières valeurs, pourquoi n'interviendraient-ils pas de la même manière sur le taux de matière organique? Il est possible de penser que celle-ci est plus facilement exportée que les sédiments décarbonatés.

La lône centrale présente la même contradiction mais les taux sont inversés. Une explication possible est proposée. Dans un espace ancien et protégé soumis à un rajeunissement, comme la partie centrale du pédoncule, la carbonatation peut progresser et se manifester avant même la régression du taux de la matière organique par des apports répétés de sédiments.

### Conclusion

L'analyse morpho-sédimentaire abordée à l'échelle d'un pédoncule de méandre apporte une information abondante en terme de régénération des marges, certaines variables se révélant tout à fait discriminantes.

La capacité morphogène des processus morphosédimentaires est conditionnée par un gradient spatial et temporel. L'intensité de la régénération varie dans l'espace en fonction de la position relative des sites par rapport à l'axe dynamique que constitue le lit mineur et les bras secondaires. L'inégale rugosité des groupements végétaux vis-à-vis des écoulements conditionne aussi l'intensité de la dynamique. Celle-ci s'exprime différemment selon qu'elle se situe dans le cadre de placettes forestières préservées depuis au moins 1945, de landes xérophiles et arbustives, de parcelles récemment déboisées ou de chenaux hérités dont la durée d'isolement, c'est-à-dire la période de transition vers un stade terrestre, varie selon les cas, de 10 à plus de 50 ans.

Par l'effet du recul progressif de la concavité amont, le chenal principal se rapproche avec le temps des unités morphologiques du lit majeur. Celui-ci est dans la situation d'un pédoncule de méandre; la migration de l'Ain y modifie d'année en année la nature des processus en action au rythme de la périodicité et de l'ampleur des crues ainsi que de l'intensité des flux de débordement.

La variation de l'intensité s'exprime ainsi à travers un triple gradient spatio-temporel de régénération:

- de l'axe des chenaux vers des unités latérales terrestres du lit majeur,
- longitudinalement, de l'amont vers l'aval de chaque lône,
- d'une lône à l'autre.

Finalement, deux phénomènes majeurs ont été identifiés :

1. La forêt alluviale constitue une mosaïque de milieux inégalement rajeunis. Il n'existe pas une régénération croissante des marges boisées externes au chenal d'écoulement mais des axes de régénération structurés en un réseau complexe et hiérarchisé et des môles de stabilité. Les stations sont caractérisées par une régénération d'autant plus forte qu'elles présentent un complexe de formes d'érosion et de dépôt, une granulométrie grossière, un taux de calcaire élevé et un taux de matière organique faible. En règle générale les zones de moyenne et de faible intensité morphodynamique s'apparentent d'abord à des espaces fermés, forestiers.
2. Des axes préférentiels de haute énergie existent à l'intérieur de la forêt et sont caractérisés par un gradient de régénération amont-aval. Les marges boisées de l'Ain ne peuvent se concevoir comme un espace homogène à gradient latéral. La dissipation de l'énergie s'exerce aussi longitudinalement à travers un réseau complexe de chenaux de toute taille. Une fois canalisés par les lônes et quelques axes très secondaires, les flux de débordement dissipent rapidement leur énergie vers l'aval et dans les unités forestières latérales.

favorisant ainsi la succession, voire la juxtaposition partielle dans l'espace de multiples processus. Les marges de la lône occidentale sont ainsi caractérisées de l'amont vers l'aval par une succession de microformes, une modification des données pédologiques et granulométriques. Dans les secteurs forestiers situés à proximité des axes dynamiques, les modifications de surface sont extrêmes. Des saignées érosives, profondes de quelques cm à 1 m, sinueuses et parallèles les unes aux autres, dilacèrent la surface. A l'amont de la lône centrale, cette dynamique est si agressive que les ravinaux se sont réunis et forment un véritable chenal que les eaux suivent préférentiellement et dans lequel les racines des arbres encore valides sont petits à petits exhumées, comme le bois mort autochtone antérieurement fossilisé par des limons de crue. Ces processus d'abrasion sont couplés à des processus de dépôt de sables récents grossiers. Les sites de sédimentation sont divers, tantôt dans les axes de ravinement, tantôt en nappes et fossilisant la végétation basse préservée, souvent à l'aval d'arbres ou d'arbustes. Dans la partie aval de la forêt, l'érosion se réduit et les dépôts sableux remplacent le gravier. La profondeur et le nombre de saignées s'atténuent et, bientôt, seule la litière est remaniée. Parallèlement, les dépôts récents se raréfient, la taille de leurs particules et le pourcentage de calcaire se réduisent alors que le taux de matière organique augmente.

Après la mise en évidence de la dynamique de régénération intraforestière et notamment des gradients morphosédimentaires amont-aval, une étude plus fine est proposée sur la partie amont de l'axe de débordement médian. L'objectif est d'observer précisément, sur une période de trois ans, les processus de régénération d'une marge ultra-dynamique.

#### 2.4 La dynamique de recouplement des méandres observée à grande échelle

Une étude fine de la régénération de la surface a été conduite dans une zone forestière du pédoncule de Mollon. Celle-ci se situe dans l'axe d'un chenal de débordement localisé dans une concavité de l'Ain et qui était le chenal principal de la rivière en 1945.

L'objectif est d'observer la dynamique de régénération de la surface. Le rôle du bois mort est également étudié mais les résultats seront présentés ultérieurement.

Trois campagnes d'observation (été 1992, printemps 1993 et 1994) ont permis de construire 3 cartes analytiques. Chaque levé est séparé de l'autre par une crue relativement importante, estimée de fréquence quinquennale; le pic de crue a atteint près de  $1200 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  le 22 novembre 1992 et le 7 octobre 1993. Par ailleurs, le premier levé a été effectué à la suite d'une crue de  $1730 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , soit une fréquence décennale, en décembre 1991. En 1993 les données hydrauliques, relevées dans la seule partie médiane de la parcelle, révèlent une hauteur d'eau très importante, de l'ordre de 1,9 à 2,5 m. Ces données sont malheureusement insuffisantes pour le calcul de la pente. En revanche, cette analyse est possible l'année suivante. En 1994, les hauteurs d'eau se situent ainsi entre 1,7 et 1,5 m à l'aval contre 1,9 m dans la partie médiane et amont et la pente longitudinale moyenne de la ligne d'eau dans l'axe de la parcelle est de l'ordre de 0,95%. Ces différents renseignements illustrent parfaitement l'intensité des processus hydrauliques qui ont lieu dans cette zone forestière.

En 1992, seules deux parcelles ont été choisies en fonction de leur localisation. La première est située en berge et sa superficie est importante afin de prendre en compte une partie homogène de la ligne de débris. La seconde, située 70 m à l'aval, a été levée au cœur de la forêt où l'environnement est très différent. Elle est plus petite et correspond à un milieu bien défini : l'axe de débordement. L'année suivante, les observations nous ont conduit à lever la parcelle intermédiaire car la berge reculait rapidement et détruisait donc d'année en

année la parcelle amont. En outre, la forte mobilité des sédiments et de la ligne de débris ligneux ne pouvait être appréciée correctement sans une continuité amont-aval.

#### 2.4.1 Méthode retenue et paramètres collectés

Les arbres et les arbustes ont tout d'abord été localisés les uns par rapport aux autres puis numérotés afin de les retrouver d'une année à l'autre. Ils ont enfin été repositionnés sur un plan à grande échelle (1/200°). Par ailleurs, l'essence et le diamètre de chacun d'eux ont également été notés. C'est à partir de ce réseau que dans un deuxième temps, l'ensemble des autres paramètres a été repositionné.

Un niveau altimétrique a été utilisé pour lever la topographie, les altitudes observées étant précisément calées sur une borne IGN. La position des points d'observation a été déterminée par rapport aux arbres et la morphologie, qui a été brièvement dessinée, a permis de choisir efficacement leur position. Le réseau de points est important puisqu'il atteint environ 0,8 à 0,9 points pour  $10 \text{ m}^2$  (tab. 49).

Trois cartes hypsométriques de douze classes ont été contruites à partir de ces valeurs et prennent le plus possible en compte le modelé. Les altitudes variant de 214,75 à 217,75 m, ont été préalablement calculées à partir des données brutes et des courbes de niveau ont été interprétées et tracées manuellement, l'équidistance retenue étant de 25 cm. Ces cartes manuelles construites à "grande échelle" ont été scannées puis réduites pour des raisons statistiques et esthétiques à une échelle de 1/500°.

L'aspect qualitatif des surfaces a été observé dans un troisième temps. Celles-ci ont été distinguées en fonction de la nature de leur substrat ou de leur couverture végétale. Certaines sont ainsi caractérisées par un substrat récent et lié aux apports graveleux et sableux des dernières crues ou ancien (zones de limons apparents indiquant une érosion aréolaire). D'autres sont caractérisées par un couvert végétal bas (herbacées, litière forestière non altérée). A partir de la seconde année, quelques granulométries de la nappe transgressive de galets ont également été effectuées sur différents points afin de préciser l'information cartographiée.

Le bois mort est aussi un des indicateurs collectés, sa localisation et sa masse ayant été estimées. Ce travail a été possible dans la mesure où l'embâcle est l'unique type de dépôt du bois mort dans ce secteur. La forme de chacun d'eux a donc été dessinée et leur masse a été estimée à partir de la méthode définie précédemment. Comme il s'agit souvent d'accumulations complexes, l'estimation a été effectuée sur des segments homogènes. Les résultats ont ensuite été associés pour chacun des embâcles. Quelques éléments structurants ont également été peints la seconde année afin de déterminer leur mobilité. Malheureusement bien peu ont été retrouvés.

Cette collecte laborieuse a permis finalement d'étudier l'évolution biomorphologique de trois parcelles durant 2 à 3 ans (tab. 50), la superficie de chacune d'elles atteignant près de  $1000 \text{ m}^2$ . Ces parcelles forestières sont occupées par des ligneux relativement âgés; le diamètre moyen étant, selon la parcelle, de 18 à 20 cm. Il s'agit de groupements à bois tendres dominés par les peupliers noirs. L'aulne est également très présent ce qui confirme que ce milieu est resté toujours plus ou moins actif. Les essences de bois durs sont encore rares et apparaissent seulement avec notamment *Fraxinus excelsior*. La fréquence de ce dernier se réduit de l'amont vers l'aval ce qui est logique avec la dynamique de vieillissement d'un bras mort.

Une telle collecte a été conduite pour un objectif précis, reconnaître les mécanismes de régénération de surface. C'est pourquoi, la dynamique des formes et la dynamique des surfaces seront successivement analysées.

Tableau 49 - Caractères généraux de la zone observée.

|                                     | Été 1992 | Printemps 1993 | Printemps 1994 |
|-------------------------------------|----------|----------------|----------------|
| Nombre de points                    | 277      | 325            | 309            |
| Superficie en m <sup>2</sup>        | 3239     | 4322           | 3929           |
| Nombre de points par m <sup>2</sup> | 0,09     | 0,08           | 0,08           |

Tableau 50 - Caractéristiques des parcelles étudiées au moment du levé.

|                                      | Parcelle amont | Parcelle médiane | Parcelle aval |
|--------------------------------------|----------------|------------------|---------------|
| Surface en m <sup>2</sup>            | 2380           | 1503             | 859           |
| Nombre d'arbres par ha               | 417            | 692              | 610           |
| Diamètre moyen (cm)                  | 18,72          | 18,56            | 20,86         |
| Surface terrière par ha              | 20,6           | 25,5             | 32,4          |
| % de peupliers noirs                 | 35             | 29               | 43            |
| % d'aulnes glutineux                 | 15             | 49               | 35            |
| % de frênes communs                  | 10             | 4                | 2             |
| Masse des DLG* en t.ha <sup>-1</sup> | 327            | -                | 136           |
| Volume de DLG en m <sup>3</sup>      | 155,8          | -                | 23,3          |

\* Débris Ligneux Grossiers.

## 2.4.2 La dynamique des formes

Deux phénomènes importants ont été mis en lumière : le recul de la berge et la dynamique du modelé.

Le recul de la berge est très important compte tenu de la largeur de la parcelle et de la superficie érodée. Il a ainsi été estimé à 8 m en moyenne entre 1992 et 1993 pour une superficie de 419 m<sup>2</sup> et à 14 m en moyenne entre 1993 et 1994 pour une superficie de 683 m<sup>2</sup>. Ce recul a entraîné la disparition de 8 et 24 arbres (fig. 131).

Le recul de la berge est beaucoup plus important au cours de la seconde période alors que la vitesse des écoulements sous forêt (d'après les observations granulométriques) et la hauteur maximale de la nappe d'eau sont moindres, les pics de crue étant identiques d'une période à l'autre. La durée des hautes eaux est ainsi sans doute un élément plus important que le pic de crue lui-même pour expliquer la rapidité du phénomène. Par ailleurs, il est admis (Hickin, 1974, Hickin et Nanson, 1984) que la vitesse de l'érosion s'accélère au fur et à mesure que le méandre se développe. Néanmoins, compte tenu de la très courte période d'analyse, cette dernière hypothèse est rejetée par rapport à la première. Le suivi de ce secteur devrait le confirmer.

Le découpage des cartes hypsométriques en mailles ("rastérisées") a permis d'obtenir l'information cartographique sous une forme numérique, chaque cellule du tableur étant une maille, un pixel dont la valeur représente la valeur d'une des classes altitudinales. Deux profils transversaux ont été levés à partir de ces fichiers afin de confirmer les observations effectuées sur les trois cartes analytiques (fig. 132).

A l'aide de ces documents, plusieurs remarques peuvent être formulées au sujet de la morphologie de la parcelle et de son évolution au cours du temps :

- Les principales formes présentent une certaine pérennité. Le chenal principal bien dessiné dans l'axe ou encore les deux seuils situés à l'ouest et l'est sur la parcelle amont, sont présents sur les trois cartes.

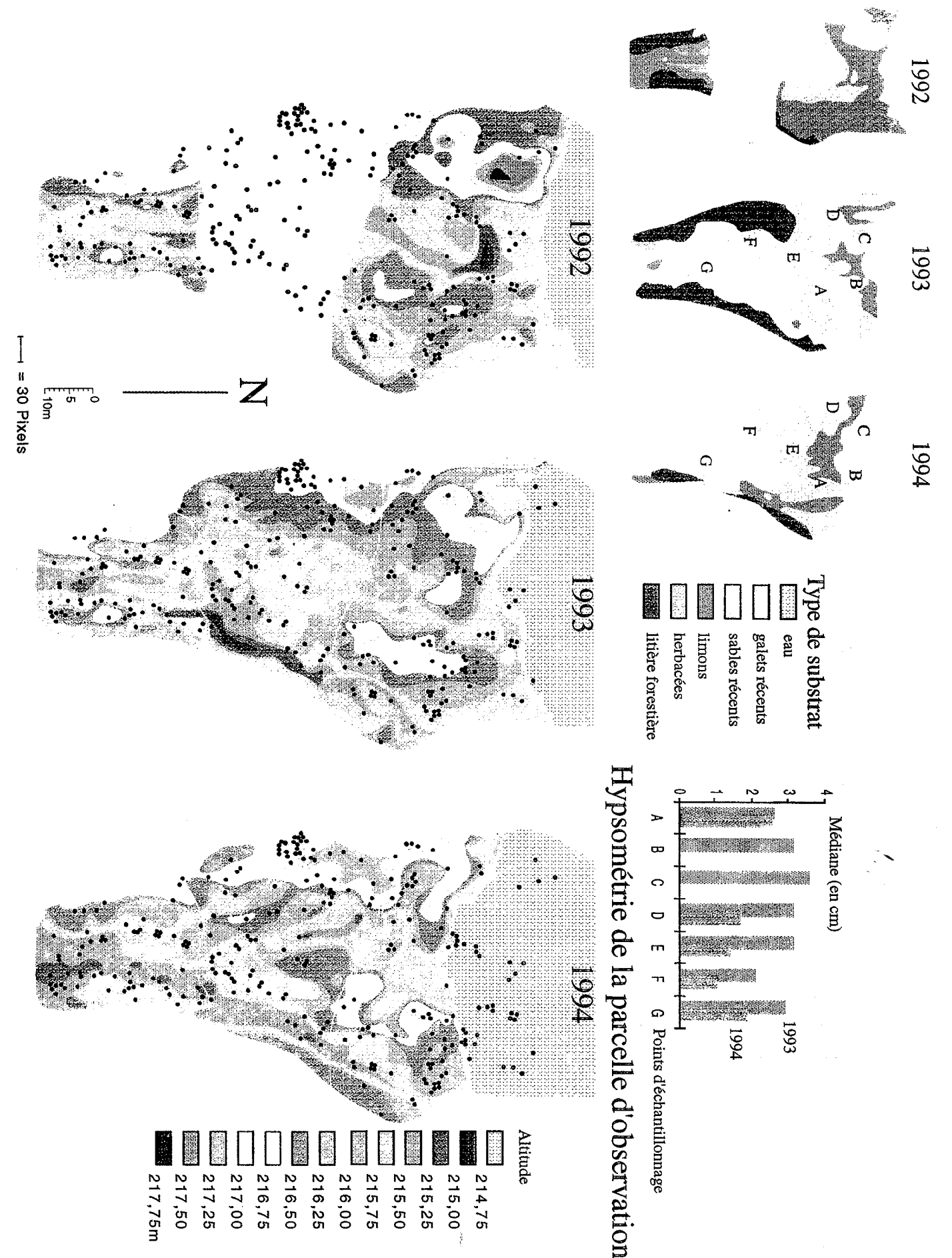


Figure 131 - Hypsométrie, type de surface et médiane des sédiments récents des parcelles de terrain étudiées dans la forêt de concavité du méandre de Mollon sur l'Ain en 1992, 1993 et 1994.

- Dans le détail, il est possible de dire que les formes se modifient. Sur le profil amont (fig. 132), le seuil occidental s'amaigrit progressivement et le chenal central, bien marqué en 1992 et 1994 tend à se colmater en 1993. A l'aval, le chenal principal s'élargit et s'approfondit progressivement en raison non seulement d'un enfoncement proprement dit mais en même temps de l'exhaussement des surfaces voisines.

- Le site est caractérisé par un grand nombre de chenaux. Les plus petits présentent une très grande mobilité latérale et mais une durée de vie assez brève. Leur orientation est complexe, parfois nord-sud comme l'axe principal, rarement nord est - sud ouest mais très souvent nord ouest - sud est. Si les deux premières orientations correspondent en fait à des chenaux hérités et remis progressivement en activité, la dernière, plus typique des microchenaux, répond à un axe d'écoulement actuel. Il y a donc coexistence de chenaux de différents âges.

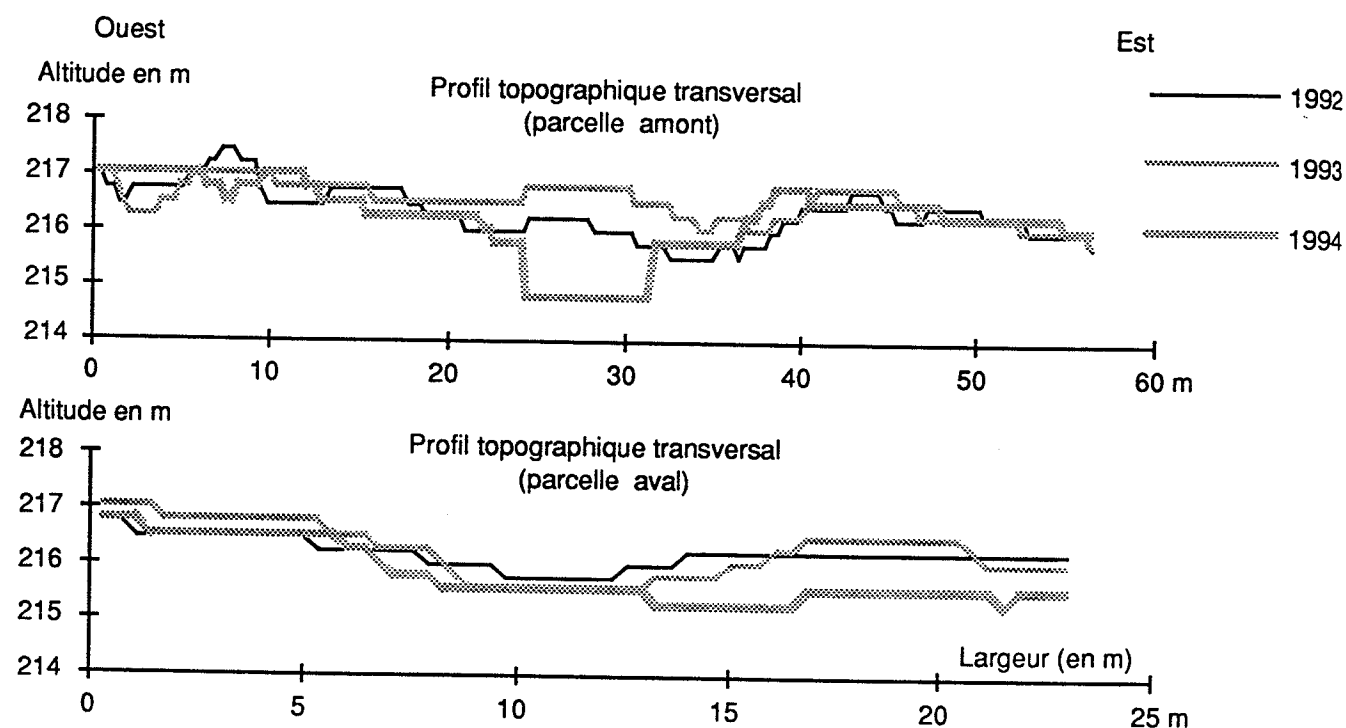


Figure 132 - Profils topographiques transversaux levés sur les parcelles amont et aval à partir des données numériques issues de l'analyse Raster.

### 2.4.3 La dynamique de la surface

La dynamique de la surface peut être appréciée de différentes manières. Deux axes ont ainsi été choisis, le premier abordera le sujet d'une manière qualitative alors que le second sera plus quantitatif, abordant le problème en terme de budget sédimentaire.

#### -L'analyse qualitative de la surface

Une régénération progressive du milieu peut être observée sur les cartes analytiques sur lesquelles le type de surface est présenté (fig. 131). En 1992, ce secteur est caractérisé par l'opposition de deux environnements qui coexistent d'ailleurs partiellement sur la parcelle amont. La partie ouest de celle-ci est

marquée par des apports grossiers, récents et transgressifs, alors que la partie orientale se dessine encore dans les limons anciens de la plaine de débordement. Quant à la parcelle aval, elle présente un recouvrement important de la strate basse (herbacées hygrophiles, litière forestière et plantes rampantes). Par ailleurs, la zone basse, soumise à une érosion de surface, se dessine dans le limon.

En 1993 et 1994, on observe :

- une disparition progressive des zones de litière et des herbacées. celles-ci occupaient 15% de la superficie étudiée en 1992 contre moins de 6% de celle de 1994 (tab. 51).
- la transgression et la migration progressive vers l'aval d'une nappe de galets récents. Alors que celle-ci occupait seulement 36% de l'espace en 1992, ce taux atteint respectivement 53 et 56% de la superficie étudiée en 1993 et 1994. Le constat est le même pour les sables récents qui occupent 49% de la superficie étudiée en 1992 contre 81% et 86% de celles de 1993 et 1994, dates au moment desquelles sont par ailleurs enregistrés les phénomènes de la parcelle médiane.

En complément de ces remarques, il est possible de diagnostiquer une réduction de l'intensité de la régénération entre 1993 et 1994. En effet, la granulométrie est devenue plus fine. La médiane des sédiments grossiers, observée en différents points de la zone (fig. 131), s'est nettement réduite passant de 2-3 cm en 1993 à 1-2 cm en 1994. Par ailleurs, la superficie relative occupée par les sables s'est étendue dans la zone de rajeunissement. Enfin, un recoupement partiel s'est effectué dans le courant de l'année 1994, un chenal secondaire, mais actif même en période de basse eau, ayant apparu sur la bordure ouest de la parcelle. L'espace étudié, considéré jusqu'alors comme l'axe potentiel du recoupement, n'est plus aujourd'hui qu'une marge de ce même axe. Cet élément explique l'importance accrue, dans la zone étudiée, de microchenaux orientés nord ouest - sud est. Le rajeunissement actuel se fait donc depuis l'axe de l'Ain par des flux nord-sud et l'axe du chenal de débordement par des flux nord ouest - sud est à ouest - est.

Tableau 51 - Evolution de la superficie absolue et relative des différentes surfaces.

| Superficie de :    | 1992           |        | 1993           |        | 1994           |        |
|--------------------|----------------|--------|----------------|--------|----------------|--------|
|                    | m <sup>2</sup> | %      | m <sup>2</sup> | %      | m <sup>2</sup> | %      |
| Surface en eau     | 15,49          | 0,48   | 25,27          | 0,58   | 0,00           | 0,00   |
| Litière forestière | 436,1          | 13,45  | 610,93         | 14,14  | 210,47         | 5,75   |
| Herbacées          | 54,76          | 1,69   | 38,23          | 0,88   | 0,00           | 0,00   |
| Limons             | 1137,99        | 35,10  | 326,98         | 7,57   | 303,65         | 8,29   |
| Sables             | 422,69         | 13,04  | 1022,41        | 23,66  | 1079,96        | 29,48  |
| Graviers           | 1174,92        | 36,24  | 2297,68        | 53,17  | 2068,93        | 56,48  |
| Ensemble           | 3241,94        | 100,00 | 4321,51        | 100,00 | 3663,01        | 100,00 |

#### - Estimation du budget sédimentaire

Le budget sédimentaire de la zone d'étude a pu également être estimé avec précision à partir des cartes hypsométriques en utilisant un Système d'Information Géographique raster. Le pixel retenu, c'est-à-dire l'unité spatiale élémentaire, est un carré de 18 cm de côté, soit une surface de 324 cm<sup>2</sup> et un volume, compte tenu que les courbes de niveau sont équidistantes de 25 cm, de 8100 cm<sup>3</sup>. Les valeurs altitudinales des pixels ont été comparées d'une carte à l'autre à l'aide de la fonction compute et deux cartes de synthèses ont ainsi été construites, chacune représentant respectivement l'écart altitudinal des pixels entre 1992 et 1993 et

entre 1993 et 1994. A partir de ces deux documents, une estimation assez précise du budget sédimentaire interannuel de la parcelle a pu être effectuée.

L'information a été présentée synthétiquement, parcelle par parcelle, le volume dépendant du recul de la berge étant dissocié de celui concernant la surface de la parcelle amont (tab. 52). Par ailleurs, la figure 133 présente l'évolution du phénomène de l'amont vers l'aval; le transect longitudinal n°1 est lacunaire dans la mesure où la parcelle médiane n'a pas été levée en 1992.

Ces documents montrent que la parcelle présente un budget sédimentaire très nettement négatif, les volumes perdus étant estimés au cours des deux périodes à respectivement 650 et 990 m<sup>3</sup>, soit 0,2 à 0,25 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>. L'essentiel des pertes, 80% du volume exporté, n'est néanmoins lié qu'au recul de la berge. Si l'on exclut ce volume perdu en berge, la perte volumétrique du seul lit majeur représente tout de même encore 40 à 50 dm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.

La répartition longitudinale des volumes en transit est très intéressante puisqu'elle permet d'individualiser trois segments très caractéristiques :

- Le plus amont présente un déficit majeur et correspond au recul de la berge.
- Le secteur médian a été une zone d'accumulation durant les deux périodes. Néanmoins, les volumes stockés sont très inférieurs aux volumes pris en charge juste à l'amont. En fait, ils ne représentent que 20%, entre 1992 et 1993, et 30%, entre 1993 et 1994, du déficit amont.
- Enfin, le secteur aval se caractérise par une reprise de l'érosion. Celle-ci se manifeste aux dépens des limons et progresse par ailleurs vers l'aval d'une période à l'autre. Cette érosion aréolaire n'est pas du tout négligeable puisqu'elle représente près de 25% du déficit sédimentaire.

La dynamique de régénération observée à grande échelle sur cette parcelle et caractérisée par un équilibre entre le taux d'énergie disponible et l'inertie du site, est marquée une fois encore par une succession de l'amont vers l'aval de processus géomorphologiques spécifiques.

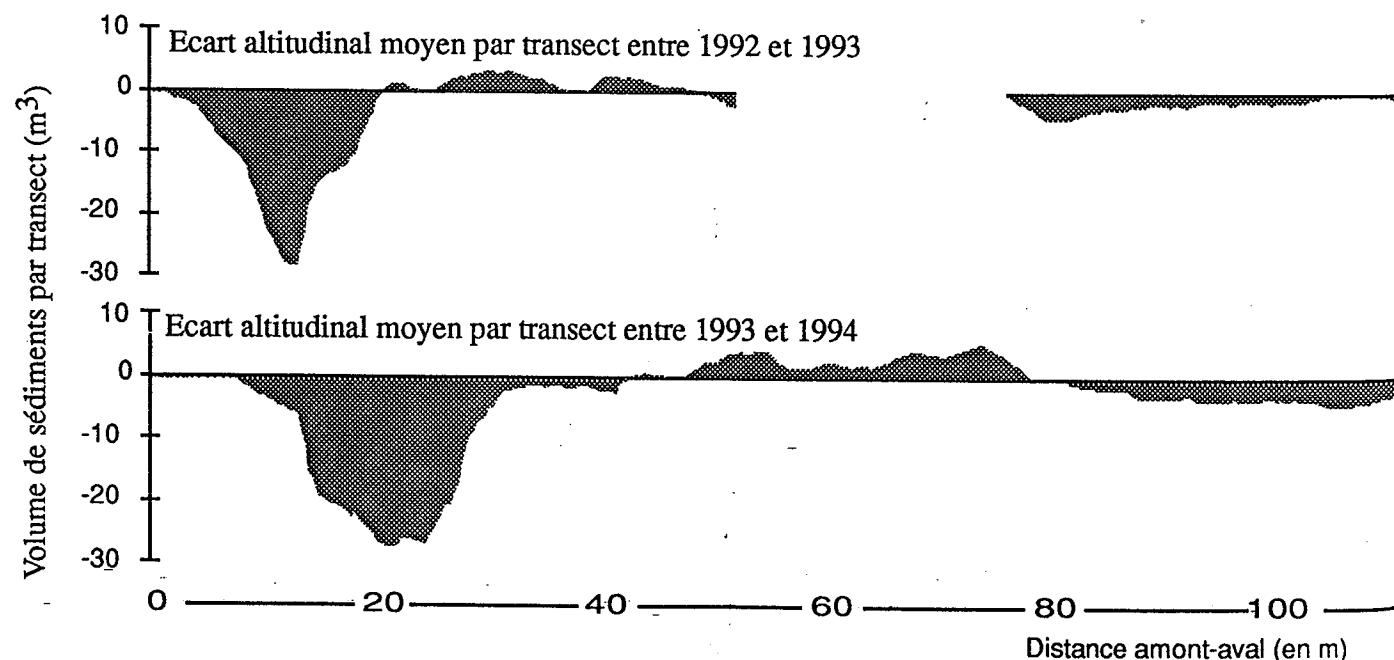


Figure 133 - Variabilité amont-aval des volumes de sédiments en transit dans la parcelle forestière de Mollon (Ain) au cours des périodes 1992-1993 et 1993-1994.

Tableau 52 - Budget sédimentaire de la zone d'étude de Mollon durant les deux périodes séparant les campagnes d'observation 1992, 1993 et 1994.

|           | Berge<br>(en m <sup>3</sup> ) | Parcelle amont<br>(en m <sup>3</sup> ) | Parcelle médiane<br>(en m <sup>3</sup> ) | Parcelle aval<br>(en m <sup>3</sup> ) | Total<br>(en m <sup>3</sup> ) |
|-----------|-------------------------------|--|--|---------------------------------------|-------------------------------|
| 1992-1993 | -637,44                       | 128,90                                 | -  | -140,77                               | -649,30                       |
| 1993-1994 | -1041,98                      | -9,23                                  | 287,23                                   | -228,44                               | -992,42                       |

#### 2.4.4. Quelques éléments de synthèse

La dynamique de régénération étudiée à grande échelle au sein d'une zone intraforestière située dans un axe prévisible de recoupement d'un pédoncule de méandre se manifeste par plusieurs phénomènes originaux :

- un recul très rapide de la berge,
- des processus successifs d'érosion et de dépôt dans le chenal de débordement,
- une mobilité des formes qui se manifeste par exemple par la disparition, la renaissance, le déplacement ou l'approfondissement de microchenaux de débordement.

L'intérêt d'une telle démarche a été de reconnaître les mécanismes de régénération de surface, de mettre précisément en évidence les processus préparant un recoupement par déversement.

Cette préparation est caractérisée par des mécanismes géomorphologiques prévisibles. Un tiers environ des volumes érodés en berge sont projetés sous forêt et migrent vers l'aval. Ceci signifie que 66% des sédiments qui étaient stockés depuis plus de 40 ans sont remis en mouvement et participent immédiatement à la recharge de la bande active. La migration intra-forestière d'une nappe gravelo-sableuse s'effectue sur une courte distance lors d'une crue. Au transport dans le secteur médian, succède une nouvelle phase d'érosion qui cette fois est aréolaire.

La dissipation de l'énergie hydraulique en lit majeur dépend donc de processus géomorphologiques successifs qui varient en fonction de la puissance de la rivière et de la couverture végétale du lit majeur.

F. Petit (1991) a noté que sur les rivières à méandres de Haute Belgique, l'érosion régressive de la rive concave s'accélère à partir du moment où un chenal de recoupement s'individualise et s'incise au travers du pédoncule de méandre. Il observe par ailleurs que la vitesse des recoupements varie en fonction du couvert végétal du pédoncule. Elle est très rapide dans les plantations de résineux dans la mesure où le limon n'est pas protégé de l'érosion aréolaire mais très lente dans les espaces de prairies, le scalping du tapis herbacé nécessitant des vitesses élevées du courant.

La vitesse de recoupement est donc extrêmement variable et répond ainsi à un rapport de forces entre des facteurs dynamiques (hydrauliques) et statiques. Les caractéristiques géographiques (superficie concernée), géomorphologiques (discontinuités provoquées par les héritages) et biogéographiques (types d'unités végétales) du site et du pédoncule lui-même interviennent conjointement pour expliquer la variabilité des forces d'inertie dans le temps et l'espace.

Le recoupement est donc un complexe de processus temporels, lents, successifs et aux effets induits progressifs. La notion de seuils successifs marqués par l'apparition ou la disparition de différents mécanismes prévaut ainsi sur la notion de rupture brutale qu'elle soit spatiale ou temporelle.



Ce complexe est reconnu quelle que soit l'échelle spatiale d'analyse puisque nous l'avons observé d'une part au niveau du pédoncule et d'autre part au niveau du chenal de débordement.

Ce troisième point de l'analyse synchronique du fonctionnement des structures biologiques a permis de montrer que les végétaux exerçaient une influence directe sur l'intensité des flux hydriques et minéraux à l'intérieur du corridor forestier. Cet effet-filtre est cependant inégalement actif selon le point d'observation que ce soit à l'intérieur d'un ensemble, d'un secteur ou d'une unité fonctionnelle ce qui se traduit par l'existence d'une mosaïque de régénération à l'origine d'une grande variabilité sédimentologique, pédologique, morphologique et bien sûr phyto-sociologique de la ripisylve.

Les structures biologiques des hydrosystèmes forestiers exercent également une influence indirecte sur l'intensité des flux d'eau et de matière en alimentant le chenal et ses marges en débris ligneux grossiers. Ce nouvel axe d'étude fera ainsi l'objet du chapitre suivant.

## IV La dynamique des débris ligneux grossiers

La dynamique des débris ligneux grossiers a été analysée sur quelques uns des sites des cinq rivières d'étude. L'Ain a cependant été plus particulièrement étudiée dans la mesure où elle présente un important flux ligneux.

Ce thème a été déjà abordé sur le continent nord-américain. C'est pourquoi les résultats bibliographiques et méthodologiques feront l'objet d'un premier point. Les objectifs et les méthodes choisies pour notre étude diffèrent en effet sensiblement de ceux des auteurs anglo-saxons, les rivières européennes, très anthropisées, étant différentes de celles des pays neufs.

Les masses et les sites préférentiels de dépôt des débris ligneux grossiers seront étudiés en relation avec la notion de style géomorphologique. Sur la rivière d'Ain, la dynamique des débris ligneux grossiers sera abordée à différentes échelles, au niveau de la concavité de trois méandres, au sein d'un pédoncule et dans le cadre plus étroit encore d'un chenal de débordement situé en berge concave.

### 1 Approche bibliographique et méthodologique

#### 1.1. Les acquis bibliographiques

##### 1.1.1 Les débris ligneux : une structure biologique de l'hydrosystème forestier

La rivière est non seulement un lieu de passage de la matière organique mais également un lieu de production et d'exportation d'une partie de cette matière d'un cours d'eau à l'autre et latéralement sur un même cours d'eau. B.H. Heede (1977) a montré que la densité de la forêt détermine la proportion des troncs incorporés dans l'hydrosystème fluvial. Ainsi, dans les cours d'eau à corridor forestier, le transit et le dépôt des débris ligneux peuvent être considérés comme des éléments fonctionnels.

#### - Une problématique historique et géographique

L'influence indirecte des formations végétales arborées riveraines (production et consommation de débris ligneux grossiers) est encore méconnue en Europe du fait de l'ancienneté de la pression anthropique.

Plusieurs synthèses des travaux récemment entrepris sur ce thème existent aujourd'hui (Harmon *et al.*, 1986; Bisson *et al.*, 1987; Maser *et al.*, 1988; Piégay et Maridet, sous presse). Elles montrent notamment que les débris ligneux grossiers étaient largement présents dans les cours d'eau originels et qu'ils étaient à l'origine de processus morphologiques originaux qui différaient selon l'ordre des cours d'eau.

Certaines études extra-européennes montrent que les rivières originelles, qu'elles soient rapides ou lentes, ont un chenal largement occupé par le bois mort. Des barrages de débris organiques ont été décrits sur l'Amazone, le Congo, l'Orénoque, le Gange, le Mississippi, le Mackenzie, et en Chine (Harmon *et al.*, 1986). Au siècle dernier, les cours d'eau du Nord - Ouest (Sedell et Luchessa, 1982; Sedell et Froggatt, 1984; Triska, 1984) ou des plaines subtropicales du Sud des Etats-Unis (Wallace et Benke, 1984) étaient obstrués par des barrages organiques.

Aujourd'hui, rares sont les rivières recelant d'importantes quantités de bois. Aussi, la masse totale des débris ligneux grossiers dans les écosystèmes fluviaux tempérés varie considérablement et peut atteindre dans des

rivières peu perturbées drainant certaines vieilles forêts de conifères du Nord-Ouest américain 1800 (Harmon *et al.*, 1986) à 2300 t.ha<sup>-1</sup> (Sedell *et al.*, 1988).

Les études récentes sont encore restées limitées à quelques régions et à des cours d'eau souvent d'ordre 1 à 4. Harmon *et al.* (1986) et Bisson *et al.* (1987) ont par exemple travaillé sur les cours d'eau du nord-ouest des Etats-Unis où le milieu est très forestier, parfois relativement épargné par l'activité forestière, et encore riche en bois mort. D'autres auteurs américains se sont intéressés aux rivières des plaines côtière subtropicales du Sud-Est (Wallace et Benke, 1984; Benke *et al.*, 1985) ou aux petits cours d'eau du Nord-Est (Zimmerman *et al.*, 1967; Bilby, 1979 et 1981). Les études effectuées en dehors du continent nord-américains, européennes (Gregory, 1992; Piégay et Bravard, 1993) ou néo-zélandaises (Mosley, 1981) restent encore rares.

#### - Des processus spécifiques à certains hydrosystèmes

Les structures biomorphologiques diffèrent d'un hydrosystème à l'autre. Les volumes, la fréquence, la forme, la localisation et l'aire d'influence des débris ligneux grossiers sont régis par la taille du cours d'eau, la morphologie de la vallée, les facteurs à l'origine des débris dans le chenal (Keller et Swanson, 1979; Keller et Macdonald, 1983) mais aussi par l'âge et la dynamique de régénération de la forêt d'inondation. Plus le cours d'eau est important, plus ses eaux sont aptes à exporter ce matériel vers l'aval ou dans la plaine d'inondation (Swanson et Lienkaemper, 1978; Triska *et al.*, 1982; Sedell et Luchessa, 1982; Cummins *et al.*, 1983). Les volumes de débris ligneux grossiers relatifs à la taille du cours d'eau sont d'autant plus faibles que le rang du cours d'eau augmente (Anderson *et al.*, 1978; Bilby, 1979; Lienkaemper et Swanson, 1986). Dans les petits et moyens cours d'eau, les débris ligneux grossiers localisés au hasard forment de larges accumulations à structure très ouverte (Harmon *et al.*, 1986) alors que dans les grands cours d'eau, ils s'accumulent en embâcles dans des sites préférentiels tels que la partie amont des bancs de convexité ou des chenaux secondaires, la concavité des méandres... (Keller et Swanson, 1979; Swanson et Lienkaemper, 1982; Piégay, 1993).

Actuellement, l'étude des débris ligneux grossiers n'a été entreprise que dans les petits cours d'eau de montagne drainant une forêt de conifères pluricentennaires et les cours d'eau intermédiaires de plaine à méandres actifs (Squamish canadienne, Ain français) ou à anastomoses (Willamette et Red River des Etats-Unis).

#### - Les petits cours d'eau de montagne

B.H. Heede (1972 et 1977) a étudié l'influence de la forêt sur la géométrie des petits cours d'eau de montagne (White Mountains, Arizona; Colorado Rocky Mountains). Il a montré que si les cours d'eau s'ajustent à la pente en construisant des bancs de graviers, beaucoup d'entre eux dépendent de troncs perpendiculaires au chenal, chacun formant une marche. Ces "escaliers de troncs" retiennent 40 à 70% des sédiments du lit. Alors que les bancs de graviers sont des structures flexibles, variant avec l'écoulement, les troncs et les marches qui en découlent sont beaucoup moins flexibles et donnent une certaine stabilité à la géométrie hydraulique de ces organismes hydrologiques. E.A. Keller et F.J. Swanson (1979) ont affiné l'analyse en décrivant ces "escaliers organiques". Le tronc, perpendiculaire à l'écoulement, piège les sédiments à l'amont et forme une petite mouille aval. Les différents auteurs ont ainsi mis en évidence une adaptation morphologique analogue au système de seuils et de mouilles des cours d'eau à méandres.

G.E. Robison (1987) a observé des cours d'eau dans le sud de l'Alaska sur des pentes modérées (moins de 3%) et a montré que les mouilles (pools) sont liées non seulement à des processus fluviaux endogènes

(confluence, cours d'eau à méandres) mais encore à des processus exogènes (troncs, blocs...) qui interviennent comme des facteurs de rugosité.

Dans les petits cours d'eau de montagne, les débris ligneux grossiers modifient ainsi la géométrie du lit, contrôlent le transit de la charge de fond (Mosley, 1981; Marston, 1982; Keller et Macdonald, 1983; Gregory, 1992), modifient la pente longitudinale (Heede, 1972; Keller et Swanson, 1979), augmentent la largeur du chenal (Zimmerman *et al.*, 1967; Gurnell et Gregory, 1984) et le nombre de mouilles (Grette, 1982; Heifetz *et al.*, 1986; O'connor et Ziemer, 1989; Robison et Beschta, 1990). Les débris ligneux grossiers dissipent l'énergie des eaux courantes (Robison, 1987; Sedell *et al.*, 1988) et contrôlent l'écoulement dans le chenal (Heede, 1985; Lisle, 1981; Gregory *et al.*, 1985). Ils peuvent également augmenter la stabilité de l'hydrosystème (Swanson et Lienkaemper, 1978; Keller et Tally, 1979; Toews et Moore, 1982). Inversement en Angleterre, dans une région de collines plus récemment recolonisées par la forêt, les barrages organiques, beaucoup moins stables, peuvent générer une plus grande instabilité du lit (Gregory *et al.*, 1985; Gregory, 1992).

#### - Les grands cours d'eau tempérés de piémont

Les grands cours d'eau tempérés formaient à l'origine un réseau de radiers, d'îles, de mouilles et de barrages organiques sans chenal principal et continuellement ombragé (Sedell *et al.*, 1988). Aujourd'hui, le paysage fluvial a beaucoup changé et le rôle fonctionnel du bois mort est assez peu connu.

L'effet des débris ligneux grossiers sur les rives et sur le chenal est le seul thème à avoir été particulièrement prospecté sur les grands cours d'eau. Les débris ligneux grossiers peuvent ainsi endommager la végétation des unités basses mais aussi stabiliser et protéger des sites qui, une fois établis, permettent le développement végétal. Les rives sont stabilisées alors par les racines (Swanson et Lienkaemper, 1982). De même, les arbres tombés mais encore accrochés par les racines aux rives, voire ensevelis dans la rive, retardent l'érosion. Enfin, les débris ligneux grossiers accroissent la stabilité de l'hydrosystème en créant de petites chutes, en concentrant l'écoulement et les turbulences. Pourtant dans des conditions extrêmes de crue, ces débris organiques contribuent alors à l'instabilité morphologique et favorisent la migration latérale du chenal (Keller et Swanson, 1979). E.J. Hickin (1984) a montré que, sous certaines conditions dynamiques comme la distorsion de la courbure de méandres, des dépôts organiques s'accumulent en rive concave. Quand les distorsions sont systématiques, les dépôts peuvent couvrir jusqu'à 33% du lit majeur. Les arbres flottants et la litière sont transportés dans cette zone, s'ajoutent aux volumes déjà déposés et accroissent l'efficacité de piégeage formant alors une digue organique très résistante.

Les cours d'eau à méandres sur lesquels se forment des embâcles de bois présentent généralement une dynamique originale de recouplement. Le chenal de la rivière étudiée par E.A. Keller et F.J. Swanson (1979) à Wildcat Creek près de Lafayette dans l'Indiana diverge autour d'amas organiques bloqués dans la courbure du méandre; l'érosion balaie localement le fond et augmente la largeur du chenal de plus de 50%. Les dépôts organiques favorisent, immédiatement à l'aval, la genèse de bancs médians de galets, d'un style tressé très localisé. Les retours d'eau à l'amont, accélèrent le recouplement par déversement.

La végétation forestière n'offre souvent qu'une faible résistance à l'écoulement de crue qui parcourt le lit d'inondation dans la courbe d'un méandre. Or le recouplement qui est un phénomène inévitable, est parfois retardé car les troncs et autres embâcles protègent la forêt et la section amont des chenaux de crue. Ceci est remarquable dans des vallées étroites à méandres actifs. Quand vient la crue, la végétation flottante est transportée hors du lit mineur où le flot sinue dans la forêt. Les troncs s'accumulent et filtrent les autres débris organiques transportés par la rivière jusqu'à ce que l'accumulation soit suffisante pour bloquer l'accès de la rivière. Ainsi, E.J. Hickin (1984) a donné l'exemple d'une courbe de la Muskwa River protégée par une digue organique de 200 m de long et de 3 m de haut. L'auteur précisa que dans ce cas, le recouplement ne pourrait se

faire que lorsque l'accumulation organique aura été démantelée, décomposée. Enfin, les barrages de détritiques peuvent aussi causer l'abandon de chenaux par la rivière en favorisant un chenal aux dépens d'un autre.

D'autres processus ont également été observés dans des rivières à lit graveleux. Les arbres et les troncs peuvent être par exemple fossilisés par des bancs situés au milieu du chenal et former un noyau pour les couches de sédimentation (Hickin, 1984). Si l'origine des bancs médians est liée à la dynamique fluviale, rapidement ils captent des débris végétaux qu'ils incorporent aux sédiments de tête. Cette rétention organique favorise l'établissement de plantes c'est-à-dire une accélération de l'engraissement des bancs. Parfois de vieux arbres peuvent être réimplantés sur ces bancs de graviers sans être pourtant intégrés dans la succession écologique habituelle.

Par conséquent, les débris ligneux grossiers favorisent l'érosion de berges et la diversification des géoformes (Keller et Swanson, 1979; House et Boehne, 1986) et augmentent donc les connexions lit majeur - lit mineur. Ils peuvent aussi stabiliser et protéger des sites (Swanson et Lienkaemper, 1982). Les processus biotiques jouent ainsi un rôle déterminant dans la dynamique fluviale des cours d'eau forestiers (Keller et Swanson, 1979; Hickin, 1984).

Sur l'Ain, un cours d'eau à méandres actifs, les recouvrements par débordement dépendraient également de processus organiques (Piégay et Bravard, 1993). La morphodynamique des rivières anastomosées (Harwood et Brown, 1993) est également influencée par ces processus qui interviennent pour diviser les flux et modifier leur vitesse dans les chenaux et le lit de débordement. B.H. Heede (1977) a montré que les troncs incorporés dans l'hydrosystème fluvial affectent le mouvement de la charge de fond.

La ripisylve agit donc sur la dynamique en produisant de la matière organique morte plus ou moins grossière. Son action est d'autant plus importante que le volume de matière végétale vivante est lui-même important. Enfin, le castor est aussi un agent morphogène et biogène étroitement intégré à cette dynamique; il joue ainsi un rôle prépondérant dans la diversification du milieu (Johnston et Naiman, 1987; Naiman *et al.*, 1988).

### 1.1.2 Volumes potentiels et mobilité des débris ligneux grossiers

#### - Les volumes potentiels

Les entrées (débris, photosynthèse), les sorties (transport, respiration) et les changements internes (utilisation, transformation) dans l'hydrosystème sont le reflet du passé et du présent de la végétation, des conditions d'érosion et d'accumulation, des vitesses d'écoulement.

L'année n'est pas typique des conditions à long terme. Étudier les inondations devient ainsi essentiel lorsque l'on s'intéresse au budget de matière organique d'un cours d'eau. 80% des particules sont en effet exportées durant une ou deux crues annuelles (Cummins *et al.*, 1983). D'une manière générale, la relation entre le débit et l'exportation de matière organique depuis de petits bassins versants est fonction du temps et du site. Il y a une adaptation périodique du volume de matière organique au système fluvial.

La déperdition continue dans une accumulation est fonction des crues mais encore de processus internes (décomposition) qui dépendent de la température et du volume de matière organique dans le cours d'eau. M.E. Harmon *et al.* (1986) ont étudié la décomposition d'*Abies Concolor* dans une forêt mixte de conifères, Sequoia National Park en Californie. Ils ont montré que les troncs se décomposent rapidement et disparaissent après 60 ans. Les pertes atteignent 50% en 14 ans et 95% en 61 ans. Plus le diamètre est important, moins la pénétration est rapide. Ainsi le taux de décomposition décroît alors que le volume s'accroît. En revanche, il augmente parallèlement aux températures et aux précipitations ce qui explique que des différences de taux existent pour de mêmes espèces d'une station à l'autre.

L'entrée, l'accumulation, la sortie de matière organique et les processus biologiques associés varient à travers un bassin de drainage. Ainsi, la taille des particules de matière organique (POM > 0,45 m) se modifie en fonction du rang du cours d'eau. La matière organique grossière (> 1-2 mm) est caractéristique des petits cours d'eau alors que la matière organique fine (< 1-2 mm ; > 0,45 m) est plus significative des grands cours d'eau.

M.E. Harmon *et al.* (1987) affirment que les débris ligneux grossiers représentent entre 17 et 64% de la matière organique en forêt. Leur influence est déterminante dans les processus géomorphologiques des petits cours d'eau puisqu'ils interviennent au niveau de la structure du chenal, de l'accumulation de sédiment et du profil en long en escalier.... Les débris ligneux grossiers se décomposent lentement et représentent des volumes souvent stables et importants qui contrôlent la genèse de "debris-jams", d'immenses radeaux de débris organiques.

#### - Prise en charge, transit et temps de résidence.

Il existe une variété de mécanismes d'entrée des débris ligneux grossiers dans les cours d'eau tels que le glissement, la chute des arbres, l'avalanche de débris, le mouvement de masse affectant l'ensemble d'un versant, l'érosion de berges, le flottage depuis l'amont, les coulées de débris ou "debris flows" (Swanson et Lienkaemper, 1976 ; Robison, 1987). Le vent et le caractère asymétrique de la masse racinaire des arbres de berge peuvent également favoriser l'introduction de ces derniers dans les cours d'eau sans qu'un quelconque sapement latéral n'en soit à l'origine (Swanson et Lienkaemper, 1986)

Au sein de l'hydrosystème, les débris ligneux grossiers sont transitoires. Ils sont en effet exportés par le flottage lors des crues, la décomposition, la migration latérale du chenal, le nettoyage du cours d'eau... (Robison, 1987) ou, dans des cours d'eau de rang 1 et 2 dont la pente dépasse 50%, par un torrent de débris.

La mobilité des débris dans un chenal dépend du temps écoulé entre deux crues. A Mack Creek (Swanson et Lienkaemper, 1987), 50% des pièces cartographiées en 1975 et 89% des pièces arrivées entre 1975 et 1977 ont été redistribuées au cours d'une seule crue décennale en novembre 1977. Ces mêmes auteurs ont montré dans un cours d'eau plus large, que moins de 10% des pièces identifiées ont bougé au cours de huit années d'observation. Ce temps de résidence est affecté par les processus de transport, les constituants chimiques du bois (décomposition...), la résistance à l'abrasion et aux cassures. L'abrasion est finalement le mécanisme le plus puissant (Maser *et al.*, 1988) alors que la décomposition reste un processus mineur, le bois mort se décomposant lentement dans l'eau mais plus rapidement à l'interface terre - eau où l'activité microbienne et invertébrée est importante. Les champignons et les invertébrés, agents de la décomposition sur terre, sont fortement aérobies. Or le bois dans l'eau ne permet qu'une faible pénétration de l'oxygène.

Dès lors, ceci démontre l'influence potentielle du bois sur la stabilité des cours d'eau pendant des décennies. La charge en débris est néanmoins plus forte dans les hauts bassins et décroît vers l'aval. Alors que dans les petits cours d'eau, les débris ligneux grossiers sont omniprésents, ils forment dans les cours d'eau du 3<sup>ème</sup> au 5<sup>ème</sup> ordre, assez larges pour redistribuer les débris, des accumulations distinctes qui affectent ponctuellement la largeur du chenal. Dans les rivières plus larges, les débris ligneux grossiers s'accumulent sur les îles et les berges et n'ont plus qu'une influence mineure sur le chenal en dehors des périodes de crue (Swanson et Lienkaemper, 1976).

### 1.2 Méthodologie d'échantillonnage

Les débris organiques ligneux des marges riveraines jouent un rôle important dans l'hydrosystème fluvial mais présentent une grande variété de formes, depuis l'arbre entièrement conservé jusqu'à de fines pièces de

branches et de brindilles, et de degrés de décomposition, depuis l'arbre vivant, en feuilles jusqu'à des troncs décomposés. Aussi, la question de la méthode d'échantillonnage se pose avec acuité. Quels seront les individus étudiés? Quelles variables retenir?

Les indicateurs sélectionnés pour comprendre la dynamique des débris au sein de l'hydrosystème seront d'ordre qualitatif et quantitatif.

### 1.2.1. Les indicateurs qualitatifs

Compte tenu de la complexité des processus, toute démarche statistique reposera sur une classification des débris. Plusieurs classifications ont déjà été proposées en fonction de la nature des débris. La première, utilisée par les auteurs américains (Platts *et al.* en 1987) est basée sur la taille des individus (tab. 53).

Si les limites retenues dans cette classification seront utilisées, l'approche proposée s'attachera également aux conditions physiologiques de l'ensemble du bois mort d'une unité fonctionnelle. Aussi l'individu de base de ce travail ne sera pas le tronc ou la branche mais l'unité spatiale. C'est pourquoi, l'indicateur définissant la nature du matériel (... de l'unité) tient compte à la fois de sa taille et de sa dynamique de dépôt.

Quatre classes sont donc proposées. La première concerne les unités fonctionnelles dans lesquelles le bois mort se présente sous la forme de troncs isolés dont le diamètre et la longueur sont respectivement supérieurs à 10 cm et 1 m. La seconde concerne les unités où la forme commune de bois mort est l'embâcle, accumulation hétérogène de bois où la structure de l'ensemble est constituée au moins de branches dont le diamètre est compris entre 3 et 10 cm. Dans la troisième classe, le bois mort se présente sous la forme de petits embâcles de brindilles (diamètre inférieur à 1 cm). La quatrième classe enfin, imposée par le terrain, regroupe les unités où coexistent troncs isolés et brindilles. L'hydrodynamique ne remanie dans ce cas là ni les brindilles ni les troncs morts qui restent donc isolés les uns des autres.

Tableau 53 - Classes de taille utilisées pour l'estimation des volumes de débris dans les cours d'eau. (d'après Platts *et al.*, 1987).

| Catégories | Classes de taille<br>(diamètre, en cm)     | Diamètre<br>moyen (en cm) |
|------------|--|---------------------------|
| brindilles | moins de 1                                 | 0.423                     |
| branchages | 1 - 3                                      | 1.792                     |
| branches   | 3 - 10                                     | 5.049                     |
| fûts       | plus de 10 (et au<br>moins 30 en longueur) |                           |

L'action du temps, qui est une expression de l'instabilité actuelle et passée du milieu, n'a pas été retenue.

Les auteurs américains (Triska et Cromack, 1979; Maser *et al.*, 1988) se sont pourtant intéressés à la décomposition du bois mort et en ont élaboré une classification intéressante basée sur les arbres au sol. Cinq classes de décomposition des sapins Douglas reposant sur 7 ou 8 indicateurs qualitatifs sont aujourd'hui largement utilisées dans les travaux américains. Néanmoins, ces auteurs ont travaillé sur des milieux originels très riches en bois mort autochtone ou allochtone et inconnus en Europe. La question de savoir si le bois de telle ou telle unité est récent ou non se pose ainsi avec beaucoup moins d'acuité en Europe qu'aux Etats-Unis dans la mesure où les corridors forestiers du vieux continent sont beaucoup plus récents. Les arbres de la forêt

alluviale de l'Ain soumis à des coupes répétées n'excèdent qu'exceptionnellement 40 ans et sont donc très différents de ceux que l'on peut observer dans certaines forêts pluri-séculaires du nord-ouest des Etats-Unis.

Par conséquent, la décomposition du bois mort ne sera pas une variable retenue dans notre typologie. Néanmoins, aborder la variabilité spatiale du bois mort uniquement à partir d'une approche qualitative apparaît insuffisant dans la mesure où l'hydrodynamique impose aussi une très grande disparité spatiale des masses.

### 1.2.2. Les indicateurs quantitatifs

L'échantillonnage du bois mort à des fins quantitatives est assez difficile à aborder en raison de la forte originalité des différents types de matériels rencontrés : embâcles, troncs isolés... Avant d'expliquer notre approche, les apports bibliographiques seront donc abordés.

Les méthodes d'échantillonnage des sédiments grossiers (Wolman, 1954; Kellerhals et Bray, 1971) ont d'abord alimenté la réflexion afin de savoir si les concepts classiques concernant l'échantillonnage d'individus très mobiles étaient applicables. Les mêmes problèmes de quantification ayant trait à la distribution des tailles ou à la variation de la composition du matériel dans l'espace, dans le temps et verticalement se retrouvent en effet dans les deux démarches. De même, la question est de savoir si cet échantillonnage doit être volumétrique ou pondéral, effectué au sein d'une aire ou sur un transect. Au contraire, des questions concernant plus spécifiquement les accumulations de bois se posent aussi en raison de leur discontinuité spatiale. Les quantités collectées doivent-elles être absolues ou relatives, doivent-elles ou non se rapporter à une unité spatiale telle que l'hectare afin d'autoriser des comparaisons?

Dans leur ouvrage méthodologique, W.S. Platts *et al.* (1987), montrent l'extrême diversité des approches. L'ensemble des débris ligneux peut être décrit comme une biomasse alors exprimée en poids ou en volume, un nombre de pièces individuelles ou un taux de couverture de l'aire d'un cours d'eau. Le comptage des pièces est souvent stratifié (branchages - branches - troncs...) afin de décrire le type de matériel concerné et sa localisation.

Cependant, la méthode proposée par De Vries en 1979 (cité par Platts *et al.*, 1987) semble la plus communément utilisée. Il s'agit d'un échantillonnage stratifié en trois classes de débris fins (diamètre inférieur à 10 cm) (tab. 53) et effectué sur un transect linéaire.

Le volume de débris de chacune des classes est alors calculé comme suit :

$$V = \frac{\Pi (\sum n d)}{8 L}$$

n, d et L représentent respectivement le nombre de pièces de la classe sur le transect, le diamètre moyen de la classe et la longueur du transect. Le volume de toutes les pièces de débris supérieures à 10 cm de diamètre est estimé parallèlement sur la section du cours d'eau considéré. Le diamètre et la longueur sont mesurés pour chaque individu et le volume V suivant est alors calculé :

$$V = (\Pi L (d^2_1 d^2_2)) / 8$$

Cette formule n'est finalement que le calcul du volume d'un cylindre pour lequel le rayon choisi est une valeur moyenne, d<sub>1</sub> et d<sub>2</sub> étant les diamètres relevés aux deux extrémités du tronc dont L est la longueur.

Le poids est calculé en multipliant le volume par 0.5. Il s'agit d'une estimation qui est utilisée par les auteurs américains pour les essences de bois tendre (Talley, 1980, cité par Platts *et al.*, 1987). Ainsi le total de la biomasse pour la section est calculé en additionnant la somme des poids de chacune des pièces. F.J. Swanson et G.W. Lienkaemper (1987) utilisent la formule mais limitent leur analyse aux troncs supérieurs ou égaux à 10

cm de diamètre et à 1,5 m de long et n'intègrent pas les racines dans ce calcul volumique. G.E. Robinson (1987) est plus restrictif puisqu'il ne retient que les pièces qui ont au moins 20 cm de diamètre et 2,5 m de long. D.A. Toews et M.K. Moore (1982), enfin, ne tiennent compte que des troncs dont la longueur excède 3 m. Si les différents auteurs n'ont utilisé qu'une seule formule de calcul, chacun affine néanmoins son approche en fonction de son terrain d'étude. Aucune comparaison globale ne peut donc être alors envisagée.

L'approche proposée ici s'efforcera de prendre compte lors de la comptabilisation des individus, de deux éléments importants. La question est de savoir si les différents types de dépôt nécessitent différents calculs et quelle méthode utiliser pour obtenir des résultats comparables quels que soient les types de débris?

La formule de calcul américaine est reprise pour estimer le volume des troncs isolés. Néanmoins, le volume des racines et des branches est également calculé à partir de la méthode employée pour estimer celui des embâcles (voir plus loin) et ajouté à celui du tronc. En revanche, lorsque ceux-ci sont extrêmement nombreux et qu'ils tapissent le sol, l'estimation d'un volume de couverture est préférée. Au sein de l'unité fonctionnelle, un espace de 10 m sur 5 est défini et le volume V est calculé en tenant compte de la part de la surface du sol couverte par le bois (S) et de l'épaisseur moyenne de l'accumulation constituée par les troncs (H). H n'est autre que le diamètre moyen lorsque la couverture n'est ni trop dense ni trop enchevêtrée. La formule est la suivante :

$$V = S H$$

Les embâcles, enfin, sont également comptabilisés à partir d'un volume fictif. Le produit de la longueur par la largeur par la hauteur d'un volume rectangulaire théorique englobant au mieux l'embâcle permet d'obtenir un volume préalable constitué d'air et de bois. Un degré d'aération est alors déterminé. Une division par 2, 4 ou 6 permet de pondérer la première estimation selon que le bois représente respectivement :

- 50% du volume, l'embâcle est dense et extrêmement hétérogène en classes de taille,
- 25% du volume, l'embâcle est constitué d'éléments grossiers et de quelques éléments fins,
- 15 à 16% du volume, l'embâcle est très ouvert et les branches et les troncs ne sont que faiblement agglomérés.

Plusieurs formules de quantification ont été retenues en fonction des types d'individus. Néanmoins, tous les calculs ont été rapportés à un volume puis à un tonnage.

Comme l'ont fait les auteurs anglo-saxons, nous utiliserons le produit du volume par 0,5 pour calculer le poids.

Ce dernier est rapporté à une surface bien identifiée, le secteur ou l'unité fonctionnels, la surface de prélèvement. La valeur statistique est exprimée en hectare pour permettre la comparaison. Ainsi le tonnage de l'ensemble des troncs isolés appartenant à une unité fonctionnelle précise est quantifié et rapporté à l'hectare. Le volume de couverture est immédiatement comparable. Quant aux embâcles, ils sont additionnés selon leur poids et dans le cadre de leur unité. Le poids total par unité est alors lui aussi rapporté à l'hectare.

Un tonnage moyen par embâcle peut être également calculé dans chaque unité afin d'apprécier les différences qui existent dans ce cadre dynamique précis ou entre ces unités.

## 2. Débris ligneux grossiers et style géomorphologique

L'étude de la masse, de la forme et des sites préférentiels de dépôt des débris ligneux grossiers est proposée. Elle porte successivement sur les rivières à tresses et les rivières à méandres car chacune d'elles dispose d'une dynamique spécifique.

La collecte a malheureusement été différente d'une rivière à l'autre. Sur les systèmes tressés, elle a été effectuée sur une bande perpendiculaire à l'axe du chenal (transect biomorphologique) dont la largeur est de 8

m sur l'Ouvèze et de 20 m sur le Giffre et l'Ubaye. La quantification des masses a donc été conduite sur des superficies de 0,13 à 0,8 ha selon la longueur du transect (tab. 54 et 55). Sur l'Ain et l'Ardèche, le recensement est plus exhaustif puisque la surface retenue est très étendue (10 à 85 ha) et correspond à un secteur fonctionnel (tab. 56).

Quel que soit le cours d'eau, les masses, absolues ou relatives à un hectare, ont été estimées afin de faciliter les comparaisons. Deux types de bois ont été observés et distingués selon les hydrosystèmes : les troncs isolés d'origine endogène ou exogène et les embâcles.

### 2.1 Les rivières à tresses

La localisation, la masse, et la forme des débris ligneux grossiers sur les rivières tressées que sont l'Ouvèze, le Giffre et l'Ubaye ont été étudiées.

L'Ouvèze apparaît comme un cas original car la crue récente a élargi la bande active de 32% aux dépens des peuplements riverains et par conséquent a fortement alimenté le milieu en bois flotté. Aussi, convient-il de bien distinguer les types de débris ligneux dans une perspective temporelle. Au sein d'un même hydrosystème, leurs caractéristiques peuvent se modifier au gré du temps et des événements paroxysmiques.

Le Giffre et l'Ubaye sont caractérisés par des masses de débris ligneux grossiers faibles, ne dépassant jamais 3 t.ha<sup>-1</sup>. Le bois mort est constitué d'individus isolés (fûts) et rarement d'embâcles. Néanmoins, il s'agit principalement de bois flottés et les apports endogènes sont faibles. Les bancs de galets de la bande active forment les sites préférentiels du dépôt. Celui-ci, très épars, est distribué en de multiples micro-accumulations, la moyenne de chaque relevé étant toujours inférieure à 100 kg. Ces micro-accumulations sont visibles dans ce paysage abiotique et ouvert et donnent l'impression aux riverains et aux gestionnaires que les volumes en transit sont très abondants. Or, 2,6 tonnes de bois seulement occupent une surface de bande active de 3 200 m<sup>2</sup> sur le site de Verchaix, le plus riche de tous (photographie). La masse observée est estimée ainsi à 8,1 t.ha<sup>-1</sup> ce qui est très inférieur à celles observées sur les rivières à méandres.

Tableau 54 - Les masses de débris ligneux grossiers observées sur les sites du Giffre et de l'Ubaye.

|  | Giffre   |           | Ubaye         |         |              |
|--|----------|-----------|---------------|---------|--------------|
|  | Verchaix | Millières | Champanastais | Méolans | Enchastrayes |
| Nombre de relevés                              | 39       | 38        | 9             | 51      | 69           |
| Part des embâcles (en % des relevés)           | 15       | 0         | 0             | 10      | 14           |
| Superficie totale étudiée (en m <sup>2</sup> ) | 3600     | 2800      | 3800          | 6500    | 8000         |
| Masse totale (en tonnes)                       | 2,6000   | 0,0380    | 0,0120        | 0,3900  | 1,8000       |
| Masse totale (en t.ha <sup>-1</sup> )          | 7,2200   | 0,1400    | 0,0300        | 0,6000  | 2,2500       |
| Moyenne (en tonnes)                            | 0,0700   | 0,0100    | 0,0014        | 0,0076  | 0,0260       |
| Maximum (en tonnes)                            | 0,9500   | 0,0250    | 0,0095        | 0,1250  | 0,9700       |
| Bande active (en % du total)                   | 99,00    | 73,00     | 0,00          | 48,00   | 93,30        |
| Stades pionniers (en % du total)               | 1,00     | 0,00      | 0,00          | 43,00   | 6,65         |
| Stades post-pionniers (en % du total)          | -        | 25,00     | 100,00        | 2,50    | 0,00         |
| Forêt mûre (en % du total)                     | 0,00     | 2,50      | 0,00          | 6,50    | 0,05         |
| Contact bande act. - forêt (en % du tot)       | 0,00     | 0,00      | 0,00          | 0,00    | 0,00         |
| Masse endogène (en % du total)                 | 0,00     | 25,00     | 100,00        | 9,00    | 0,05         |

Sur l'Ouvèze, les masses qui ont été observées sont beaucoup plus importantes et atteignent des valeurs de 40 à 80 t.ha<sup>-1</sup>, proches de celles observées sur les rivières à méandres. La forme d'accumulation principale et presque unique est l'embâcle. Celui-ci se développe au contact du lit mineur et de la forêt et forme une ligne de débris caractéristique (photographie 24). 60 à 100% des tonnages sont localisés sur cette ligne ce qui montre bien la capacité de rétention de la lisière. La ligne de débris n'est pas continue comme cela a été mis en évidence lors de la cartographie biomorphologique du site de Violès (fig. 101). En fait, seuls les sites soumis à une très forte dynamique de régénération sont marqués par une ligne de débris. Leur localisation correspond en effet à l'axe des écoulements. C'est le cas de Saint-Michel où le contact bande active - forêt est situé en concavité. C'est aussi le cas d'un site particulier de Violès, la marge boisée de rive droite (sur le transect), perpendiculaire aux flux arrivant du lit majeur de rive gauche.

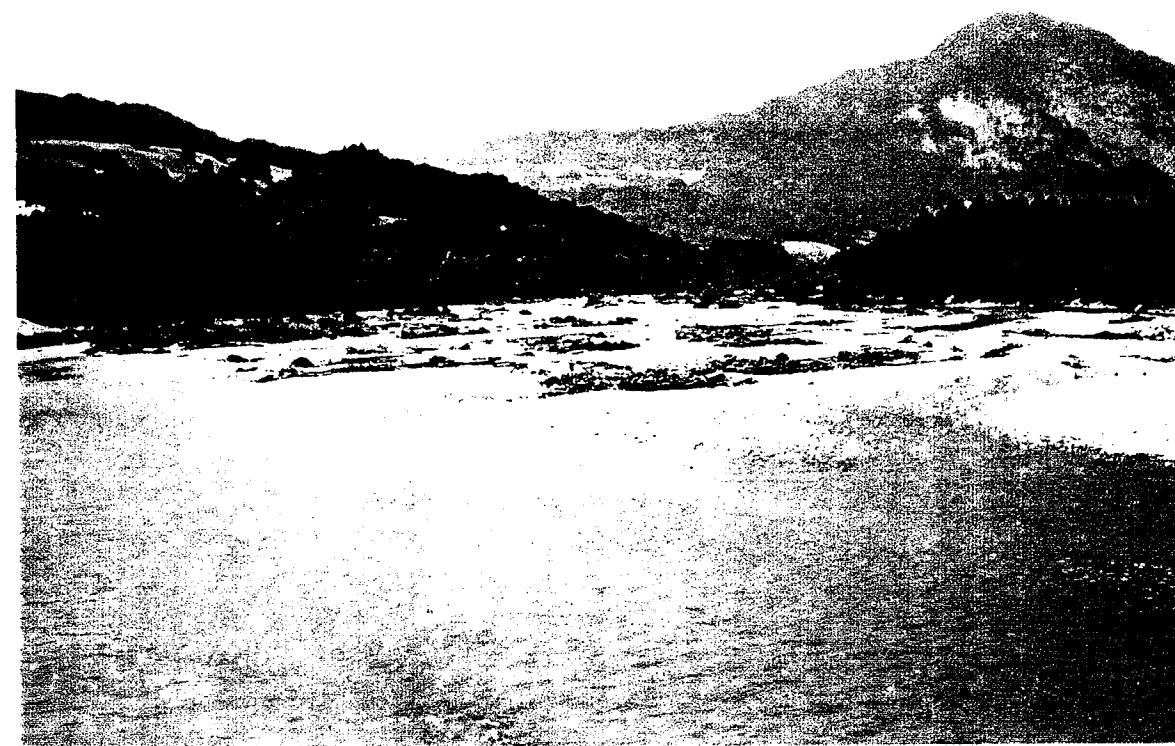
Sur ces rivières à tresses, les crues fréquentes sont peu pourvoyeuses de bois mort dans la mesure où :

- La bande active dispose d'une faible dynamique latérale et la mobilité, lorsqu'elle est observée, ne touche souvent qu'une étroite marge boisée. Les deux rives sont souvent érodées ce qui montre, lorsque le système est en équilibre et que la largeur de la bande active reste constante, que le chenal se déplace modérément tantôt d'un côté, tantôt de l'autre. Cette divagation s'effectue le plus souvent aux dépens d'une zone pionnière - tampon entre la forêt proprement dite et la bande active. Or, ces pionniers n'alimentent que modérément la rivière en débris ligneux car ils sont très flexibles et donc rarement pris en charge par la crue et ils disposent de masses de bois négligeables compte tenu de leur diamètre et de leur hauteur.
- La bande de tressage du Giffre, de l'Ubaye mais aussi de l'Ouvèze est très rectiligne. Elle ne présente que de rares contacts orthogonaux entre les flux dominants et la lisière forestière et exerce principalement une fonction d'exportation des débris vers l'aval, les dépôts se faisant aussi sur les bancs de galets lorsque les troncs touchent le fond ou que la compétence des écoulements devient insuffisante.

Sur l'Ouvèze, l'importance des masses de débris, la localisation et la dynamique des dépôts sont originaux. Les mécanismes observés s'apparentent plus à ceux d'une rivière à méandres qu'à ceux d'une rivière à tresses. En fait, la crue, exceptionnelle, a modifié la direction habituelle des flux, leur orientation étant parfois presque perpendiculaire à la bande active, et induit une formidable érosion latérale marquée par une augmentation de 32% de la bande active non seulement aux dépens des marges pionnières généralement remaniées mais aussi, après la destruction initiale de cette zone tampon, de la forêt proprement dite. Celle-ci, très pourvoyeuse en bois compte tenu de l'âge et de la faible flexibilité de ses peuplements, a permis à l'hydrosystème, durant un temps très court, de s'alimenter, de transporter et de stocker des débris en quantité exceptionnelle.

Tableau 55 - Les masses de débris ligneux grossiers observées sur les deux sites de l'Ouvèze.

|  | Violès | Saint-Michel |
|--|--------|--------------|
| Superficie totale d'échantillonnage (en m <sup>2</sup> ) | 1560   | 1320         |
| Masse totale (en tonnes)                                 | 6,8    | 10,4         |
| Masse totale (en t.ha <sup>-1</sup> )                    | 43,5   | 78,6         |
| Bande active (en % du total)                             | 0      | 0            |
| Stades pionniers (en % du total)                         | 0      | -            |
| Stades post-pionniers (en % du total)                    | -      | 100          |
| Forêt mûre (en % du total)                               | 100    | -            |
| Contact bande active - forêt (en % du total)             | 62     | 98           |
| Masse endogène (en % du total)                           | 92     | 100          |



Photographie 23 - Les débris de bois flottés dans la bande de tressage du Giffre au niveau du secteur de Verchaix (vue vers l'amont).



Photographie 24 - La ligne de débris de la berge de concavité du secteur de Saint-Michel sur l'Ouvèze après la crue du 22 septembre 1992 (prise de vue depuis la rive gauche).

Sur l'Ouvèze, les masses qui ont été observées sont beaucoup plus importantes et atteignent des valeurs de 40 à 80 t.ha<sup>-1</sup>, proches de celles observées sur les rivières à méandres. La forme d'accumulation principale et presque unique est l'embâcle. Celui-ci se développe au contact du lit mineur et de la forêt et forme une ligne de débris caractéristique (photographie 24). 60 à 100% des tonnages sont localisés sur cette ligne ce qui montre bien la capacité de rétention de la lisière. La ligne de débris n'est pas continue comme cela a été mis en évidence lors de la cartographie biomorphologique du site de Violès (fig. 101). En fait, seuls les sites soumis à une très forte dynamique de régénération sont marqués par une ligne de débris. Leur localisation correspond en effet à l'axe des écoulements. C'est le cas de Saint-Michel où le contact bande active - forêt est situé en concavité. C'est aussi le cas d'un site particulier de Violès, la marge boisée de rive droite (sur le transect), perpendiculaire aux flux arrivant du lit majeur de rive gauche.

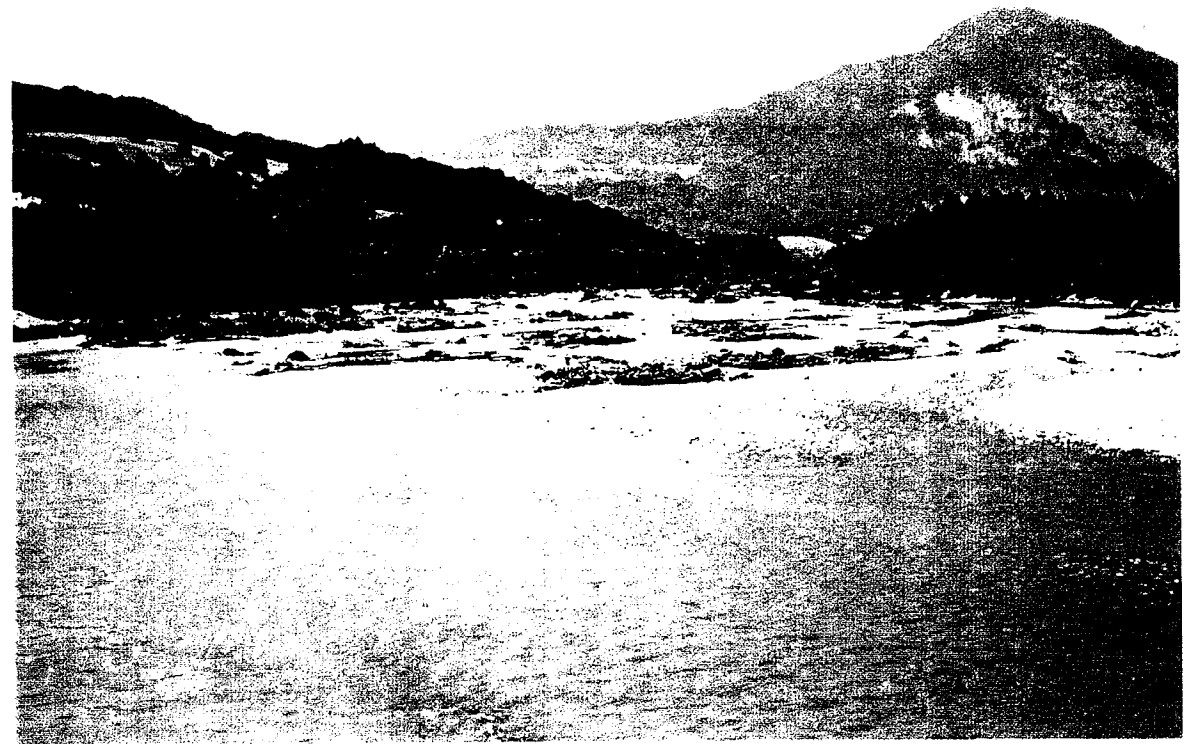
Sur ces rivières à tresses, les crues fréquentes sont peu pourvoyeuses de bois mort dans la mesure où :

- La bande active dispose d'une faible dynamique latérale et la mobilité, lorsqu'elle est observée, ne touche souvent qu'une étroite marge boisée. Les deux rives sont souvent érodées ce qui montre, lorsque le système est en équilibre et que la largeur de la bande active reste constante, que le chenal se déplace modérément tantôt d'un côté, tantôt de l'autre. Cette divagation s'effectue le plus souvent aux dépens d'une zone pionnière - tampon entre la forêt proprement dite et la bande active. Or, ces pionniers n'alimentent que modérément la rivière en débris ligneux car ils sont très flexibles et donc rarement pris en charge par la crue et ils disposent de masses de bois négligeables compte tenu de leur diamètre et de leur hauteur.
- La bande de tressage du Giffre, de l'Ubaye mais aussi de l'Ouvèze est très rectiligne. Elle ne présente que de rares contacts orthogonaux entre les flux dominants et la lisière forestière et exerce principalement une fonction d'exportation des débris vers l'aval, les dépôts se faisant aussi sur les bancs de galets lorsque les troncs touchent le fond ou que la compétence des écoulements devient insuffisante.

Sur l'Ouvèze, l'importance des masses de débris, la localisation et la dynamique des dépôts sont originaux. Les mécanismes observés s'apparentent plus à ceux d'une rivière à méandres qu'à ceux d'une rivière à tresses. En fait, la crue, exceptionnelle, a modifié la direction habituelle des flux, leur orientation étant parfois presque perpendiculaire à la bande active, et induit une formidable érosion latérale marquée par une augmentation de 32% de la bande active non seulement aux dépens des marges pionnières généralement remaniées mais aussi, après la destruction initiale de cette zone tampon, de la forêt proprement dite. Celle-ci, très pourvoyeuse en bois compte tenu de l'âge et de la faible flexibilité de ses peuplements, a permis à l'hydrosystème, durant un temps très court, de s'alimenter, de transporter et de stocker des débris en quantité exceptionnelle.

Tableau 55 - Les masses de débris ligneux grossiers observées sur les deux sites de l'Ouvèze.

|  | Violès | Saint-Michel |
|--|--------|--------------|
| Superficie totale d'échantillonnage (en m <sup>2</sup> ) | 1560   | 1320         |
| Masse totale (en tonnes)                                 | 6,8    | 10,4         |
| Masse totale (en t.ha <sup>-1</sup> )                    | 43,5   | 78,6         |
| Bande active (en % du total)                             | 0      | 0            |
| Stades pionniers (en % du total)                         | 0      | -            |
| Stades post-pionniers (en % du total)                    | -      | 100          |
| Forêt mûre (en % du total)                               | 100    | -            |
| Contact bande active - forêt (en % du total)             | 62     | 98           |
| Masse endogène (en % du total)                           | 92     | 100          |



Photographie 23 - Les débris de bois flottés dans la bande de tressage du Giffre au niveau du secteur de Verchaix (vue vers l'amont).



Photographie 24 - La ligne de débris de la berge de concavité du secteur de Saint-Michel sur l'Ouvèze après la crue du 22 septembre 1992 (prise de vue depuis la rive gauche).

## 2.2 Les rivières à méandres

La nature, la masse et la répartition spatiale des débris ligneux ont été observées sur deux secteurs, celui du pédoncule de méandre de Mollon sur l'Ain et celui des îles de la Borie situées dans la concavité du méandre de Chauzon (Ardèche). Ces derniers ont été choisis car ils étaient riches en bois mort et étroitement connectés au lit mineur, la crue de débordement étant d'une fréquence inférieure à 2 ans.

La nature des débris sera d'abord plus spécifiquement étudiée sur l'Ain, l'analyse portant sur l'ensemble du bois mort présent dans le pédoncule (fig.134). Sa répartition et sa masse seront étudiées par type d'unité (fig.135).

Comme l'embâcle constitue la principale forme d'accumulation du bois, sa distribution spatiale fera l'objet dans un second temps d'une analyse plus détaillée portant sur les deux secteurs fonctionnels de Mollon et de Chauzon.

### 2.2.1 La nature des débris : le cas de Mollon

Les matériaux ligneux déposés sur le site de Mollon présentent des formes et des masses diverses régies par l'intensité de l'hydrodynamique et un gradient spatial de rugosité biologique et morphologique.

La figure 135 montre globalement que les masses de bois sont d'autant plus importantes que l'unité végétale dans laquelle elles sont estimées est proche de l'axe d'écoulement. Néanmoins, il existe une très grande hétérogénéité puisque sur les bancs de galets, des stations n'ont pas de bois (bancs latéraux) alors que d'autres en ont avec des masses dépassant les  $100 \text{ t.ha}^{-1}$  (bancs récents de galets projetés dans la forêt située sur la berge de concavité). En revanche, le bois mort est absent des stades de végétation non arborés tels que les stades pionniers (herbacées) et post-pionniers (saussaie basse) ou les zones de landes peu anthropisées. Il est par contre plus présent dans les stades arborés récents et se réduit dans la forêt mature.

La répartition de ces débris ligneux grossiers a été cartographiée en fonction de leur nature et de leur masse estimées sur les parcelles d'échantillonnage définies précédemment dans différentes unités végétales et rapportées à un tonnage par hectare afin qu'elles soient comparables (fig. 134).

L'étendue de la population varie de  $0,010 \text{ t.ha}^{-1}$  à plus de  $200 \text{ t.ha}^{-1}$  et les embâcles constituent la principale forme d'accumulation de bois mort dans ce secteur. Ils sont préférentiellement localisés dans le cadre étroit des axes fluviaux (l'Ain et les trois chenaux secondaires) et des unités riveraines. En fait, les flux hydriques et les facteurs de rugosité naturels ou influencés jouent ici encore un rôle fondamental dans la répartition des masses et mettent en valeur plusieurs ensembles selon que le site se trouve dans la bande active (masse faible), au sein de la forêt alluviale (masse moyenne à faible) ou au contact des deux (masse importante).

Les troncs partiellement remaniés correspondent à des débordements secondaires au sein de la forêt riveraine. Ce bois mort des espaces forestiers instables est assez hétérogène dans ses formes et ses masses. Les processus en jeu sont complexes, la rétention est plus longue et plusieurs cas sont à distinguer en fonction de l'intensité de l'écoulement et de la réponse des facteurs de rugosité. Dans les zones boisées à faible hydrodynamique, seules les brindilles sont remaniées. Le matériel est fin, facilement pris en charge et exporté alors que les facteurs de résistance semblent peu efficaces. Les accumulations s'observent au pied des arbres et leur masse est négligeable. Les petits embâcles de bois apparaissent lorsque la dynamique, qui est perturbée par les conditions locales intra-forestières, s'accroît. Celle-ci trouve à la fois le matériel à redistribuer et les contraintes (arbres en place) freinant la migration aval du bois mort. En fait, plus la dynamique fluviale augmente, plus le nombre d'embâcles décroît alors que leur masse s'accroît.

Les troncs flottés caractérisent le banc inférieur de convexité. Lorsque l'axe de l'Ain est rectiligne, les bancs de galets latéraux, étroits, semblent en revanche peu propices au dépôt. Le bois mort des espaces non végétalisés instables regroupe en fait des dépôts passifs et semi-passifs, peu morphogènes. L'écoulement les prend en charge au gré de la crue et de la décrue ou les fossilise rapidement. Un tronc de 12 m de long et de 50 cm de diamètre ainsi que ses racines, qui étaient localisés sur la partie haute du banc inférieur de convexité, ont été fossilisés au 9/10 en un an (1991-1992). Seule, la fin momentanée de la compétence des eaux et par conséquent l'influence du fond favorisent la stabilisation des matériaux flottés et retardent leur migration aval. Déposés préférentiellement sur les bancs de galets de convexité, les troncs flottés ne présentent que des quantités négligeables rapportées à l'hectare. En revanche, les individus sont rares, 2 à 4 par bancs, isolés les uns des autres et sont souvent assez volumineux puisqu'ils associent des racines abondantes, un fût long, un gros diamètre et des branches maîtresses. Leur rôle paysager est majeur car il favorise une discontinuité visuelle dans un espace ouvert assez homogène. A leur échelle, ils contribuent ainsi à augmenter la diversité non seulement écologique mais encore paysagère de l'hydrosystème.

Les simples remaniements de surface caractérisent un environnement relativement stable où les débris ligneux grossiers sont peu présents. Quelques rares troncs gisent parfois au sol mais ne répondent presque jamais à l'orientation des flux. Ils se manifestent aussi à l'aval de la île ouest où l'instabilité est pourtant extrêmement importante. Les débris ligneux sont stoppés à l'amont (zone d'embâcles de la concavité) et ne peuvent pas pénétrer à l'aval depuis l'axe de l'Ain dans la mesure où un bourrelet de rive colonisé par une population dense de jeunes peupliers protège cette section de la île de toute incursion organique. Aussi, seuls quelques amas de brindilles dont l'origine est cette fois allochtone caractérisent le secteur.

Les débris stables répondent à une dynamique endogène. Situés à l'écart de toute activité hydrodynamique, ils sont épars et quantitativement négligeables (de  $0,001$  à  $5 \text{ t.ha}^{-1}$ ); leurs positions et leurs orientations n'obéissent non pas aux flux mais à des agents internes, biologiques ou à des agents externes très ponctuels d'ordre météorologique tels que le vent ou la neige. La litière reste en place et les arbres morts restent au sol dans la position qu'ils avaient après leur chute. Leur stabilité est ainsi le résultat de l'histoire. Les exemples sont nombreux : forêts anciennes et landes occupant la partie déboisée de la zone sud, secteurs à saules arbustifs du nord-ouest et du centre-nord.

Par ailleurs, l'influence de l'homme s'exprime aussi dans la partie sud du secteur où sont observées des zones déboisées ou des parcelles agricoles abandonnées. Elle conduit à réduire les masses de bois mort en détruisant les sources d'approvisionnement et en altérant les structures de rugosité. Une parcelle agricole héritée qui est traversée par deux axes secondaires d'écoulement à peine perceptibles, forme ainsi un hiatus entre les deux espaces forestiers amont et aval où les flux ont imprimé leur marque par un brassage extraordinaire du bois mort. Or, cette parcelle semble épargnée par cette dynamique organique car elle forme un espace ouvert, sans obstacles. Au centre du secteur sud, de gros embâcles se sont constitués; certains sont très frais et indiquent l'existence de flux dans des secteurs pourtant protégés. En ouvrant la forêt, l'homme a par conséquent favorisé un espace de transit organique à partir de la concavité de la île centrale jusqu'au front de coupe situé à l'aval où le bois est bloqué dans sa migration aval par des arbres en place.

### 2.2.2 L'embâcle de bois dans les rivières à méandres

L'analyse détaillée d'un pédoncule de méandre sur l'Ain et d'une zone à chenaux multiples à forte sinuosité sur l'Ardèche révèle que la plupart des débris ligneux grossiers se situent à l'interface lit majeur - lit mineur en berge concave (fig. 136).



Ils forment une ligne plus ou moins jointive de débris accumulés en embâcles. Cette ligne représente ainsi de 50 à 75% de l'ensemble des débris accumulés dans le secteur, soit une masse de 500 à 900 kg par mètre linéaire de berge (tab. 56). L'embâcle est ainsi la principale forme d'accumulation du bois mort, la masse de chaque accumulation variant sur le site de Chauzon de 10-15 kg à près de 60 tonnes et la masse totale étant estimée à près de 350 tonnes. Rapportée à l'hectare de ripisylve, la masse de ces dépôts, près de 37 t.ha<sup>-1</sup> à Chauzon, est ainsi très supérieure à celle observée sur les rivières à tresses.

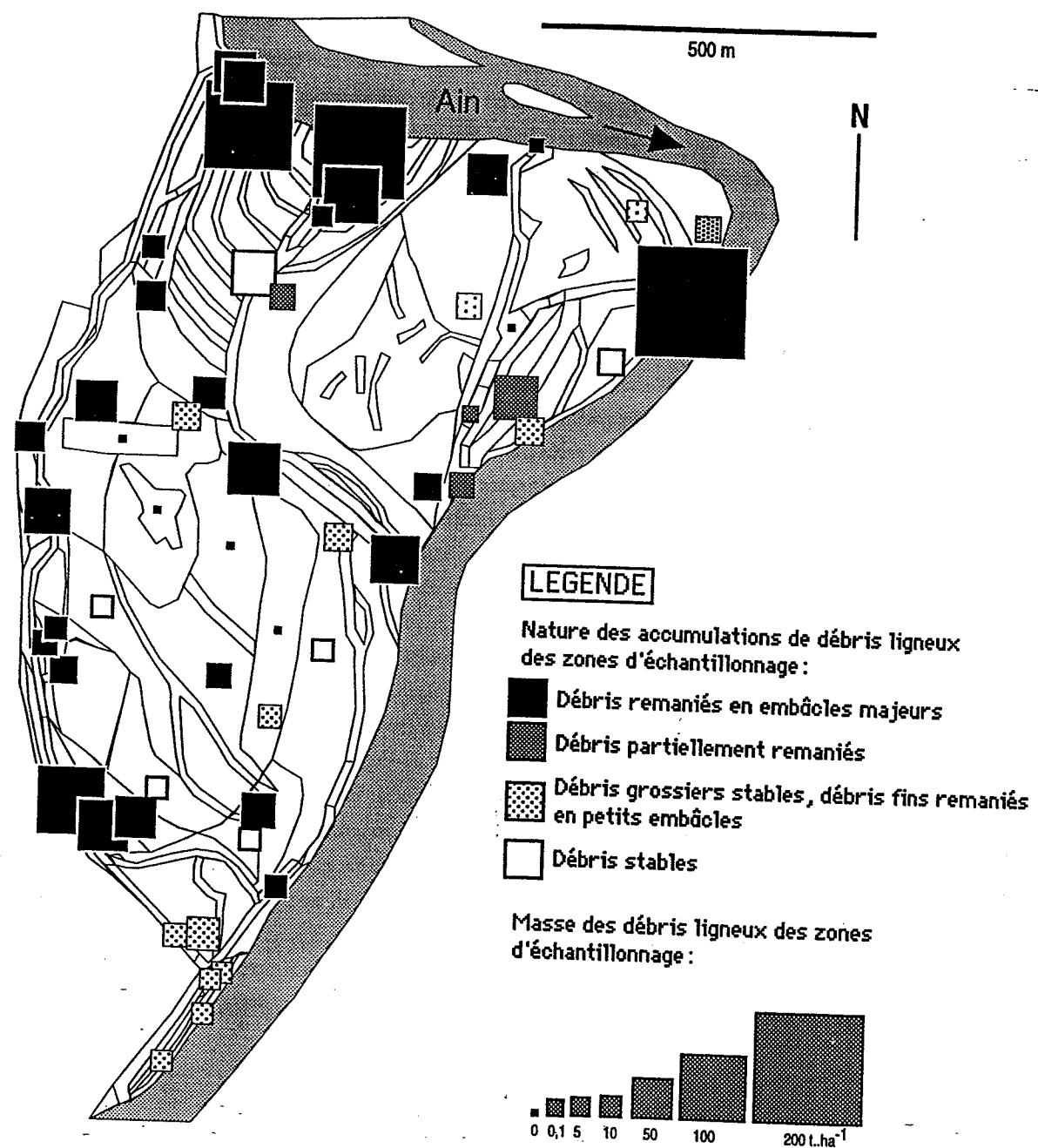


Figure 134 - Nature et masse des débris ligneux grossiers sur les stations d'échantillonnage du secteur de Mollon, basse vallée de l'Ain.

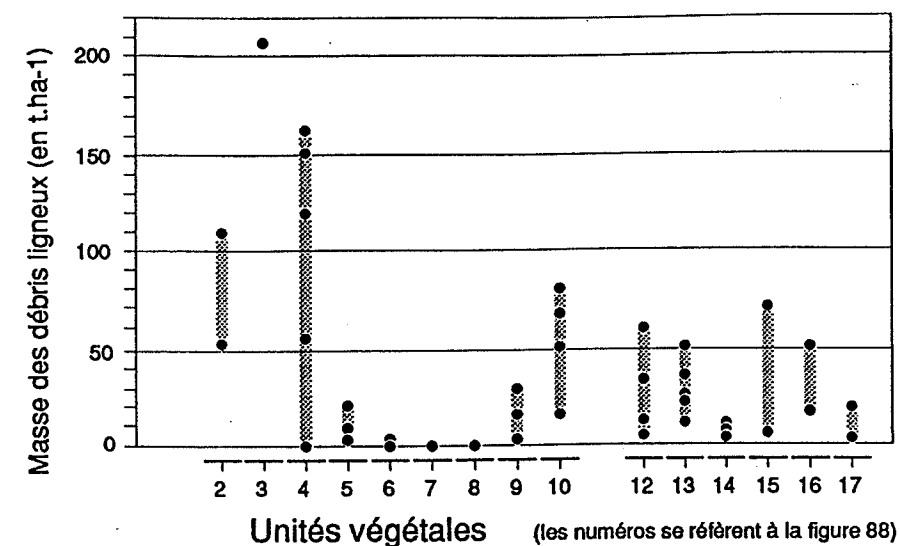


Figure 135 - Masse des débris ligneux grossiers et type d'unité végétale dans le secteur de Mollon, basse vallée de l'Ain.

Tableau 56 - Les masses de débris ligneux grossiers observées sur les sites de l'Ain et de l'Ardèche.

|  | Mollon<br>(Ain) | Chauzon<br>(Ardèche) |
|--|-----------------|----------------------|
| Superficie totale d'échantillonnage (en ha)            | 85,2            | 10,0                 |
| Masse totale (en tonnes)                               | 325,5           | 371,7                |
| Masse totale (en t.ha <sup>-1</sup> )                  | 3,8             | 37,1                 |
| Nombre de relevés                                      | 93,0            | 110,0                |
| Embâcle moyen (en tonnes)                              | 3,5             | 3,4                  |
| Embâcle minimum (en tonnes)                            | 0,1             | 0,02                 |
| Embâcle maximum (en tonnes)                            | 23,0            | 59,0                 |
| Masse au contact bande active - forêt (en % du total)  | 45,0            | 74,0                 |
| Ligne de débris (en tonne par mètre linéaire de berge) | 0,5             | 0,9                  |

Sur l'Ain, les sites les plus fournis en bois mort correspondent aux axes de recoupement et surtout aux rives boisées. Toutes les accumulations majeures se manifestent dans les concavités ou dans la section amont des chenaux de débordement. Vers l'aval, la quantité de bois mort s'amointrit, même si localement quelques fortes concentrations sont encore observées. Les embâcles sont rarement isolés et chaque concentration se distingue des autres en fonction du nombre et de la masse de chacune de ses accumulations. Comme dans les deux zones de concavité majeure, les concentrations les plus importantes ne reposent que sur quelques gros embâcles. Inversement, les groupements faibles et moyens sont constitués d'une multitude d'individus de faible poids. Une relation statistique existe ainsi entre le tonnage d'embâcles par hectare et le tonnage moyen par embâcle ( $r = 0,975$ ).

Ces embâcles de contact créent des encoches de poussée et canalisent les flux de débordement (photographies 25 et 26). Ils favorisent ainsi une érosive aréolaire qui sculpte sous forêt de futurs chenaux actifs. En fait, l'intensité de l'hydrodynamique et la rugosité hydraulique des structures biotiques et morphologiques du site expliquent la répartition des masses de bois mort. Selon que la station d'échantillonnage se trouve dans la bande active, au sein de la forêt alluviale ou au contact des deux, les masses quantifiées seront faibles, moyennes ou importantes.

A l'interface bande active - unité forestière, le bois mort écotonal constitue de volumineux embâcles (photographie 27) aux formes diverses selon l'importance du chenal et de l'écoulement (Ain ou lône secondaire), le site de dépôt (concavité) et les forces de rugosité. Sont ainsi distingués :

- **L'embâcle de contact à effet bulldozer** qui forme généralement une encoche de poussée et dispose d'une capacité érosive potentielle extraordinaire.

Il forme au départ un mur organique qui rejette les eaux dans l'axe fluvial. Lorsque les forces d'écoulement deviennent supérieures aux forces de rugosité, l'embâcle dispose d'un effet bulldozer non plus potentiel ou différé mais actif et migre alors dans la forêt sous la poussée des eaux. L'arrachage et le curetage favorisent un profond rajeunissement du secteur poussant en avant les arbres en place qui sont alors fossilisés sous la langue de galets qui suit le système organique transgressif. Les plus importants sont directement liés à la dynamique de l'Ain et correspondent à une concavité de méandre active aujourd'hui, comme l'ensemble septentrional, ou hier, c'est-à-dire en 1971, comme l'ensemble nord-est situé au coeur de la convexité actuelle et à l'amont d'une zone arborée résiduelle (photographie 28). Le premier est étendu géographiquement et son attractivité en tant que site préférentiel de dépôt est favorisé par la présence de chenaux de rupture de méandres qui sont des espaces ouverts vers l'aval dans lesquels se dirigent les écoulements. Dans ce cas, l'embâcle favorise, tout en conservant une mobilité intraforestière, la concentration des écoulements et par voie de conséquence la préservation, voire le recalibrage de ce chenal de débordement. Lorsque l'embâcle stationne, il joue un rôle agressif constant, augmente la rugosité du milieu vis-à-vis de l'écoulement et favorise une turbulence accrue des eaux qui agit sur le modelé. Le dépôt organique est ample et constitué de plusieurs gros embâcles d'une taille de 10 à 15 tonnes.

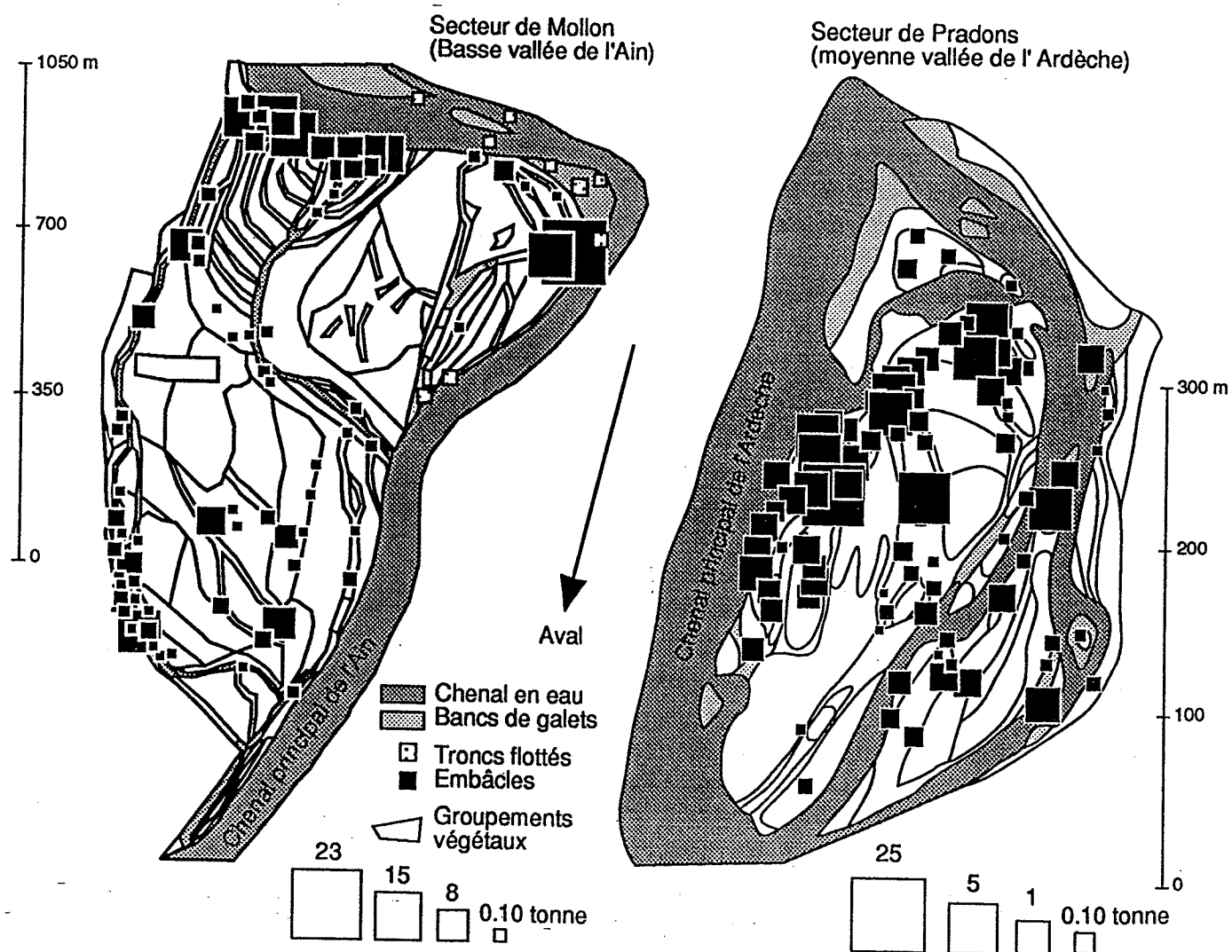
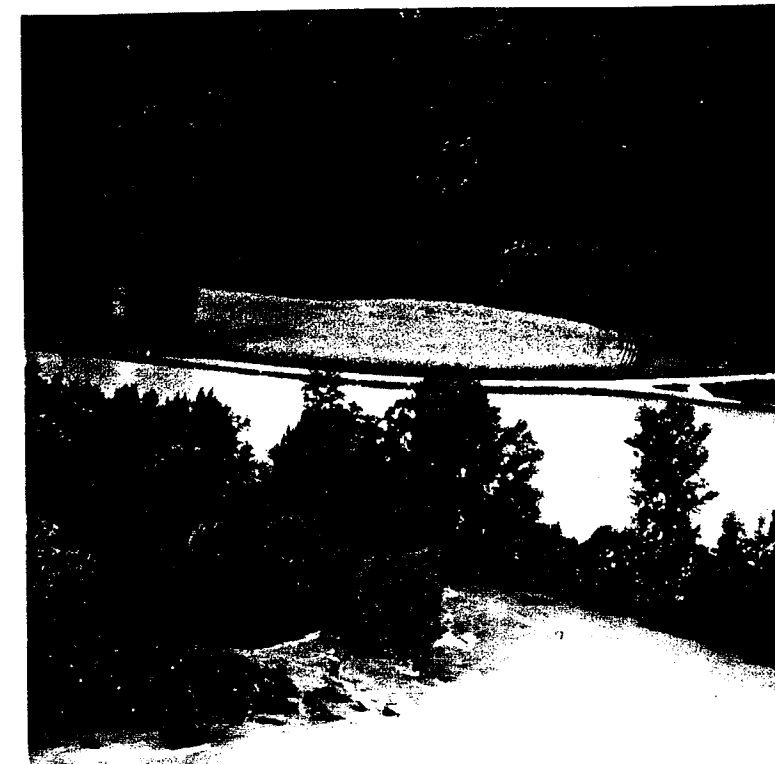


Figure 136 - Localisation et masse des embâcles de bois sur les sites de concavités de Mollon (Ain) et de Chauzon (Ardèche).



Photographies 25 et 26 - La canalisation de l'écoulement par la ligne de débris, exemple des parties amont des lônes occidentale (25) et médiane (26) de Mollon sur l'Ain lors de la crue de l'automne 1993.



Photographie 27 - La ligne de débris de l'actuelle berge de concavité de Mollon sur l'Ain (vue vers l'amont).



Photographie 28 - L'embâcle majeur de la concavité de l'Ain qui était active en 1971, partie orientale du pédoncule de méandre de Mollon sur l'Ain.

- **L'embâcle de contact à diffluence latérale active** qui caractérise les axes mineurs d'écoulement.

La masse de bois qui se dépose varie selon la capacité de transport des flux. Constituées de brindilles et de branchages locaux perpendiculaires à l'écoulement, des accumulations se succèdent à intervalle régulier de l'amont vers l'aval. Leur localisation est régie par le rapport des forces qui existe entre la rugosité du milieu (appuis latéraux joués par les arbres) et la compétence des eaux. Si le contact végétal (appui sur deux arbres ...) ou morphologique (talus d'érosion) est très important, un embâcle volumineux peut naître. Lorsqu'il est établi et stabilisé, les eaux diffluent latéralement au sein de la forêt à la recherche d'un chemin aval. Un important embâcle, localisé dans un axe mineur d'écoulement au contact de la zone déboisée et de la forêt ancienne dans le secteur méridional de Mollon, relève de cette dynamique. Cependant le site et les matériaux (rondins), même s'ils répondent à des processus naturels de dépôt, sont d'origine anthropique.

- **Un champ de petits et moyens embâcles** qui est observé dans le secteur sud de la lône ouest.

Sur un immense espace déboisé, s'entrelacent des chenaux d'érosion et des embâcles d'importance diverse. Un embâcle de contact transgressif agit comme un bouchon organique, réduit la pente du plan d'eau amont et donc la compétence des eaux et essaime derrière lui cette nuée d'embâcles que l'on pourrait qualifier d'embâcles de fin de compétence forcée.

Après avoir montré la relation étroite qui existe entre les débris ligneux et le style géomorphologique ainsi que l'importance de la ligne de débris des concavités de méandre, l'objet de ce troisième point, à la fois descriptif, explicatif et comparatif, abordera la distribution des débris ligneux le long de trois berges concaves.

### **3. Distribution des débris ligneux grossiers sur la berge de concavité de trois méandres de l'Ain**

Les analyses précédentes ont montré que la concavité était le site préférentiel du dépôt de bois mort dans les rivières à méandres.

L'objet de ce chapitre sera de mieux comprendre la distribution de ces masses de débris au sein d'une même concavité et d'une concavité de méandre à l'autre. L'objectif sera de déterminer une variabilité intrasite et intersite étant donné la spécificité, notamment le degré d'incision ou taux de sinuosité, de chacun d'eux.

La méthode et les résultats seront successivement présentés.

La distribution de la masse des débris ligneux grossiers a été étudiée sur la berge concave de trois méandres de l'Ain : Bublanne, Mollon, et Blyes. Ces trois secteurs sont représentatifs de la section à méandres de la basse vallée (fig.137). Développés sur un tronçon de 15 km, Bublanne, Mollon, 5 km à l'aval, et Blyes, encore 10 km plus à l'aval, ont un linéaire de berges concaves d'environ 600 m (tab. 57). Ils sont caractérisés par la même évolution diachronique, une translation du chenal vers l'aval (Hooke, 1977) accompagnée d'une érosion dans l'axe de translation aval du méandre (Malavoi, 1985). La vitesse de migration est forte, estimée par exemple à près de 9 m/an à Blyes entre 1973 et 1991, et à plus de 15 m/an à Mollon entre 1963 et 1991.

En revanche, la forme du méandre est variable (tab. 57). Le taux de sinuosité, calculé entre les deux points d'inflexion (l et l'), et le ratio  $r/l$  (rayon de courbure / largeur de la bande active) (Hickin, 1974; Hickin et Nanson, 1975) montrent que chaque méandre se situe à un stade d'évolution particulier. Mollon présente une forme mûre dont la vitesse de migration, compte tenu de la valeur du ratio  $r/l$ , est maximale; un recouplement devrait se produire à court terme (Piégay, 1994). Blyes présente un stade plus avancé que Bublanne mais ces deux formes sont jeunes et leur tracé en plan est plus caractérisé par une sinuosité qu'un réel méandrage. Ces deux concavités sont néanmoins relativement bien dessinées bien que leur migration aval soit encore modeste.

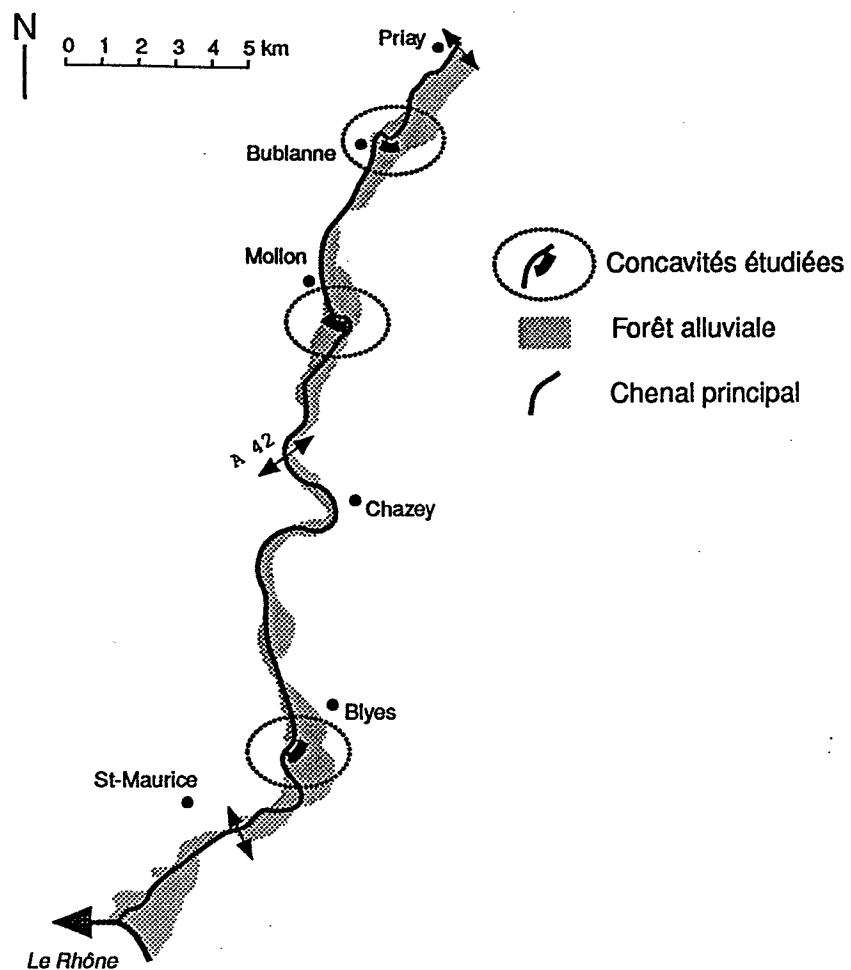


Figure 137 - Localisation des trois concavités d'étude, Blyes, Mollon et Bublanne dans la basse vallée de l'Ain.

Tableau 57 - Caractères généraux des méandres étudiés.

|  | Blyes | Bublanne | Mollon |
|--|-------|----------|--------|
| Longueur étudiée (en m)                                  | 590   | 590      | 630    |
| Rayon de courbure r (en m)                               | 360   | 390      | 210    |
| Largeur du lit (w) aux points d'inflexion I et I' (en m) | 67,5  | 52,5     | 67,5   |
| Rapport r/w  | 5,33  | 7,43     | 3,11   |
| Taux de sinuosité  | 1,16  | 1,10     | 1,53   |

### 3.1 Les méthodes d'échantillonnage et d'analyse

#### - L'évaluation des tonnages

Le tonnage de tous les débris ligneux grossiers a été systématiquement déterminé en berge sur une largeur de 15 m. La masse des troncs isolés a été calculée d'après la formule de W.S. Platts *et al.* (1987) alors que celle des embâcles était estimée à partir d'un volume géométrique initial, selon la méthode expliquée dans le chapitre "méthodologie" (II/chap.IV/1.2). La somme de ces accumulations a été estimée sur des surfaces de 150 m<sup>2</sup>, soit des parcelles d'échantillonnage de 15 m de profondeur, de la berge à l'intérieur du pédoncule, et d'une largeur de 10 m.

Ainsi, un tonnage relatif, rapporté à un hectare et lissé par une moyenne mobile de rang 3, a été calculé tous les 10 m de berge. Le nombre de parcelles retenues atteint ainsi 176, soit près de 60 par site. Sur chacune

d'elles, une distinction a été effectuée entre la masse déposée en berge et celle plus strictement située en lit majeur. Le tonnage en berge correspond à toutes les accumulations dont une extrémité au moins, est située en berge, c'est-à-dire à moins d'un mètre de l'eau.

#### - L'analyse multicritère

L'analyse explicative de la distribution des masses de débris repose sur une sélection de trois variables indépendantes et d'une régression multiple.

Parmi les trois variables explicatives sélectionnées pour esquisser l'analyse multicritère, deux sont quantitatives, la troisième étant qualitative et nominale.

La première variable, la hauteur de berge séparant le niveau d'eau de la rivière et la surface de la plaine d'inondation, a été calculée tous les quatre mètres de linéaire, le travail ayant été effectué durant la même journée et le débit étant resté constant. Une hauteur moyenne a finalement été estimée de 10m en 10m, chacune des valeurs correspondant à une parcelle d'échantillonnage. Un lissage de la variable a également été effectué au moyen d'une moyenne mobile de rang 3.

La seconde variable concerne la position de chaque parcelle par rapport à l'axe principal du chenal. Cette position est exprimée par l'angle (en degré) entre l'axe du chenal (droite reliant les points d'inflexion I et I') et la droite partant du point I et recoupant la berge. Il s'agit du concept de "path direction" proposé par W.B. Langbein et L.B. Leopold en 1964. Le codage a d'abord été effectué par classe de 5 degrés puis, dans chacune des classes (0-5°, 5-10°, x<sub>n</sub>-x<sub>n+5</sub>...), la valeur a été attribuée de degré en degré selon la position relative des parcelles. L'ensemble des individus se distribue ainsi, selon les sites, de 0 à 40-60°.

Le type de groupement végétal situé en berge constitue la troisième variable, celle-ci reposant sur cinq principales modalités, l'unité abiotique, la saussaie pionnière, la formation arborée, la parcelle déboisée et la peupleraie.

La démarche explicative repose sur une régression multiple associant la variable à expliquer Y, la masse de débris de chaque parcelle et les 3 régresseurs que sont l'angle d'impact (A), la hauteur de berge (H) et le type de végétation (V). Ce dernier est considéré comme une variable qualitative ordinale, l'unité abiotique, V<sub>1</sub>, la saussaie pionnière, V<sub>2</sub>, la formation arborée, V<sub>3</sub>, et la parcelle déboisée, V<sub>4</sub>, constituant les stades successifs d'une succession écologique. La peupleraie (V<sub>5</sub>) a été exclue de la démarche car elle n'est présente que sur un site; de plus, si cette modalité était ajoutée aux 4 premières, elle ne permettrait pas de traiter l'information à partir d'une régression dans la mesure où la variable étudiée ne pourrait alors être que nominale, la peupleraie étant difficile à placer dans la succession.

### 3.2 Les résultats

#### 3.2.1. Analyse descriptive de la distribution des masses

##### - Une très forte variabilité spatiale intra- et inter-site.

La masse des débris ligneux grossiers varie très fortement d'un site à l'autre (tab. 58). La moyenne atteint 113 t.ha<sup>-1</sup> à Mollon contre 20 et 40 t.ha<sup>-1</sup> à Blyes et à Bublanne. La médiane, environ deux fois plus faible, révèle une importante dissymétrie des distributions, le nombre des individus les plus faibles étant extrêmement important; le premier décile de l'ensemble de la population n'est ainsi que de 0,1 t.ha<sup>-1</sup>.

D'une manière générale, la concavité de Mollon présente une grande spécificité, les principaux indicateurs, les masses moyenne, maximale ou minimale atteignant des valeurs bien supérieures aux deux autres sites.

Une différence plus légère existe entre Blyes et Bublanne, ce dernier site ayant près de deux fois plus de bois que le premier.

Outre la distinction entre les sites, une forte variabilité des masses de bois a également été observée au sein de chacun d'eux (fig.138). Chaque distribution présente un ou plusieurs modes assez bien individualisés et le bois a tendance à se déposer préférentiellement dans la partie amont et médiane de la concavité.

La partie amont de la berge de Mollon est le principal site du dépôt avec un maximum de près de 900 t.ha<sup>-1</sup>. Plus à l'aval, les masses se réduisent fortement. Les parcelles dont l'angle d'impact est de 16-18°, situées au droit d'un chenal de débordement, font néanmoins exception.

Trois modes ont été observés à Bublanne, la valeur de chacun d'eux étant décroissante vers l'aval. Certaines sections ne disposent pas de bois, notamment entre 25 et 30°, ce qui peut paraître surprenant compte tenu de l'importance des masses observées globalement sur cette berge amont.

A Blyes, si deux modes principaux ont été observés dans la partie médiane de la berge, la distribution ne semble cependant pas suivre la même logique que sur les deux autres sites.

**- Des dépôts formant une ligne de débris.**

La plupart des parcelles sont le siège d'accumulations de bois mort. La distribution spatiale de ces débris, présentée sur la figure 138, illustre bien la notion de ligne de débris presque continue sur Mollon, plus partielle sur Blyes et Bublanne.

Cette observation à petite échelle a pu encore être affinée lors de l'analyse de la position des accumulations dans les parcelles. Les débris ligneux se localisent en effet principalement en berge ou plus en retrait (tab. 58). Rares sont les sites où les accumulations se répartissent sur l'ensemble des quinze mètres de profondeur. Ainsi, 18 à 26% des sites n'ont pas de bois en berge alors que 24 à 32% n'en ont qu'en berge. Inversement, seul 2 à 8% des parcelles présentent 40 à 60% des dépôts en berge.

Les dépôts sont donc concentrés au sein de chaque parcelle et forment un linéaire dont la position varie, celui-ci étant observé tantôt en berge, tantôt plus à l'intérieur de la parcelle d'échantillonnage.

Tableau 58 - Variabilité de la masse des débris ligneux de chacune des concavités.

|   | Blyes  | Bublanne | Mollon |
|---|--------|----------|--------|
| Nombre de parcelles   | 57     | 58       | 61     |
| Masse totale des débris (en tonne)                                      | 1083   | 2271     | 6919   |
| Masse moyenne des débris par parcelle (en t.ha <sup>-1</sup> )          | 19,1   | 40,0     | 113,9  |
| Masse médiane des débris par parcelle (en t.ha <sup>-1</sup> )          | 10     | 19       | 53     |
| Masse maximale des débris par parcelle (en t.ha <sup>-1</sup> )         | 86,70  | 321,80   | 905,70 |
| Masse minimale des débris par parcelle (en t.ha <sup>-1</sup> )         | 0,07   | 0,00     | 5,16   |
| Coefficient de variation  | 118,70 | 159,70   | 153,20 |
| Part de la masse de bois en berge (en %)                                | 59,80  | 65,40    | 69,10  |
| <b>Part des parcelles pour lesquelles le bois en berge représente :</b> |        |          |        |
| moins de 1% du total  | 22     | 26       | 18     |
| de 1 à 49% du total   | 16     | 24       | 22     |
| de 40 à 60% du total  | 8      | 2        | 3      |
| de 50 à 99% du total  | 30     | 26       | 30     |
| 100% du total   | 32     | 24       | 30     |

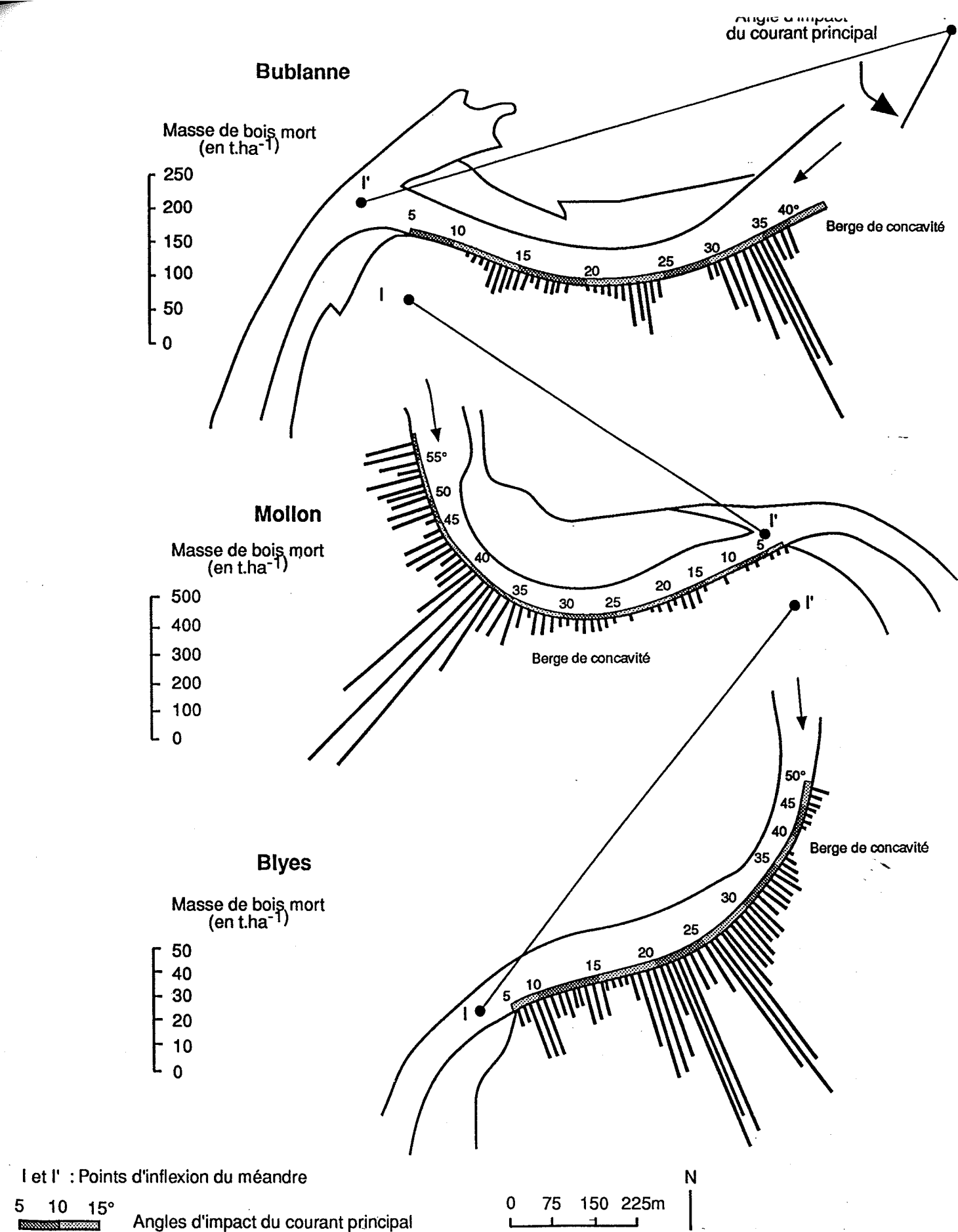


Figure 138 - Variabilité spatiale de la masse des débris ligneux sur la marge de concavité de trois méandres de l'Ain : Blyes, Bublanne et Mollon.

### 3.2.2. L'analyse explicative

Trois axes principaux ont été retenus lors de cette analyse. La variabilité de la masse des débris dans les concavités, de la part du bois mort en berge et de la masse de débris d'un méandre à l'autre sera ainsi successivement expliquée.

#### 3.2.2.1 La variabilité de la masse des débris dans les concavités

La masse de débris ligneux varie considérablement au sein même de chacune des concavités. Avant d'expliquer de ce phénomène, les régresseurs sur lesquels reposera la démarche, seront brièvement présentés (tab. 59).

#### - Présentation des régresseurs

La hauteur moyenne de berge a été estimée à 1,58 m à Mollon contre 2,31 et 2,32 m à Bublanne et Blyes (tab. 59). La géométrie du chenal est ainsi très différente d'une concavité à l'autre en raison de l'inégale incision qui a affecté la rivière d'Ain au cours du XX<sup>e</sup> siècle. Les premiers débordements se produisent ainsi à Mollon pour un débit de 300 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> alors que sur les deux autres sites, le débit plein bord théorique de Q<sub>1,5</sub> (820 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>) n'est pas débordant.

La hauteur de la berge présente une importante variabilité au sein de chaque concavité (fig. 139 A). Dans le secteur de Blyes, elle est relativement haute et entrecoupée de quelques rares axes de débordement. Le secteur de Bublanne est plus contrasté. La berge est peu élevée dans la partie médiane proche d'un axe de débordement mais les points hauts sont finalement plus élevés que ceux de Blyes. A Mollon, la surface du lit majeur est très proche de la ligne d'eau et au même niveau que les axes de débordement de Blyes, ses propres axes étant eux-mêmes plus bas encore.

Quel que soit le site, la berge de concavité est extrêmement végétalisée, les stades arborés ou arbustifs (Saussaie basse) spontanés représentant 55 à 60% du linéaire (tab. 59). Des peupleraies et des zones déboisées (coupe à blanc) sont également présentes à Bublanne et Blyes. Sur ces deux sites, un tiers du linéaire de berges correspond d'ailleurs à des parcelles déboisées. Une peupleraie est également située sur la berge de Bublanne.

Ces espaces sont localement remplacés par quelques chenaux intraforestiers de crue. Leur présence se traduit par l'absence de végétation et le dépôt de graviers et de galets. 6 zones non végétalisées se succèdent ainsi ponctuellement sur les sites de Blyes et de Mollon et correspondent à des berges plus basses. Ce dernier site présente encore une spécificité dans la mesure où c'est le seul qui a été épargné par l'occupation humaine et qui présente en outre près de 23% de berges non végétalisées, rajeunies par des projections de galets et de graviers en lit majeur. La partie amont d'un bras secondaire, située à 600 m à l'amont du banc de convexité, a ainsi été profondément remaniée ce qui explique l'importante zone non végétalisée sur la figure 139 B.

#### - Interprétation de la variabilité spatiale des masses de débris au sein des concavités.

La variabilité spatiale des masses de débris est bien expliquée sur l'ensemble des trois méandres par la hauteur de la berge, la position de la parcelle vis-à-vis des flux dominants et le type de végétation (tab. 60). Le bois mort est d'autant plus important que la berge est peu marquée, que la parcelle se situe dans l'axe du chenal de l'Ain et que l'unité végétale est récente.

Tableau 59 - Présentation des variables expliquant la distribution du bois mort au sein de chaque concavité.

|  | Blyes | Bublanne | Mollon |
|--|-------|----------|--------|
| Hauteur moyenne de la berge (en m)       | 2,32  | 2,31     | 1,58   |
| Ouverture de l'angle d'impact (en degré) | 46    | 40       | 56     |
| berge non végétalisée* (en %)            | 9     | 4        | 23     |
| berge arborée* (en %)                    | 31    | 26       | 26     |
| berge arbustive* (en %)                  | 24    | 35       | 51     |
| berge déboisée* (en %)                   | 36    | 24       | 0      |
| berge en peupleraie* (en %)              | 0     | 11       | 0      |

\* Longueur relative.

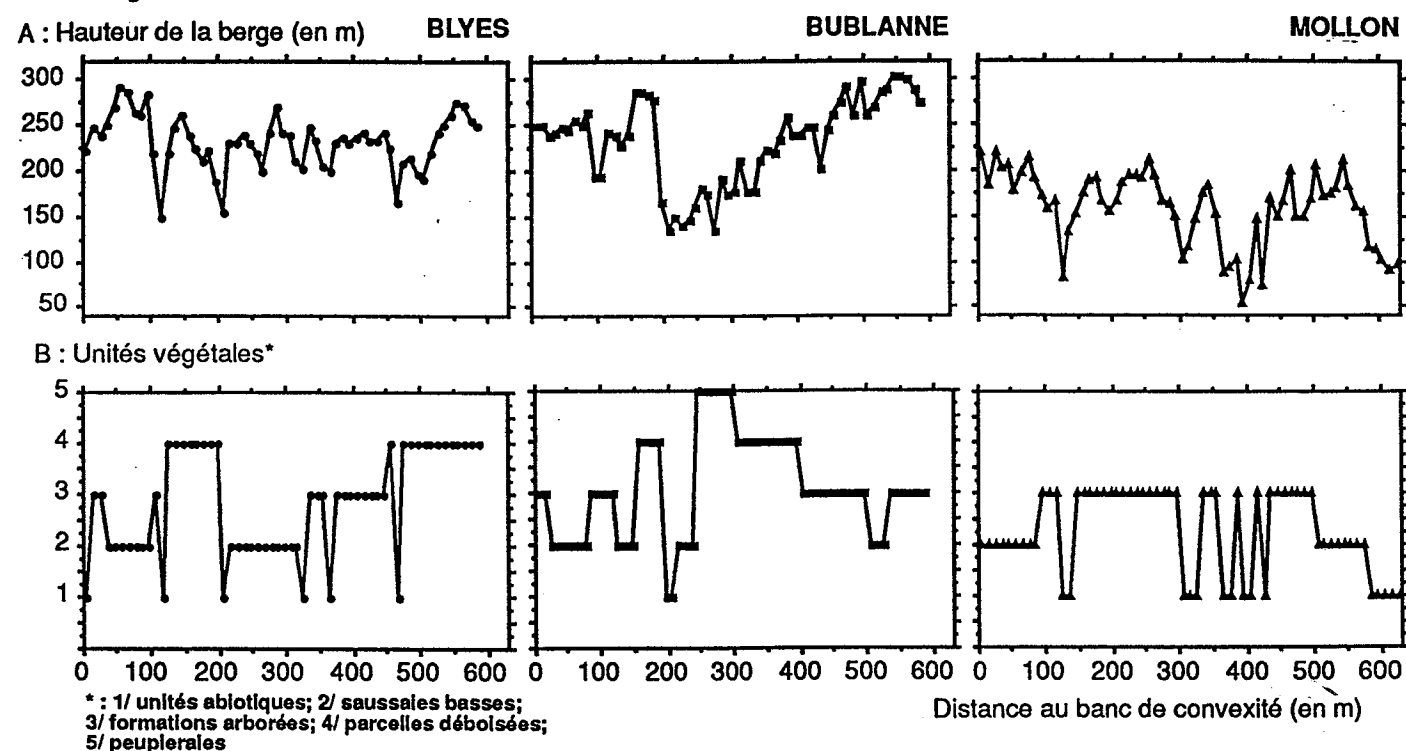


Figure 139 - Variabilité spatiale de la hauteur de berge (A) et du type de végétation (B) sur la marge de concavité de trois méandres de l'Ain : Blyes, Bublanne et Mollon.

Quelle que soit l'unité végétale naturelle (V<sub>1</sub>, V<sub>2</sub>, V<sub>3</sub>), il existe une très forte relation statistique entre l'angle A et la masse de débris. Un ensemble d'équations permet ainsi d'estimer cette masse selon l'unité végétale et la valeur de l'angle (fig. 140). Dans les parcelles déboisées, la valeur de la masse de débris est indépendante de l'angle A compte tenu de la faiblesse des valeurs enregistrées. En fait, il est apparu que les parcelles situées dans des angles de 25 à 30° (Bublanne) pouvaient présenter une ligne de débris située bien au delà des 15 m étudiés, à la lisière forêt - parcelles déboisées. Ceci confirme la capacité de rétention des structures ligneuses de berge lorsqu'elles sont présentes. Néanmoins à Blyes, la zone déboisée située à l'extrême amont de la concavité, ne dispose pas d'embâcles au contact de la forêt alors qu'elle se situe bien dans l'axe du chenal de l'Ain (angle A de 35 à 40°).

Quelle que soit également l'unité végétale, la masse des ligneux est d'autant plus forte que la hauteur de berge est faible. Néanmoins, la relation statistique n'est réellement observée que pour les unités non végétalisées, la droite présentant d'ailleurs une pente très forte (n = 21; r = 0,588; p = 0,005).

L'analyse de chacun des méandres est également riche d'enseignement. Chaque régression multiple est représentative, le coefficient de corrélation et la probabilité p du test F atteignant des valeurs optimales (tab. 60). Malgré tout, les facteurs explicatifs majeurs diffèrent d'un méandre à l'autre (fig. 141); les trois caractères n'interviennent jamais ensemble sur un même site.

La valeur de la masse des débris dépend à Mollon de la hauteur de la berge et de l'angle A. Ce site est mieux connecté à la bande active que les autres et dispose d'une population plus étendue et plus diversifiée. Sur le site de Bublanne, seul l'angle A explique la variabilité spatiale des masses de débris. A Blyes, c'est le type de végétation qui présente une importance particulière.

Ainsi, la masse de débris organiques pourrait varier en fonction non seulement de la géométrie du lit mais également du type de végétation. Les volumes de débris sont en effet d'autant plus importants qu'ils se situent dans les milieux récents. Ceux-ci ne sont pas forcément altitudinalement plus bas que les autres unités et correspondent parfois à des zones de régénération intraforestière, graveleuses se formant dans le lit majeur de concavité.

Compte tenu de l'ensemble de ces observations, il est possible de proposer quatre équations destinées à estimer Y, le tonnage de bois à l'hectare, en fonction de sa position dans une concavité, de la hauteur de la berge et du type de végétation. Alors que la première équation correspond au modèle d'ensemble, les trois suivantes sont plus spécifiques et permettent d'estimer la variabilité des masses au sein de chacune des concavités.

$$Y_{\text{Ensemble}} = -0,54 H + 2,8 A - 23 V + 168,5$$

$$Y_{\text{Blyes}} = -10,3 V + 48,3$$

$$Y_{\text{Bublanne}} = 3,86 A - 37,6$$

$$Y_{\text{Mollon}} = -1,78 H + 2,8 A + 320$$

Chaque méandre présente ainsi une réelle spécificité qui ne peut s'expliquer que par l'inégale importance des masses importées disponibles. L'interprétation proposée repose ainsi sur la variabilité de la masse et de la taille des débris qui se déposent dans chaque concavité.

Il est possible de penser que lorsque l'alimentation en bois d'origine allochtone est importante, la géométrie du lit intervient pour expliquer la répartition des masses. Les ligneux sont ainsi apportés par les principaux courants de débordement qui se localisent sur la berge située dans l'axe de l'Ain ou au niveau de chenaux de crue disposant d'une berge moins élevée que la surface du lit majeur. Ceci est caractéristique du site de Mollon. A Bublanne, les volumes déposés sont beaucoup plus faibles et leur localisation correspond alors seulement à la berge située dans l'axe de l'Ain.

En revanche, lorsque les masses disponibles se réduisent encore comme à Blyes, les sites de dépôt changent et la végétation de berge joue un rôle plus important. Il apparaît difficile de déduire que celle-ci filtre inégalement les apports dans la mesure où elle interviendrait également sur les deux autres sites. Les unités non végétalisées, caractérisées par la présence de galets projetés restent les sites préférentiels de dépôt de bois exogènes. Inversement, les zones déboisées ne présentent pas de bois car elles ne correspondent pas à des surfaces bien connectées à la bande active et ne filtrent pas les rares flux débordants. En revanche, la question se pose de savoir ce qui explique la différence de masses observée entre les formations arbustives et les formations arborées, celle-ci étant indépendante de la variabilité de la géométrie du lit. D'ailleurs, la berge des premières est située en moyenne 13 cm plus haut que celle des secondes.

Deux explications ont alors été proposées :

- il est possible de penser que les apports exogènes se raréfient et que seuls sont mobilisés des apports endogènes. Néanmoins, cette hypothèse a été rejetée car certains auteurs (Harmon *et al.*, 1986; Bisson *et al.*, 1987) ont montré que les apports sont d'autant plus importants que la formation végétale est âgée. Or, ce serait le phénomène inverse qui serait observé. Par ailleurs, si la prise en charge était effectivement liée aux formations de berge, le dépôt se ferait plus à l'aval.

- la seconde explication retient deux éléments : l'inégale capacité des formations végétales à filtrer les flux organiques et la taille moyenne des différentes accumulations observées sur chacun des méandres. Il est admis que les formations arborées plus solides disposent d'une meilleure capacité à stopper les flux organiques grossiers (troncs flottés) que les formations arbustives flexibles mais le phénomène s'inverse lorsque les flux se tarissent et que la taille des débris se réduit. La très grande densité de troncs des saussaies basses exerce un effet filtre efficace lorsque les flux débordants sont de faible énergie. Chaque tronc est ainsi un site potentiel de dépôt.

Comme le tonnage moyen de chaque accumulation n'est que de 70 kg dans la concavité de Blyes contre 200 et 180 kg dans celles de Mollon et de Bublanne, il est possible de penser que sur ce site, la masse des débris accumulés dans les formations pionnières puisse être plus importante que dans les formations arborées. Par conséquent, l'effet filtre semble varier non seulement en fonction du type d'unités végétales mais également en fonction de la taille des débris. Les formations arborées filtrent plus efficacement les débris grossiers mais moins efficacement les branchages et les brindilles que les formations arbustives. Ce phénomène expliquerait ainsi la variabilité spatiale des tonnages observés dans la concavité de Blyes.

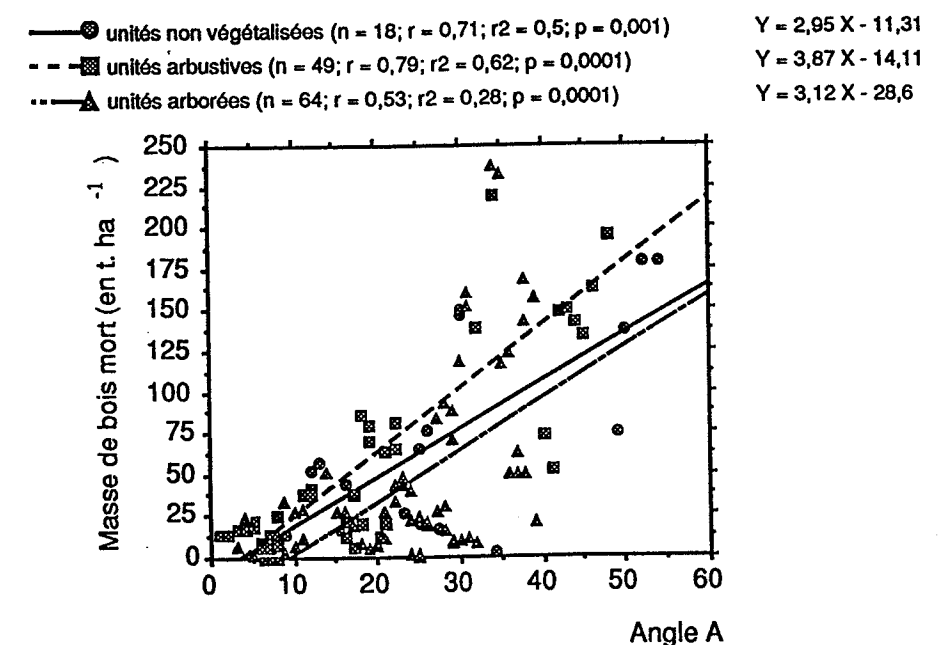


Figure 140 - Modèles linéaires de la relation masses de débris - angle d'impact des flux selon le type de végétation.

Tableau 60 - Résultats de la régression multiple entre Y, la masse des débris ligneux par parcelle, et 3 régresseurs.

|  | Ensemble | Blyes  | Bublanne | Mollon |
|--|----------|--------|----------|--------|
| Nombre d'individus                     | 176      | 58     | 57       | 61     |
| Coefficient de corrélation             | 0,495    | 0,470  | 0,560    | 0,530  |
| Probabilité p du test F                | 0,0001   | 0,0002 | 0,0001   | 0,0001 |
| p partiel, H (Hauteur de berge)        | 0,0007   | -      | -        | 0,0010 |
| p partiel, A (Position de la parcelle) | 0,0001   | -      | 0,0001   | 0,0600 |
| p partiel, V (Unités de végétation)    | 0,0050   | 0,0002 | -        | -      |

NB : Seuls les caractères représentatifs ont été conservés.



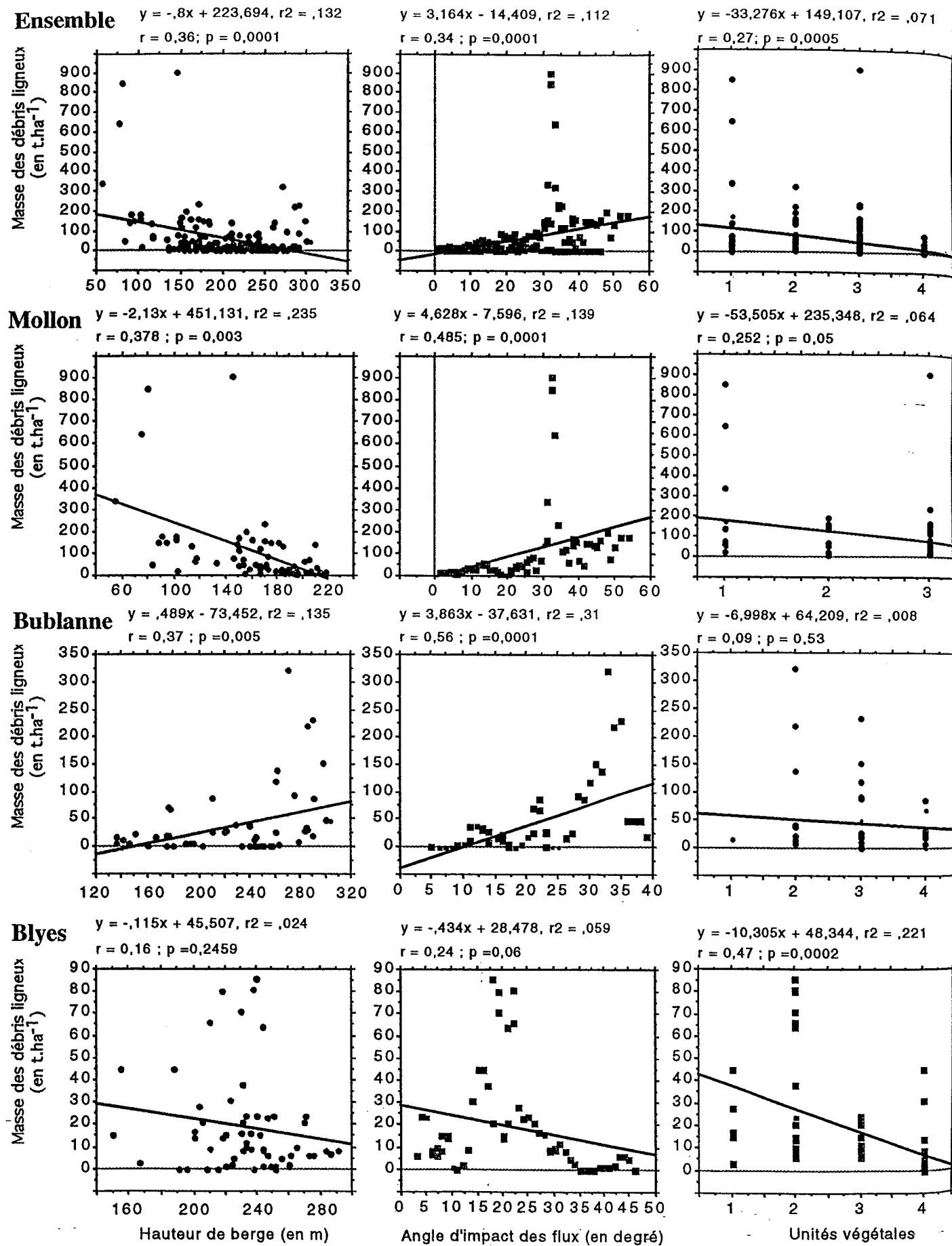


Figure 141 - Relations entre la masse de débris et la hauteur de berge, l'angle d'impact des flux ou le type de végétation à Blyes, Bublanne et Mollon, basse vallée de l'Ain.

### 3.2.2.2 La variabilité du pourcentage de bois mort en berge

La distribution des débris sur les 15 m de large des marges étudiées est extrêmement complexe et semble d'abord répondre à des données très locales. La répartition du pourcentage de débris en berge présente une très grande hétérogénéité, deux points côte à côte pouvant disposer de valeurs très différentes, ce qui explique que la répartition ait une image "en dents de scie" (fig. 142). Seul le secteur situé à 300 m du banc de convexité de Bublanne et occupé par une peupleraie semble avoir une certaine homogénéité, une absence de bois en berge.

Il ne semble pas qu'il existe de logique simple de répartition de la part du bois mort en berge (fig. 142). Une indépendance statistique existe entre cette variable et la masse de bois mort ou les régresseurs utilisés précédemment. Ainsi, quels que soient la masse de bois présente, l'angle d'impact des flux, la hauteur de berge et le type de végétation, le bois se distribue indifféremment en berge ou plus à l'intérieur du pédoncule. La meilleure relation lie la part du bois en berge et la masse totale de bois dans la parcelle déboisée ( $n = 28, r = 0,55$  et  $p = 0,002$ ). Dans cette unité, plus le bois est présent, plus il se situe en berge. Définir une relation de causalité semble néanmoins bien hasardeux.

La modestie des résultats s'explique sans doute par le choix de l'échelle d'intervention. Une largeur de 15 m est insuffisante. L'étude de la ligne de débris de la parcelle phyto-morphologique de Mollon trois années durant a montré que celle-ci peut s'étendre sur une largeur de près de 50 m. En outre, il est possible de penser que la localisation du bois en berge dépend de phénomènes beaucoup plus fins que la seule distinction élémentaire d'unités végétales. La densité des arbres en place, la distance moyenne les séparant sont sans doute des facteurs importants qui varient au sein même de chaque groupement de végétation. En fonction de ce paramètre, des arbres ou arbustes peuvent se situer plus ou moins à proximité de la berge et donc permettre la formation d'une ligne de débris qui a tendance à sinuer au gré des obstacles, des structures en place.

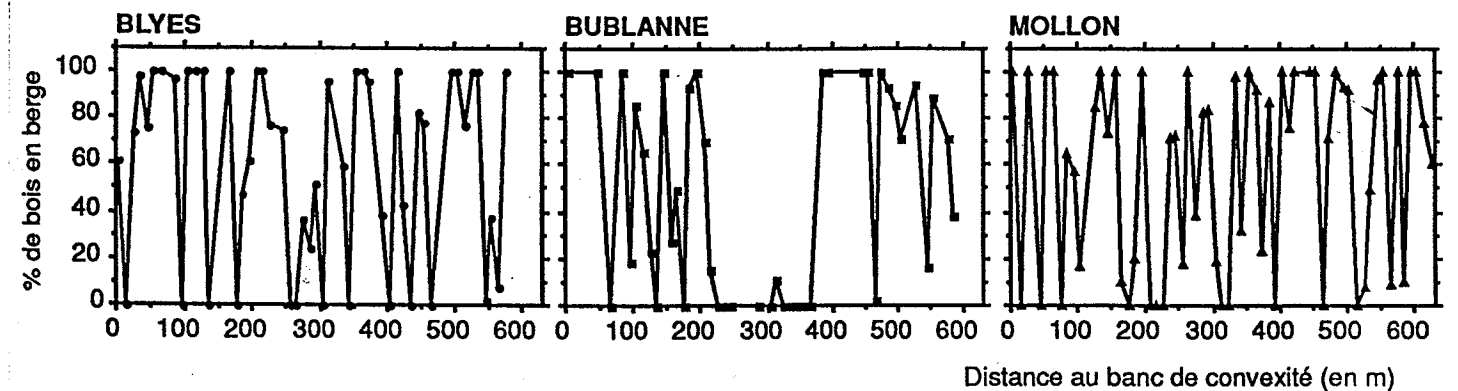


Figure 142 - Variabilité spatiale du pourcentage de bois mort en berge sur la marge de concavité de trois méandres de l'Ain : Blyes, Bublanne et Mollon.

### 3.2.2.3 La variabilité de la masse des débris d'une concavité à l'autre

Si la variabilité des masses de débris ligneux au sein de chaque concavité est assez bien expliquée, la question de leur variabilité d'un site à l'autre est également posée. En fait, la masse de bois mort observée à Mollon est très nettement supérieure à celle des deux autres sites. Deux ensembles de raisons peuvent expliquer cette différence majeure.

Le premier est lié à la géométrie du méandre. Sa forme évoluée (taux de sinuosité de 1,53, r/l de 3,11) et son étroite connectivité avec le chenal, la hauteur de la berge est 70 cm plus basse que celle des autres sites, peuvent expliquer une plus grande aptitude à piéger des ligneux en transit (fig. 143).

Néanmoins, ces phénomènes peuvent-ils expliquer à eux-seuls une telle différence? La disponibilité de la ressource constitue en effet une seconde cause, la question étant de savoir s'il existe une variabilité des flux organiques d'un secteur à l'autre. Comme les concavités sont les sites préférentiels de dépôts, il est possible de penser que la distance parcourue par les débris est faible et qu'ils sont pris en charge à partir de berges érodées situées à l'amont de la concavité dans laquelle ils vont se déposer (fig. 143). Les sites de prise en charge ont ainsi été recensés à partir de la carte "Nature et morphologie des berges de l'Ain" tirée de l'étude de J.P. Bravard *et al.* (1990). Une distance représentative a été calculée sur le tronçon amont de chacun des méandres à partir du point d'inflexion I. La distance a été déterminée jusqu'à la concavité suivante qui elle-même est supposée recevoir les flux organiques plus à l'amont. Cette distance est sensiblement la même sur les trois sites puisqu'elle varie de 2,3 km à 2,6 km, soit un linéaire de berge de 4,6 à 5,2 km (tab. 61).

Cette analyse semble démontrer que la masse observée dépend de l'importance des flux organiques ceux-ci variant d'un site à l'autre en fonction de leur capacité de stockage. Ainsi, la concavité de Bublanne, qui dispose de deux fois plus d'accumulations que celle de Blyes, présente un linéaire de berges amont érodées deux fois plus important (tab. 61). Dès lors, les transferts de débris se feraient sur de courtes distances, le temps de stockage dans le tronçon étant donc nettement supérieur à celui du transport.

Lorsque l'on observe plus précisément la figure 143 qui présente sur des diagrammes la position des trois méandres pour chacune des variables, il semble possible de confirmer l'important rôle des flux organiques entrants. Si l'intensité des relations statistiques ne constitue bien sûr pas un argument majeur compte tenu de leur faible représentativité, il est pourtant possible de constater que les indicateurs endogènes opposent clairement Mollon aux deux autres sites alors que la variable exogène, le pourcentage de berges érodées, est la seule à confirmer une réelle continuité entre les trois sites, la masse déposée étant d'autant plus importante que les berges situées à l'amont de chaque concavité sont soumises à l'érosion.

Si ce facteur est important, ceci signifie qu'il existe une variabilité spatiale de l'intensité des flux. Or, nous avons démontré par ailleurs que le déstockage était rapide à Mollon, que les volumes accumulés dans la concavité restaient constants d'une année à l'autre ce qui signifie que le flux de ligneux est lui-même important à l'aval du site sans pour cela que la concavité suivante ait autant d'embâcles.

Par conséquent, la géométrie du méandre semble être le facteur principal qui explique la variabilité de la masse de bois d'un site à l'autre. Dans ce cas, les différences géométriques qui existent entre Blyes et Bublanne, sont infimes et n'expliquent pas la valeur respective de leur masse de ligneux. En revanche, la forme du méandre de Mollon est si évoluée que la différence avec les deux autres sites est indiscutable. Néanmoins, la ressource immédiatement disponible doit être également un facteur, bien que secondaire, à prendre en compte. La question à laquelle nous n'avons pas encore répondu est alors de savoir ce que deviennent les débris à l'aval des concavités les mieux fournies.

Tableau 61 - Estimation du linéaire de berges érodées à l'amont de chacun des sites.

|   | Blyes | Bublanne | Mollon |
|---|-------|----------|--------|
| Linéaire de berges amont (en m)         | 5200  | 4800     | 4600   |
| Linéaire de berges amont érodées (en m) | 800   | 1500     | 2000   |
| Pourcentage de berges érodées           | 15,40 | 31,25    | 43,48  |

NB: Calculs effectués sur la carte "Nature et morphologie des berges de l'Ain" (Bravard *et al.*, 1990).

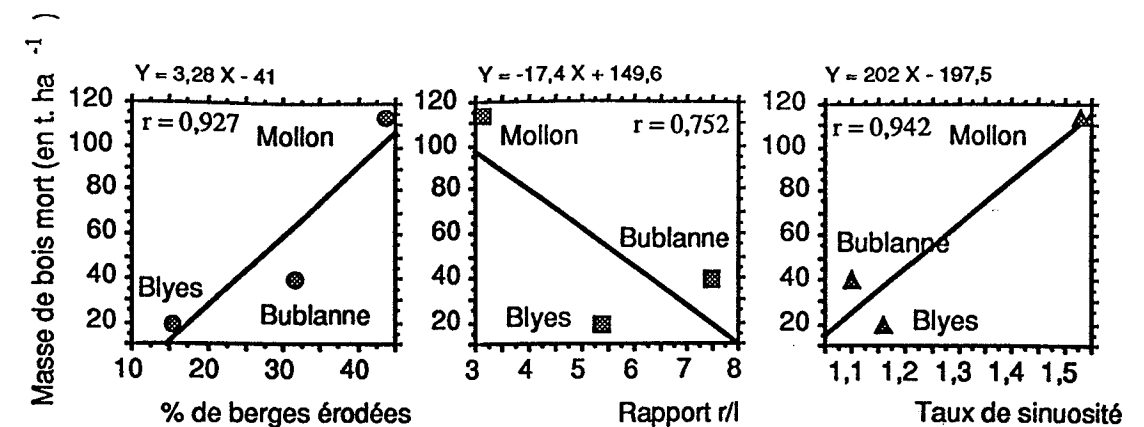


Figure 143 - Relation entre la masse de débris de chaque concavité et trois variables explicatives, le pourcentage de berges érodées à l'amont du site, le rapport r/l et le taux de sinuosité.

#### 4. La ligne de débris sur la marge de concavité d'un méandre à dynamique latérale active (Mollon, Ain)

Une étude des débris ligneux grossiers a été effectuée au cours de trois campagnes d'observation (1992, 1993 et 1994) sur la parcelle de Mollon. Une approche très détaillée a permis d'observer annuellement la variabilité de la forme, de l'orientation, du nombre et du tonnage des embâcles (fig. 144 et 145). Leur mobilité et leur rôle morphologique ont également été analysés.

Les masses comptabilisées sur la parcelle sont très importantes (tab. 62), le tonnage à l'hectare variant selon les années de 190 à 280 t.ha<sup>-1</sup>, le plus gros embâcle atteignant près de 40 tonnes. Ces accumulations représentent une superficie de 500 à 1000 m<sup>2</sup>, soit 17 à 24% de la surface étudiée.

L'année 1993 présente les tonnages les plus élevés, notamment sur les parcelles amont et médiane. La question est de savoir pourquoi. Les apports ont-ils été moins importants en 1993-94 qu'en 1992-93? Inversement, n'est ce pas les exportations qui ont été plus fortes? Les crues à l'origine de ces formes ont un maximum identique. En outre, compte tenu d'un recul plus important de la berge au cours de la seconde période, il paraît difficile d'expliquer une réduction des apports ligneux par un événement hydrologique de moindre intensité. En revanche, il serait plus pertinent de penser que l'exportation du bois a été plus importante en 1993-94 à la suite d'un fort recul de la berge et du déracinement des arbres supportant ces embâcles.

Une très forte réduction des masses a été constatée de la berge de l'Ain à l'intérieur de la forêt, la seule parcelle amont enregistre ainsi des tonnages à l'hectare beaucoup plus élevés, de l'ordre de 290 à 410 t.ha<sup>-1</sup>. Vers l'intérieur de la forêt, les masses de débris organiques se réduisent, les embâcles deviennent moins volumineux et leur nombre augmente.

Ces embâcles forment des lignes de débris discontinues et d'une largeur de 10 à 20 m. Deux à trois lignes successives, dont le tonnage se réduit vers l'intérieur de l'unité, ont été identifiées chaque année (fig. 144 et 145). L'année 1992 est marquée par une première ligne majeure composée des embâcles 4, 7 et 8 puis d'une ligne de débris secondaire mais encore très large (embâcles 3, 5, 6 et 10) et d'une troisième ligne, de longueur plus modeste (embâcles 1, 2 et 9). La répartition du bois apparaît plus anarchique en 1994 malgré la présence de deux lignes de débris majeures (embâcles 1, 5, 7 et 8 ainsi que 13, 14, 15 et 17). Plus à l'aval, les embâcles se distribuent de manière isolée et ne forment plus de lignes.

Ces lignes de débris migrent vers l'intérieur en même temps que la berge. Le tonnage est ainsi très important sur la parcelle amont en 1992. En 1993 et 1994, il augmente également dans la partie médiane. Aussi, leur position par rapport au chenal lui-même reste stable. L'embâcle est donc un processus écotonal, une forme de berge. Ceci permet de relativiser le rôle des débris ligneux grossiers dans la formation des axes de débordement. Il apparaît que la ligne de débris est assez mobile et migre préférentiellement par le chenal principal au fur et à mesure du recul de la berge. Le budget organique reste donc globalement stable, aucun cumul des apports annuels successifs ne pouvant être objectivement diagnostiqué. La forêt agit donc comme un filtre exceptionnel des flux ligneux, même sur une berge de concavité.

Les principaux embâcles n'ont aucune pérennité d'une année à l'autre (fig. 144). Ainsi le n° 3 de 1992 disparaît en 1993 et le n° 13 de 1993 apparaît en 1994 alors qu'aucune accumulation n'existait. Les n°1 et 2 de 1993 disparaissent la même année. Certains présentent néanmoins une assez bonne stabilité comme les n° 4, 17, 19, 20 et 25 de l'année 1994 et disposent de plusieurs caractères communs. Ils sont bloqués par une importante armature d'arbres en place et se situent en marge des flux les plus morphogènes; leur masse est moyenne. Par ailleurs, les principaux troncs qui structurent les embâcles de berge parcourent de très courtes distances à l'intérieur de la forêt. Entre 1993 et 1994, des éléments de l'embâcle 4 ont été retrouvés dans les embâcles 4 et 2. Certains ont migré du 7 au 13.

La position des embâcles dépend des conditions de rugosité du site. Les plus importants sont stoppés par la berge de l'Ain. D'autres sont stoppés par les seuils graveleux. La plupart néanmoins sont liés aux arbres en place., les n° 2 et 3 de 1993 étant à cet égard très caractéristiques. Dans tous les cas, ils forment des embâcles de contact très hauts et étroits. Des embâcles surbaissés, liés à des courants de moindre énergie, constituent des accumulations d'éléments flottés de petite taille, déposés au coeur de bosquets d'aulnes (n°12 de 1992 ou n°10 de 1993).

Entre chaque grosse accumulation, des microchenaux se forment et découpent la berge. C'est dans ce secteur que la canalisation des écoulements exercée par les embâcles est la plus nette. Les embâcles protègent des points hauts et sont séparés par des axes de pénétration qui parfois sont obstrués (n°7 de 1994). La crue suivante redistribue les accumulations et éventrent celles qui se situent dans l'axe des principaux chenaux (n° 21 de 1993).

Les accumulations de bois présentent différentes formes; elles sont tantôt rectilignes, tantôt en fer à cheval concaves ou convexes selon la position des arbres qui les ont stoppées. Elles sont le plus souvent parallèles à l'axe de l'Ain et perpendiculaires aux flux de débordement. En fait, deux orientations principales ont pu être identifiées, ouest - est et nord est - sud ouest, la seconde orientation apparaissant seulement en 1993. Les lignes de débris ont depuis plutôt tendance à suivre cette orientation. En 1994, les deux orientations semblent se manifester ce qui explique l'apparente anarchie des différentes accumulations. Aussi, au cours des deux périodes, il semble qu'un changement d'orientation des flux à la suite de la migration aval de la concavité puissent se lire dans la distribution des embâcles. D'ailleurs, ce phénomène se lit également au niveau des microchenaux. Alors qu'ils présentent une orientation nord sud en 1992, celle-ci devient progressivement nord est - sud ouest. En 1994, les microchenaux présentant une telle orientation sont clairement dessinés dans la morphologie.

L'analyse des parcelles a ainsi permis de mieux comprendre la dynamique des débris ligneux grossiers sur la berge de concavité d'un méandre à migration latérale active.

Tableau 62 - Tonnages des débris ligneux grossiers de la parcelle de Mollon au cours des trois campagnes d'observation.

|   | Été 1992 | Printemps 1993 | Printemps 1994 |
|---|----------|----------------|----------------|
| Superficie étudiée (en m <sup>2</sup> ) | 3239     | 4322           | 3929           |
| Nombre d'embâcles                       | 14       | 32             | 32             |
| Tonnage total                           | 89,7     | 111,2          | 74,7           |
| Tonnage par ha                          | 277      | 257            | 190            |
| Tonnage moyen                           | 6,4      | 3,5            | 2,3            |
| Tonnage maximal                         | 22,5     | 38,9           | 31             |
| Tonnage de la parcelle amont            | 78,0     | 85,3           | 45,0           |
| Tonnage de la parcelle médiane          | -        | 23,0           | 22,9           |
| Tonnage de la parcelle aval             | 11,7     | 2,9            | 6,8            |

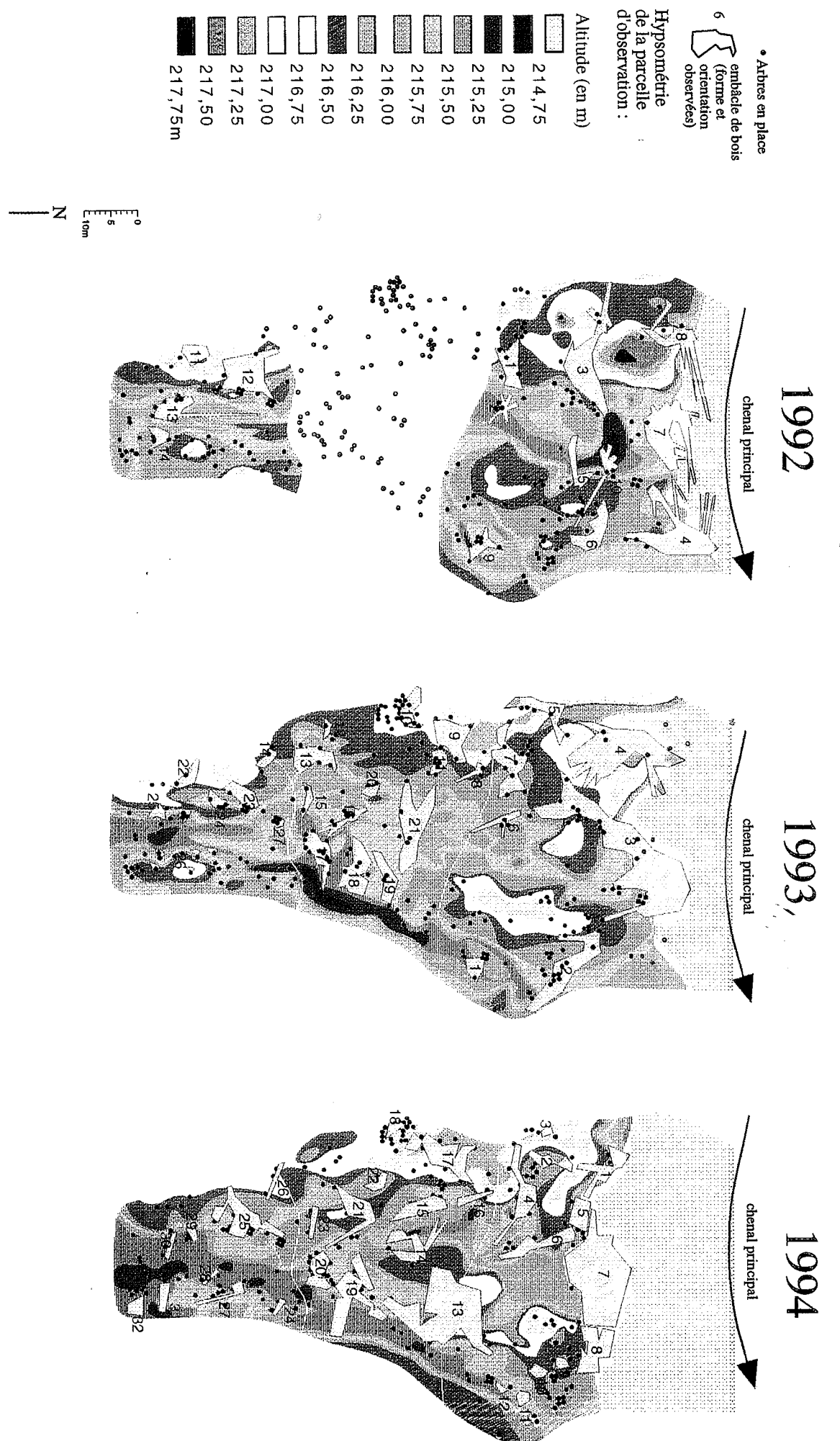


Figure 144 - Localisation, forme, orientation et surface occupée par les embâcles de bois sur la parcelle de Mollon au cours des trois campagnes d'observation.

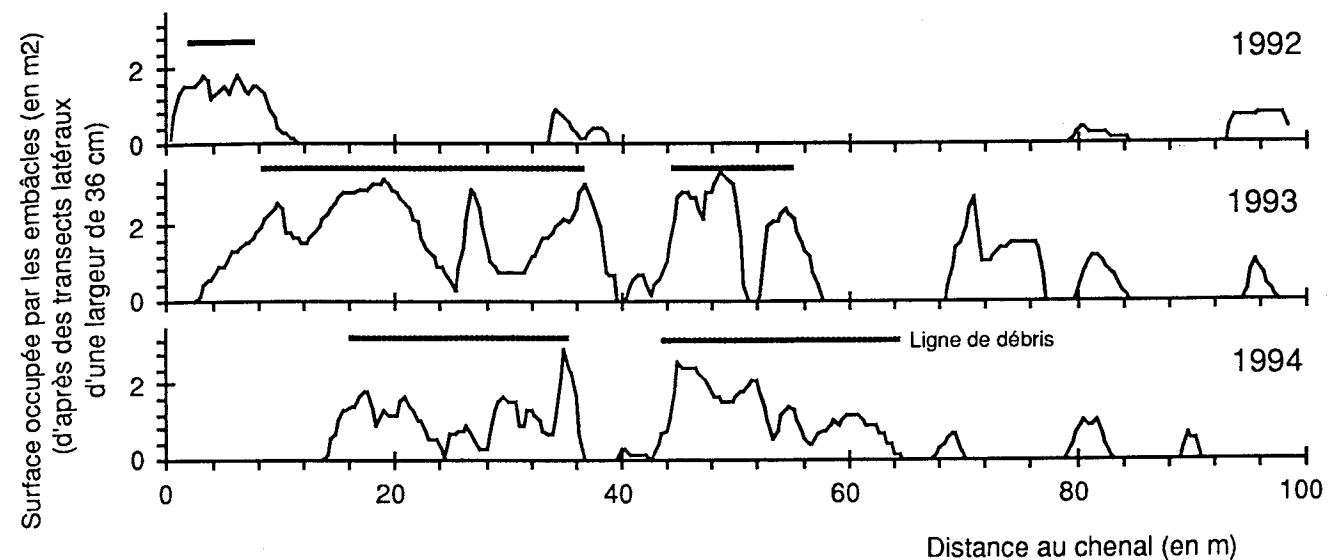


Figure 145 - Répartition amont - aval de la surface occupée par les embâcles de bois sur la parcelle de Mollon en 1992, 1993 et 1994 (d'après une analyse *Raster*).

Les débris ligneux sont d'abord présents dans les rivières à méandres dans lesquelles ils forment une ligne de débris plus ou moins continue sur la berge concave des méandres.

Les masses de débris présentent néanmoins une forte variabilité d'une concavité à l'autre et au sein d'une même concavité. Ces dépôts ne se distribuent pas de manière homogène sur toute la profondeur de la berge mais se situent préférentiellement soit en berge soit plus en lit majeur. Ainsi, ils forment une ligne de débris dont la position dans la zone écotonale est variable.

La répartition spatiale des masses de débris ligneux le long d'une berge de concavité dépend de trois principaux facteurs : la position du site par rapport aux flux dominants, la hauteur de la berge c'est-à-dire la présence ou non d'un chenal de débordement et le type de végétation.

La répartition des dépôts sur la berge est en revanche dictée par les conditions locales de rugosité ainsi que le nombre et la position des arbres et arbustes qui diffèrent non seulement d'une unité végétale à l'autre mais également au sein d'une même unité.

Enfin, la différence de tonnage existant entre les concavités est liée à leur géométrie c'est-à-dire à leur capacité à piéger les débris qui transitent, le volume de ceux-ci pouvant dépendre du linéaire de berges érodées à l'amont de la concavité.

L'analyse diachronique d'une parcelle d'observation durant trois ans montre que les embâcles de concavité se positionnent uniquement sur la marge du chenal. Ils forment plusieurs lignes discontinues de débris au tonnage décroissant qui se succèdent de la berge vers l'intérieur de la forêt sur une distance inférieure à 50 m. Les embâcles ne migrent que rarement en forêt et sont d'abord exportés par le chenal principal. Le corridor boisé est ainsi un filtre efficace contre la migration latérale des débris ligneux grossiers. Leur migration longitudinale semble cependant beaucoup moins ralentie.

Leur localisation et leur forme dépendent de l'orientation et de la puissance des écoulements, de la hauteur de la berge et de la position des arbres en place.

Les embâcles concentrent les flux de débordement dans des chenaux préférentiels, participent activement à la destruction du bouchon sédimentaire et rajeunissent la morphologie de la forêt.

## V. Synthèse de la seconde Partie

Les résultats acquis au cours de cette seconde partie ont permis de montrer que les formations arborées riveraines des cours d'eau pouvaient agir sur la dynamique des flux hydriques, minéraux et organiques ainsi que sur les géoformes fluviales.

Les 14 sites d'études présentent une mosaïque complexe, un grand nombre de stades de succession, une plus ou moins grande connectivité avec la bande active. Ils constituent un échantillon très large des marges boisées des rivières à dynamique latérale active qui existent dans le Sud Est de la France.

La synthèse abordera successivement plusieurs thèmes majeurs tels que l'effet filtre du corridor boisé ou la notion de mosaïque hydrodynamique perçue à partir d'indicateurs hydrauliques, géomorphologiques, sédimentologiques et biogéographiques puis décrira la régénération au sein d'un secteur fonctionnel, le pédoncule de méandre de Mollon, puis de deux unités fonctionnelles, un bouchon alluvial situé à l'amont d'un bras de débordement et une unité post-pionnière riveraine du chenal.

### 1 La ripisylve, une zone tampon

L'analyse conduite sur les cinq rivières a permis de mettre en évidence plusieurs mécanismes fonctionnels des structures biologiques. La ripisylve exerce un effet filtre vis-à-vis des flux superficiels, hydriques, minéraux et organiques.

Les marges boisées constituent un filtre efficace des flux de débordement. La forêt est capable de réduire latéralement, sur une distance parfois inférieure à 50 m sur l'Ouvèze, la hauteur et par conséquent la capacité érosive de la lame d'eau de crue.

Il a également été démontré que la forêt alluviale exerce un effet de filtre sédimentaire d'une exceptionnelle efficacité. La granulométrie se réduit latéralement sur les marges boisées de haute énergie. D'un point de vue sédimentaire, la crue de l'automne 1992 à Violès n'est plus un phénomène exceptionnel au-delà de 40 m de forêt. Durant cette crue, les galets et les graviers ont été stoppés brutalement, ceux-ci se déposant dès la lisière de la forêt, alors que le dépôt des sables a nécessité 25 m. Au-delà de cette distance, les valeurs des médianes ont été relativement semblables d'un point d'échantillonnage à l'autre. Par ailleurs, la réduction latérale de la médiane des sédiments est plus rapide sur les marges boisées que sur les marges cultivées.

L'effet filtre est maximal dans les stades pionniers. Les vitesses de sédimentation sur les marges boisées des rivières de piémont sont très élevées au début de la phase de recolonisation par la végétation. En revanche, une fois la végétation établie, le taux de sédimentation est plus modeste.

En fait, la granulométrie des sédiments dépend de deux facteurs, la position altitudinale et la position spatiale du point d'échantillonnage. En modifiant l'épaisseur de la lame d'eau et la distance sur laquelle s'exerce un effet de peignage, ces deux facteurs modifient l'énergie mécanique disponible, c'est-à-dire la compétence des flux de débordement.

La forêt exerce enfin un filtre efficace des flux de débris ligneux. Ceci a été démontré sur les rivières à tresses soumises à des crues exceptionnelles, le bois mort formant par exemple sur l'Ouvèze une ligne de débris au

contact de la bande active et de la forêt. Néanmoins, ce phénomène est plus typique des rivières à méandres dont les concavités constituent des sites préférentiels de dépôt.

Les débris ligneux déposés sur le site de Mollon présentent des formes et des masses qui varient selon l'intensité de l'hydrodynamique. Plus les masses de bois sont proches de l'axe d'écoulement, plus elles sont importantes. La plupart des débris ligneux grossiers se situent ainsi en berge concave à l'interface lit majeur - lit mineur et forment une ligne d'embâcles plus ou moins continus et coalescents. Celle-ci migre vers l'intérieur du pédoncule en même temps que la berge. Les embâcles principaux n'ont aucune pérennité d'une année à l'autre, ne migrent que rarement dans la forêt et sont d'abord exportés par le chenal principal.

Le corridor boisé est ainsi un filtre efficace contre la migration latérale des débris ligneux grossiers même dans le cadre des concavités de méandres qui sont pourtant les milieux les plus soumis à ces flux.

## **2. La ripisylve, une mosaïque d'unités hydrodynamiques**

La ripisylve n'est pas une zone tampon homogène ou disposant d'un gradient hydrodynamique unique et décroissant de la bande active aux marges externes. Ce compartiment de l'hydrosystème est constitué d'une mosaïque plus complexe d'unités hydrodynamiques. La forêt alluviale constitue ainsi une mosaïque non seulement phytoécologique mais également géomorphologique, sédimentaire, pédologique et biostructurale.

La distribution spatiale des sédiments présente une variabilité extrêmement complexe à la surface du lit majeur. Une mosaïque sédimentaire caractérise ainsi le compartiment boisé des hydrosystèmes alluviaux. Cette complexité de la sédimentation est liée non seulement à la granulométrie mais également au volume des dépôts. Les sédiments de débordement ne sont pas seulement constitués de limons et des sédiments roulés ou liés à une suspension graduée sont également présents sur certaines marges boisées. Dans les groupements pionniers, post-pionniers et arborés des rivières étudiées, les échantillons se distribuent ainsi sur trois segments principaux de l'image C-M : PQ, QR et S\*R. Ceci montre bien la variabilité des vitesses et de la dynamique de régénération au sein de la plaine d'inondation. Si l'épaisseur des sédiments fins présente un certain gradient temporel, croît au cours du temps, la règle n'est pas sans exception et des unités âgées peuvent ne présenter que quelques centimètres de limons.

Les masses de bois mort et la forme des accumulations présentent également une grande variabilité intra-forestière. Par ailleurs, si le bois se dépose préférentiellement sur la marge du chenal principal, les masses varient considérablement d'un site à l'autre. Sur la berge concave de trois méandres de l'Ain, Mollon, Blyes et Bublanne, le bois mort est d'autant plus important que la berge est peu marquée et se situe dans l'axe du chenal. En outre, les masses observées dépendent de l'importance des flux organiques et de la géométrie de la concavité qui varient d'un site à l'autre.

La variabilité spatiale de ces indicateurs permet de constater que la forêt alluviale constitue une mosaïque de milieux inégalement rajeunis. Il n'existe pas une régénération croissante des marges boisées externes au chenal d'écoulement mais des axes de régénération structurés en un réseau complexe et hiérarchisé et des secteurs de stabilité. La forêt riveraine constitue finalement un espace d'écoulements multidirectionnels plus ou moins guidés par les structures biologiques et géomorphologiques du milieu qu'ils drainent. Des écoulements longitudinaux de forte énergie ont été observés dans les anciens bras de faible inertie qui sont séparés par des zones à forte rugosité et caractérisées par des écoulements transversaux. L'ensemble forme une mosaïque d'écoulements à l'origine d'une mosaïque de milieux morphosédimentaires et de groupements phytoécologiques.

Cette dynamique est liée à deux mécanismes interdépendants, l'un d'origine exogène, l'énergie hydraulique, l'autre d'origine endogène, les forces de frottement. La mosaïque ripuaire est ainsi régie par un

équilibre énergétique permanent entre les flux d'eau et de sédiments et les structures biomorphologiques de rugosité.

La forêt dispose ainsi d'une forte capacité de résistance aux flux liquides et solides comme cela a été démontré sur l'Ouvèze et l'Ardèche, deux rivières fortement affectées par la crue du 22 septembre 1992. Malgré tout, les fortes crues peuvent détruire une importante superficie de forêt et permettre le développement et finalement la pérennité dans le temps des stades juvéniles de la mosaïque. Elles constituent ainsi un bienfait phyto-écologique.

Sur l'Ouvèze, il a été démontré que les unités ont réagi différemment selon leur position géographique et leur degré de rugosité hydraulique. La crue a agi sur un espace boisé disposant d'une rugosité hydraulique très variable et a ainsi inégalement transformé le contact lit majeur - lit mineur. En détruisant des stades arborés matures, en couchant des unités de pionniers et en déposant ou non des sédiments granulométriquement très hétérogènes, des accumulations organiques plus ou moins abondantes, la crue du 22 septembre 1992 a multiplié les unités phyto-morphologiques, diversifié la zone ripariale et complexifié la mosaïque fluviale.

L'ensemble de ces observations nous a conduit finalement à définir un indice de régénération reposant sur des indicateurs biomorphologiques et indépendant de l'indice de vieillissement des surfaces. Il a été confronté aux différents groupements végétaux et des espèces sensibles à la régénération ont été identifiées au sein même d'unités forestières âgées.

## **3. Une géographie multiscalaire de la régénération**

### **- Un secteur fonctionnel : le pédoncule de méandre de Mollon**

Les points d'échantillonnage situés dans ce pédoncule sont caractérisés par une régénération d'autant plus forte qu'ils présentent un complexe de formes d'érosion et de dépôt, une granulométrie grossière, un taux de calcaire élevé et un taux de matière organique faible. En règle générale les zones de moyenne et de faible intensité morphodynamique s'apparentent d'abord à des espaces fermés, forestiers.

Les marges boisées de l'Ain ne peuvent se concevoir comme un espace homogène à gradient latéral. La dissipation de l'énergie s'exerce aussi longitudinalement à travers un réseau complexe de chenaux de toute taille. Des axes préférentiels de haute énergie existent à l'intérieur de la forêt et sont caractérisés par un gradient de régénération amont-aval. Une fois canalisés par les bras secondaires et quelques axes mineurs, les flux de débordement dissipent rapidement leur énergie vers l'aval et dans les unités forestières latérales, favorisant ainsi la succession, voire la juxtaposition partielle dans l'espace de multiples processus.

La variation de l'intensité de la dynamique fluviale au sein d'un pédoncule s'exprime ainsi par un triple gradient spatio-temporel de régénération :

- de l'axe des chenaux secondaires vers des unités latérales terrestres du lit majeur,
- longitudinalement, de l'amont vers l'aval de chaque chenal de débordement,
- d'un chenal à l'autre.

Les axes principaux d'écoulement et leurs rives constituent les secteurs à forte dynamique. Le chenal de l'Ain, véritable "moteur" de l'hydrodynamique, large d'une centaine de mètres en crue, doté d'une faible rugosité, est à la fois une zone de transit et une zone de dépôt. Des matériaux grossiers de nature minérale (galets) et organique (troncs flottés) se déposent sur les bancs de convexité. Néanmoins, espace ouvert et propice aux reprises, la bande active n'a qu'une capacité de rétention limitée.

Les processus de dépôt de débris organiques grossiers s'observent principalement dans les concavités de l'Ain et des chenaux de crue intra-forestiers. Le rythme de fonctionnement des anciens bras de tressage, qui servent de collecteurs aval, semble régi par ces embâcles de concavité. La pression des écoulements issus du chenal de l'Ain est telle que le barrage organique peut ponctuellement migrer en direction du cœur forestier et déraciner les arbres qui le calaient, au fur et à mesure des à-coups liés à sa progression discontinue. Une nappe transgressive de galets se forme en arrière de la ligne de débris et fossilise les limons de crue. Une fois que ce complexe de processus a sélectionné ses axes de progression, la régénération des anciens chenaux semble peu réversible.

Ainsi, la distinction classique entre le recouplement par tangence et le recouplement par déversement (Lewin, 1983) ne s'applique pas dans ce secteur d'étude. Le rétrécissement du pédoncule se développe par l'intermédiaire de processus de régénération qui suivent le schéma suivant:

- 1- accumulation de bois mort en concavité,
- 2- pénétration progressive d'un embâcle dans l'espace forestier fragilisé par les flux pionniers (ravinements déchaussant les arbres...),
- 3- projection d'une nappe de galets, dont la morphologie est faite de seuils et de mouilles, à l'amont de l'embâcle.

L'évolution naturelle d'une sinuosité vers le recouplement par déversement peut être contrecarrée si le chenal en cours de formation est barré par des embâcles qui filtrent les matériaux ligneux de petite taille et bloquent l'avulsion (Hickin, 1984). Dans le secteur de Mollon, l'embâcle ralentit sans doute le déplacement latéral du chenal principal mais ne fait pas complètement obstacle à la migration des flux hydriques et minéraux à travers le pédoncule. Le principe d'une auto-limitation du recouplement par déversement ne s'applique donc que partiellement dans ce secteur de l'Ain. L'explication réside dans le fait que le recouplement des sinuosités privilégie des axes de débordement qui sont le plus souvent hérités de la dynamique antérieure de tressage. Les embâcles de la concavité restent perméables à l'écoulement et pérennisent la chenalisation des flux dans d'anciens chenaux qui conservent, de manière atténuée, le fonctionnement propre au tressage.

Les zones de moyenne et de faible intensité morphodynamique caractérisent des espaces ouverts et fermés du lit majeur. Les volumes et la nature des accumulations de bois mort, les modifications micromorphologiques et végétales décrivent au sein de ces espaces un gradient de régénération :

- La taille des embâcles et des individus qui les constituent se réduit et s'homogénéise alors que la compétence des eaux s'atténue et que la distance existant entre l'axe majeur et le site de dépôt s'accroît. Rapidement les embâcles de berge sont remplacés par des embâcles de branchages puis de brindilles qui sont beaucoup plus nombreux et au volume réduit. Des troncs au sol, isolés les uns des autres, autochtones et non remaniés, marquent la limite de la compétence des eaux dans des sites déjà éloignés de l'axe principal. Le dernier stade de la séquence est l'unité forestière non perturbée où la litière se décompose in situ .
- Dans les secteurs forestiers situés à proximité des axes dynamiques, les modifications de surface sont extrêmes. Des saignées érosives, profondes de quelques cm à 1 m, sinueuses et parallèles les unes aux autres dilacèrent le sol. A l'amont de la lône centrale, cette dynamique est si agressive que les ravinaux se sont réunis et forment un véritable chenal que les eaux suivent préférentiellement et dans lequel les racines des arbres encore valides sont petits à petits exhumées, comme le bois mort autochtone antérieurement fossilisé par des limons de crue. Cette dynamique érosive est étroitement liée à celle du bois mort en transit. Les embâcles se forment en travers des saignées d'écoulement; en créant une succession de barrages, ils favorisent de petits débordements localisés, potentiellement érosifs, qui rajeunissent le milieu traversé. Ces processus d'abrasion sont aussi couplés à des processus de dépôt de sables récents grossiers. Dans la partie aval de la forêt, l'érosion se réduit. La profondeur et le nombre de saignées s'atténuent et, bientôt, seule la litière est remaniée. Parallèlement, les dépôts récents se raréfient et la taille de leurs particules se réduit.

- Enfin, la végétation réagit à la dynamique de régénération de multiples façons. Il existe une logique de préservation, une inégale résistance spatiale et temporelle des plantes vis-à-vis de l'intensité des écoulements. D'ailleurs, la végétation peut réagir parfois avec retard aux nouvelles conditions dynamiques. Ainsi, la présence d'espèces arborées dans l'axe d'un chenal peut laisser présager l'extrême jeunesse fonctionnelle de ce dernier. Plus la capacité de rajeunissement est forte, plus la densité des plantes est faible. Les strates inférieures de la forêt ont une densité qui est en proportion de la pression croissante des agents exogènes. Les arbustes (*Cornus sanguinea*, *Prunus spinosa*, *Crataegus monogina*) disparaissent souvent et la végétation basse se fait discontinue au fur et à mesure que la régénération s'accroît. Certaines modifications phytosociologiques signalent aussi la pénétration croissante des flux, l'humidité accrue favorisant par exemple la multiplication des herbacées aux dépens de la litière forestière qui est exportée.

#### - Exemple de deux unités fonctionnelles

A une échelle plus fine, les processus et les formes de régénération se succèdent également dans l'espace. Dans les secteurs hautement énergiques où la connexion lit majeur - lit mineur est la plus nette, la ripisylve canalise les flux de débordement dans des axes préférentiels d'écoulement. Cette dynamique engendre des complexes de processus relais de dissipation de l'énergie qui diffèrent en fonction du taux d'énergie disponible.

Une géographie des processus et des formes de régénération caractérise les marges post-pionnières des rivières à tresses ou à faible sinuosité. Ils se relaient et leur nature, leur nombre ou leur ampleur varient au fur et à mesure de l'atténuation des vitesses de la nappe d'eau.

Différents complexes de processus biostructuraux successifs ont ainsi été identifiés sur les marges pionnières de la bande active ou les axes intraforestiers de débordement de l'Ouvèze. Le site de Lanas sur l'Ardèche est également caractérisé par une inégale rugosité interne à l'origine de la canalisation des flux et d'une inégale régénération du milieu. Certains indicateurs montrent que la destruction inégale des ligneux correspond à un gradient latéral et longitudinal qui peut être interprété comme un gradient de dissipation de l'énergie.

Dans le bouchon alluvial situé à l'amont d'un bras de débordement du pédoncule de Mollon, la dynamique de régénération est également marquée par une succession de l'amont vers l'aval de processus géomorphologiques spécifiques.

La répartition longitudinale des volumes de sédiments en transit est très intéressante. Trois segments très caractéristiques ont été individualisés lors de l'analyse d'une parcelle d'échantillonnage trois années durant. Le plus amont présente un déficit sédimentaire majeur qui correspond au recul de la berge. Le secteur médian est en revanche une zone d'accumulation de sédiments grossiers qui recueille 20 à 30% des volumes exportés en berge. Le secteur aval, enfin, se caractérise par une reprise de l'érosion aux dépens des limons du lit majeur.

Cette dynamique morphosédimentaire s'accompagne d'une modification des formes de dépôt du bois mort. Celui-ci forme une suite de lignes de débris dont la masse se réduit et la continuité se disloque vers l'intérieur de la forêt.

La vitesse de régénération au sein d'un chenal de crue est extrêmement variable et répond ainsi à un rapport de force entre des facteurs dynamiques (hydrauliques) et statiques, les caractéristiques géographiques, géomorphologiques et biogéographiques du site expliquant que les forces d'inertie soient très variables dans le temps et l'espace.

La prise en charge et le transport des sédiments ainsi que les frottements au niveau des structures ligneuses et de la surface permettent ainsi à la rivière de dissiper son énergie sur ses marges végétales. Une géographie de la régénération peut dès lors être décrite. Elle est caractérisée par une succession de processus-relais et dépend de plusieurs facteurs tels que l'énergie de la crue, le type de structures ligneuses (diamètre, flexibilité, densité des arbres et arbustes) et la position spatiale et altitudinale du point d'observation par rapport aux axes de régénération.

A l'issue de ces deux premières parties, la dynamique spatiale et temporelle de la ripisylve de quelques cours d'eau de forte énergie du bassin du Rhône est mieux connue et les relations fonctionnelles entre la bande active et les marges végétales apparaissent plus clairement. Aussi, les résultats acquis viennent s'ajouter à l'abondante bibliographie existante et permettent d'aborder au cours d'une dernière partie quelques perspectives de gestion de la forêt riveraine, cette gestion s'inscrivant dans une démarche écologique à valeur économique.

### **IIIème Partie:**

## **PERSPECTIVES DE GESTION ÉCOLOGIQUE DE LA FORÊT ALLUVIALE**

**I Préserver la forêt alluviale, une nécessité patrimoniale, un intérêt écologique et socio-économique**

**II Vers une gestion écologique de l'hydrosystème**

**III La gestion de la ripisylve, quelles démarches opérationnelles envisager?**

**IV Quelle logique d'intervention et quelle gestion préconiser pour les forêts alluviales?**



L'étude de l'évolution historique et de la variabilité intraforestière de la dynamique hydromorphologique permet de proposer plusieurs axes de gestion des marges boisées. Celle-ci ne peut pas être conduite indépendamment de la gestion de la rivière.

L'étude de la ripisylve et les propositions de sa gestion seront donc à intégrer dans une approche globale qui précèdera la phase opérationnelle des futurs SAGE. La clé d'une bonne gestion écologique intégrant la dimension latérale de l'hydrosystème reposera sur la conservation de la connectivité entre la forêt et la rivière. Il sera par conséquent nécessaire de s'intéresser à l'histoire de la gestion des rivières pour comprendre la gestion actuelle et les perspectives de gestion de la ripisylve.

Trois axes seront retenus, il conviendra de :

1. montrer la nécessité et l'intérêt d'intégrer le compartiment forestier dans la gestion des hydrosystèmes,
2. replacer la gestion écologique de la ripisylve dans une perspective de gestion globale,
3. proposer des orientations opérationnelles concernant la gestion du milieu et la prise en compte des facteurs anthropiques, la forêt alluviale plus encore que la rivière étant à l'interface entre l'espace de l'homme et celui de la nature.

## I Préserver la forêt alluviale, une nécessité patrimoniale, un intérêt écologique et socio-économique

La forêt alluviale est un écotone, c'est-à-dire une zone de contact majeur entre l'eau et la terre, entre les actions de l'homme et les dynamiques naturelles. La nécessité de gérer ces espaces de contact est aujourd'hui reconnue compte tenu des atteintes qui leurs ont été portés. Ils présentent en effet une grande richesse écologique et un intérêt socio-économique croissant.

### 1. Les atteintes portées à la zone-tampon

Si la ripisylve existe depuis peu sur certains cours d'eau de piémont tels que l'Ain, l'Ardèche ou l'Ouvèze, une zone tampon, mise en valeur de manière extensive, existe sur toutes les rivières d'étude depuis le XIX<sup>e</sup> siècle et parfois même le XVIII<sup>e</sup> siècle comme sur le Giffre. L'homme a donc su utiliser durant des siècles cet espace tout en lui concédant un fonctionnement relativement naturel.

Or, la superficie de cette zone aujourd'hui boisée est en réduction depuis 1945 (fig. 146). Pour mettre en évidence une telle évolution, la largeur de l'espace anthropisé a été observée sur les différents transects levés sur les photographies aériennes, la première année d'observation étant l'année de référence. La totalité de l'espace étudié est donc considérée à cette date comme naturel. Au cours des années suivantes, cette bande s'est progressivement réduite à la suite de l'anthropisation, celle-ci étant exprimée en pourcentage de la surface de référence. La plupart des marges des rivières étudiées sont caractérisées par une forte progression de l'occupation anthropique permanente. Celle-ci est passée ainsi de 0% dans les années 1945-50 à 6-10% aujourd'hui. Cette évolution est surtout caractéristique des deux dernières décennies. L'Ardèche se distingue des autres rivières et présente une évolution plus forte et plus précoce. La zone anthropisée en 1989 représente 22% de l'espace naturel de 1947 et l'augmentation de l'occupation est observée dès la période 1947-1969.

Une cartographie de l'évolution de la largeur de la bande naturelle entre 1947 et aujourd'hui a été conduite à titre d'exemple sur l'Ardèche et sur l'Ouvèze (fig. 147). Elle a montré que les fortes réductions restent localisées sur des tronçons bien identifiés comme la traversée de Lanas ou le tronçon Ruoms - Vallon sur l'Ardèche, comme la plaine située à l'amont de Vaison ou le tronçon Sablet-Violès sur l'Ouvèze. Si les points les plus caractéristiques sont concentrés, rares sont les secteurs peu touchés. Sur l'Ardèche, ils correspondent assez exactement aux tronçons en gorges.

L'amenuisement de l'espace tampon a été observé sur de nombreuses rivières d'Europe (Yon et Tendron, 1981). Les grands fleuves européens ont ainsi été marqués par un recul inquiétant de la ripisylve. C'est le cas du Danube de Passau à Bratislava où la superficie ripicole est passée de 33 000 ha en 1830 à 17 000 ha en 1978. C'est aussi le cas de celle du Rhin entre Bâle et Lauterbourg qui est passée de 15 000 ha à 2 000 ha entre 1930 et 1976.

Le grignotage progressif de l'espace naturel concédé à la rivière en 1945 s'effectue en même temps qu'apparaît la forêt. Celle-ci est donc touchée par cette évolution au risque de ne plus être constituée que de lambeaux. Or, un espace-tampon boisé mais discontinu ne présente pas les mêmes potentialités écologiques et la même efficacité vis-à-vis des risques d'érosion et d'inondation qu'une bande continue. Outre la réduction et la déstructuration de l'espace ripicole, l'enfoncement du profil en long contribue aussi à altérer la qualité écologique du corridor. En effet, La nappe phréatique peut également s'enfoncer, ce mouvement perturbant à

son tour les essences végétales (Chalemont, 1989; Reich, 1994). Par ailleurs, l'enfoncement peut également réduire la fréquence et l'ampleur des crues alors que celles-ci constituent le moteur de la régénération des unités végétales.

L'occupation actuelle de plus en plus permanente présente une faible tolérance aux inondations, une faible adaptation à la mobilité du milieu et induit progressivement une stabilisation de celui-ci qui se caractérise par la volonté de protections de berges.

L'occupation progressive de l'espace riverain boisé ou non est liée au développement de multiples usages, tels que l'extraction de granulats, le tourisme, l'agriculture...

Sur l'Ain, l'emprise de la plaine moderne est d'abord liée à l'agriculture (200 ha) avec le développement d'une céréaliculture fortement mécanisée et notamment du maïs irrigué. Les carrières ont une emprise plus importante encore, estimée à près de 300 ha (photographie 29). Les infrastructures de loisirs, une vingtaine de campings ont été recensés, sont aussi consommateurs d'espace (Combe, 1991) (photographie 30).

Sur l'Ardèche, le recul de la bande naturelle riveraine, notamment à l'aval de Ruoms, s'explique d'abord par le tourisme. L'étude Cédrat (1984) signale que 50% des campeurs des rivières Ardèche, Beaume et Chassezac se situent sur le tronçon Ruoms - Pont d'Arc. Sur le secteur d'étude, la capacité d'accueil totale a été estimée à 37 000 personnes (93% sont des campeurs) alors que la population permanente n'est que de 22 400 personnes. La densité d'habitant passe donc en été de 120 à 318 habitants par km<sup>2</sup>.

Sur le Giffre, le besoin de place à proximité du cours d'eau est grand car la rivière attire, concentre le tourisme d'été. En outre, cette période de forte pression touristique intervient alors que le risque d'inondation s'est réduit à la suite de l'incision du lit de la rivière. Ainsi une base de loisir et des plans d'eau se sont récemment développés aux dépens de la forêt sur les communes de Morillon et de Samoëns. Un golf est également prévu sur 70 ha occupés auparavant par la forêt. Le rideau arboré est également propice à l'installation d'infrastructures répulsives telles que des stations d'épuration (Morillon, Taninges), des zones de stockage de matériaux, des décharges ou des installations industrielles et commerciales récentes (usines, scieries, supermarchés...). Les extractions sont encore très présentes et occupent près de 22 ha contre 19 pour les activités liées au tourisme. Cette forêt ancienne, exceptionnelle, classée en ZNIEFF, est ainsi en cours de morcellement (René, 1992).

Sur l'Ouvèze, l'agression de la forêt alluviale et des espaces riverains inondables a aussi été extrêmement vive. De nombreuses entreprises d'extractions, des décharges, des campings se sont développés en bord de rivière. L'extension urbaine de Vaison reste le phénomène le plus connu et sans doute le plus grave. Le rapport du Conseil Général des Ponts et Chaussées (1992) note que le Plan Directeur d'Urbanisme de 1971 a permis l'implantation d'activités artisanales en bordure de l'Ouvèze en rive gauche et la construction d'habitations en rive droite à l'aval du Pont romain. Le POS de 1972, approuvé en 1983, élargit encore la possibilité d'implantation et de développement de zones d'activités et d'habitat. Ces autorisations s'appuyaient sur l'observation de la plus forte crue connue au cours de ce siècle (avant 1992), celle de 1951.

La vallée de l'Ubaye, enfin, est vouée à un développement touristique actif caractérisé aujourd'hui par l'essor remarqué des sports d'eau vive. Les implantations récentes en lit majeur sont assez semblables à celles observées sur les autres rivières. La décharge de Faucon est le point noir de la vallée. Il s'agit d'une zone de dépôts de déchets de l'ordre de 58 000 m<sup>3</sup>, auxquels il faut ajouter 25 000 m<sup>3</sup> de déchets inertes, située en zone riveraine, inondable pour de fortes crues et en relation directe avec la nappe d'accompagnement. Elle est en outre incompatible avec les critères auxquels doivent répondre les décharges contrôlées (Cémagref *et al.*, 1993). Une zone d'industrie et de stockage de matériaux est également développée sur la partie basse du cône de déjection du Riou Bourdoux, à l'aval de Barcelonnette. Elle est actuellement préservée des inondations à la suite de l'enfoncement du lit mineur. Enfin, près de six campings et 2 à 3 bases de rafting se succèdent à l'aval des Thuiles.

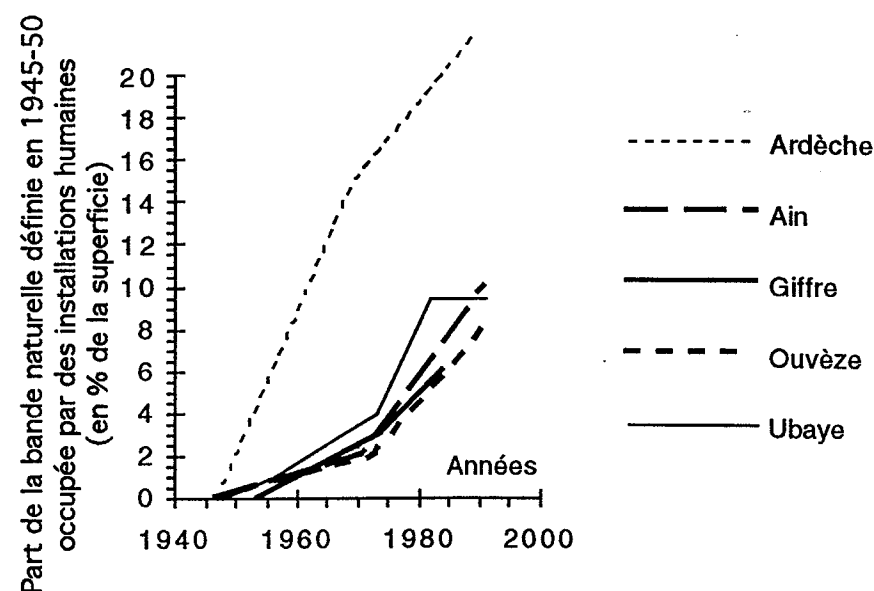


Figure 146 - Évolution des installations humaines permanentes dans la bande naturelle concédée au cours d'eau par les riverains en 1945, exemple des cinq cours d'eau étudiés (exprimée en % de la surface naturelle de référence).

Le problème de l'incision et le grignotage progressif de la zone tampon aujourd'hui colonisée par la forêt ont été constatés sur toutes les rivières d'étude.

Les extractions de granulats ou les infrastructures touristiques (bases de loisirs, campings, résidences d'été...) et les installations considérées comme répulsives (décharges, stations d'épuration) (photographie 31) s'implantent de plus en plus dans le corridor forestier.

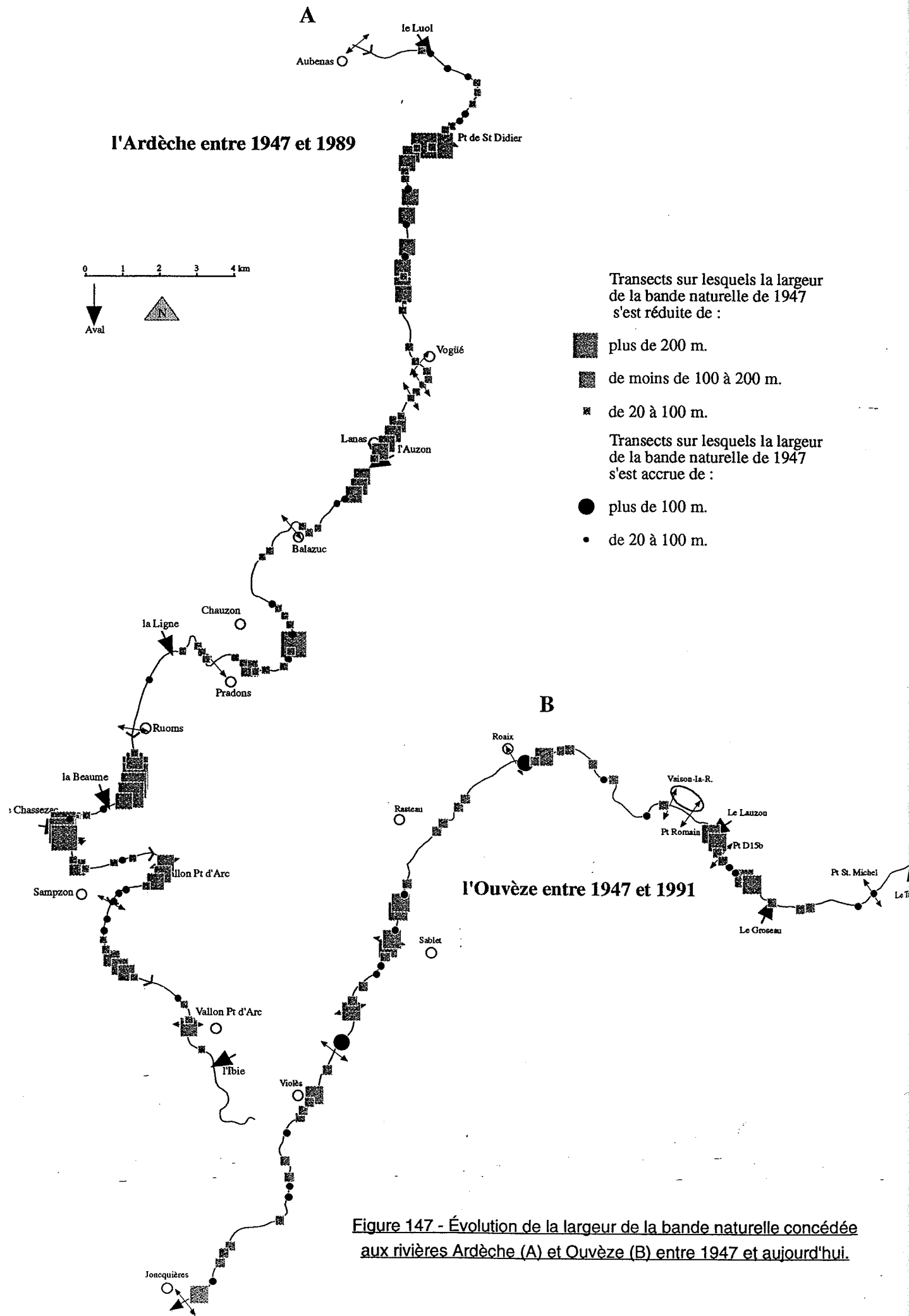
Les gestionnaires doivent donc prendre en compte non seulement ses potentialités écologiques mais également un plus juste équilibre entre les usages et le milieu. Les logiques spatiales des collectivités locales en matière d'aménagement et de développement peuvent constituer un frein à une telle démarche qui doit donc impérativement être conduite en concertation.

La nécessité de préserver cet espace s'affirme aujourd'hui, sa disparition à terme est difficile à admettre, son existence étant traditionnellement reconnue. Par ailleurs, un espace qui devient rare prend une valeur patrimoniale et financière que l'économiste peut estimer.

## 2. L'intérêt de conserver une ripisylve

S'il apparaît aujourd'hui nécessaire de préserver un tel espace à long terme, simplement parce qu'il disparaît, il est important d'affirmer que cette démarche est également judicieuse à court et moyen terme. Une société développée devrait trouver un intérêt écologique et économique à conserver un tel espace notamment lorsqu'il est boisé.

Le rôle écologique de la ripisylve est aujourd'hui reconnu par les écologues et les gestionnaires. Elle constitue une phytocénose exceptionnelle et abrite une zoocénose originale et diversifiée.



**Photographie 29 - Une zone d'extraction de matériau à l'intérieur du corridor végétal de rive gauche de l'Ain à l'aval du Pont de Port-Galland.**



**Photographie 30 - Un corridor forestier domestiqué et plus étroit au niveau de la zone de loisir de la commune de Villieu-Loyes-Mollon en rive droite l'Ain.**



**Photographie 31 - La décharge de Saint-Jean-de-Niost à l'intérieur du corridor végétal de rive droite de l'Ain, des déchets en étroite relation avec la nappe phéatique et les écoulements superficiels de l'Ain lors des crues.**

## 2.1. Les forêts alluviales, une richesse biologique et patrimoniale, une réserve génétique

La forêt alluviale de la plaine rhénane parfois appelée "forêt dense tempérée caducifoliée" est une forêt-galerie qui présente une grande diversité biologique, un foisonnement végétal comparables à ceux des forêts plus riches en espèces du Japon ou de l'Est des Etats-Unis et des forêts tempérées chaudes du Tertiaire (Walter, 1979). Elle présente une grande originalité floristique, structurale et écologique (Carbiener, 1970, Walter, 1976) et sa flore est extrêmement diversifiée. Avec un total de plus de 50 espèces comportant des éléments déalpines, méridionaux et médio-européens, la flore dendrologique de la plaine rhénane est très riche. Cette richesse reste tout de même bien en deçà de celle observée sur le Sinamari (climat tropical humide de Guyane) où près de 995 espèces ont été recensées (Schnitzler-Lenoble et Carbiener, 1993).

Une grande diversité est aussi observée dans les communautés prairiales mésohygrophiles du Haut-Rhône qui peuvent regrouper jusqu'à 50 espèces (Pautou et Décamps, 1985). La diversité s'exprime encore au niveau des groupements. I. Karpati et V. Karpati (1958) ont dénombré jusqu'à 16 groupements arbustifs et arborescents dans la plaine hongroise du Danube (Amoros et Petts, 1993). J. Girel, G. Pautou et A. Païs ont recensé près de 70 unités différentes sur 9 km de rivières lors du levé de la carte de la végétation de la basse plaine de l'Ain (Roux et al., 1986).

Ces forêts présentent également une valeur patrimoniale et constituent une réserve génétique exceptionnelle. S. Scher et B. Schwarzschild (1989) ont montré la difficulté de conserver et de gérer une ressource surexploitée, l'if pacifique (*Taxus brevifolia*) aux Etats-Unis alors que cette espèce est aujourd'hui vitale puisque son écorce contient un agent anticancéreux. Des potentialités pharmacologiques encore peu exploitées doivent donc être préservées.

Les forêts alluviales présentent également une complexité structurale peu commune en Europe, soulignée par l'abondance des formes ligneuses basses et des lianes, la prédominance des arbres à cime légère permettant l'épanouissement d'espèces peu compétitives. Ces forêts sont multistratifiées mais leur stratification est chaotique et réunit des arbres et arbustes aux dimensions les plus variables (Walter, 1979). Néanmoins, l'hétérogénéité fondamentale de la forêt non exploitée (écarts d'âge, structures des populations, biovolumes, alternances d'essences...) cache un très haut niveau d'organisation.

Enfin, les forêts alluviales constituent un moteur écologique pour l'ensemble des écosystèmes aquatiques et terrestres. La décomposition de la litière est rapide et le taux atteint 100%/an pour *Fraxinus* et 90%/an pour *Quercus* (Schnitzler-Lenoble et Carbiener, 1993). Les sols alluviaux de la forêt de bois durs sont très riches en micro-flores et notamment en bactéries (Penka *et al.*, 1985). Proches du cours d'eau, les formations végétales arborées riveraines constituent également une importante source de matière organique allochtone (feuilles, tiges, débris ligneux grossiers...); plus éloignées, par le jeu du "spiralling" ou parcours en hélice des nutriments (Décamps et Naiman, 1989), elles agiront sur le stockage, le recyclage ou le relargage vers l'aval des éléments nutritifs (effet filtre).

## 2.2 Le rôle zooécologique de la végétation riveraine

Les marges des rivières sont essentielles pour les amphibiens, les reptiles, les oiseaux dont le cycle de vie est parfois fortement lié aux crues.

L'importance écologique de la végétation riveraine pour les communautés animales constitue un très vaste sujet. C'est pourquoi, deux axes seulement ont été prospectés. Ils concernent respectivement les potentialités piscicoles et avicoles du compartiment forestier.

## 2.2.1. Les potentialités piscicoles

### 2.2.1.1 Les habitats

Il est admis que la diversité et la productivité piscicoles sont d'autant plus élevées que les habitats sont diversifiés (Gorman et Karr, 1978; Bisson *et al.*, 1981). En influençant les conditions morphologiques et hydrologiques, la ripisylve contribue à diversifier les habitats piscicoles (fig.148).

Les processus seront présentés à l'échelle du lit majeur et de la berge proprement dite.

#### - A l'échelle du lit majeur:

Les formations végétales arborées riveraines favorisent la diversité des habitats. H. Sioli (1982), R.J. Naiman et H. Décamps (1990) notent que la connexion plaine alluviale-chenal principal est importante pour la migration des poissons non seulement à des fins trophiques mais également reproductives. Le niveau des eaux de l'Amazone, durant sa période de crues (4 à 10 mois par an), monte de 15 m ce qui permet à des centaines d'espèces de poissons d'entrer dans la forêt inondée pour se nourrir. Dans les cours d'eau de la forêt tropicale pluvieuse, il existe ainsi une grande variété de poissons dépendants de l'inondation annuelle de la forêt de la plaine d'inondation.

F.J. Swanson et G.W. Lienkaemper (1982) expliquent que les processus géomorphologiques créent différents habitats aquatiques dans la vallée. Ils distinguent sur la South Fork Hoh River (cours d'eau de rang intermédiaire), un chenal principal, des bras morts, des tributaires phréatiques et des tributaires de versant dans lesquels l'hydrodynamique et l'influence de la végétation sont très différentes. C. Amoros et A.L. Roux (1988), M.S. Moore et S.V. Gregory (1989), G.E. Copp *et al.* (1992) ont également montré l'importance des habitats latéraux pour les juvéniles de salmonidés. Ceux-ci se dirigent rapidement vers la ripisylve ou sur le bord des rivières afin de se nourrir et fuir les prédateurs. Durant cette période critique des salmonidés, l'écotone est fondamental et influe directement sur l'abondance, l'essor et la survie des espèces. (Naiman et Décamps, 1990). R. Spotts (1989) explique que la destruction de 98% de la ripisylve de la Sacramento River entre 1848 et 1990 aurait induit une réduction de 80% des poissons en liaison avec la perte de leur habitat.

La régénération des formations végétales arborées riveraines associée à l'érosion latérale maintient un écosystème productif. Sur le cours moyen du Sacramento, l'érosion des berges favorise les aires de ponte pour les salmonidés telles que des seuils de convexité, des chenaux de recoupement de méandres et des aires à chenaux multiples (Buer *et al.*, 1989). Ainsi le rétablissement du méandrage et donc de l'érosion latérale sur les rivières rectifiées permet de retrouver la séquence seuil-mouille et de recréer la diversité de l'habitat (Petersen *et al.*, 1992).

#### - A l'échelle de la berge :

La ripisylve influence l'habitat des salmonidés en favorisant les couverts, soit directement en créant des encorbellements, soit en étant la source de débris ligneux grossiers (Boussu, 1954; Meehan *et al.*, 1977; House et Boehne, 1986; Hunter, 1991). Ces formations jouent un rôle d'abri au moment des conditions climatiques et hydrologiques difficiles (Bisson *et al.*, 1987; Poujardieu, 1988). Les racines sont bien sûr des caches mais aussi des supports de ponte pour les poissons (GIREA, 1987).

Dans les cours d'eau de faible énergie, le mouvement et le dépôt de sédiments à la suite d'une modification de la végétation du bassin versant et à une dégradation de la ripisylve provoquent la destruction des habitats.

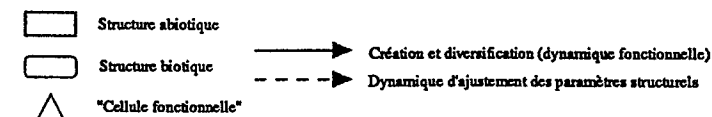
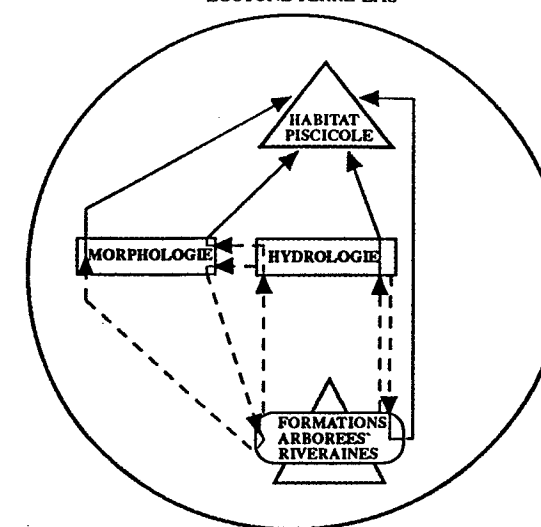


Figure 148 - La ripisylve, une structure créatrice d'habitats.

Absente, la végétation rivulaire ne filtre plus les sédiments fins en transit. La charge en suspension affecte la vie piscicole en provoquant des séquelles au niveau des branchies et une réduction des capacités visuelles. La sédimentation récente réduit l'écoulement intragraveleux, limite les apports en oxygène nécessaire à l'incubation des oeufs et des alevins et favorise des dommages par abrasion physique (Meehan *et al.*, 1977; Lynch *et al.*, 1977, Gregory et Stokoe, 1981, Moring *et al.*, 1985; Campbell et Doeg, 1989). Dans ce cas, par sa présence, la ripisylve réduira la charge sédimentaire par filtration.

La ripisylve agit également directement sur l'éthologie des poissons en créant une protection contre des prédateurs potentiels (Meehan *et al.*, 1977, 1987; GIREA, 1987). En effet, l'ombre créée par la végétation arborée peut dissimuler les poissons qui possèdent un comportement territorial, et ainsi diminuer l'agressivité vis-à-vis de congénères. De nombreux auteurs ont constaté chez un grand nombre d'espèces de salmonidés, un préférendum en période de repos pour des secteurs ombragés (Brusven *et al.*, 1986, Meehan *et al.*, 1987). Par contre, la recherche de nourriture et l'alimentation sont facilitées dans les secteurs à canopée ouverte. M.A. Wilzbach *et al.* (1986) trouvent chez les truites une corrélation positive entre le pourcentage de proies capturées et la surface éclairée. La plus grande visibilité des proies en secteur éclairé et donc de l'efficacité de capture agit sur la croissance des truites. La disponibilité des proies est un facteur important qui détermine la distribution et l'abondance des truites (Wilzbach, 1985 ; Wilzbach et Hall 1985).

### 2.2.1.2 Facteurs physiques et chaîne trophique

Dans les cours d'eau de rangs inférieurs et moyens, les formations végétales arborées riveraines contrôlent la chaîne trophique à sa base en injectant dans le système des débris organiques, en filtrant les apports en nutriments, en limitant la production autotrophe par ombrage et en régulant la température (fig. 149). Ainsi toute atteinte à la végétation induira des changements au niveau de la chaîne trophique à l'intérieur du cours d'eau et donc de la productivité piscicole (Bilby et Bisson, 1992).

#### - Rôle de l'ombre et de la lumière

La lumière et la vitesse du courant sont des facteurs limitant du développement périphytique ou macrophytique; la quantité de nutriments (azote, phosphore) selon leur teneur agira seulement sur la trophie du système (Haury, 1985). Ainsi une coupe à blanc agit nettement sur la production primaire et donc sur le rapport

autotrophes/hétérotrophes. A court terme, un milieu ouvert est globalement plus productif qu'un milieu fermé, il engendre une production autotrophe plus importante (Hawkins *et al.*, 1983; Behmer et Hawkins, 1986), d'autant plus que l'effet filtre des nutriments aura disparu avec la disparition du système racinaire (Holopainen *et al.*, 1991). Or le périphyton possède une qualité alimentaire plus élevée par rapport aux litières de feuilles mortes ou de branchages (Hawkins *et al.*, 1982, Steinman *et al.*, 1988). Ces modifications induiront donc des changements au niveau des groupes trophiques supérieurs (macroinvertébrés, poissons). Dans des rivières de faible énergie, cet état peut engendrer une eutrophisation du milieu, néfaste à la vie des organismes. Dans d'autres cours d'eau plus dynamiques, l'augmentation de la production primaire, suite à un éclaircissement de la végétation rivulaire, engendre une augmentation de l'abondance des invertébrés et de ce fait des prédateurs (Murphy *et al.*, 1981 et 1984).

L'éclaircissement influence également la composition périphytique. En site ombragé, le peuplement est dominé par les diatomées et en site plus ouvert, ce sont les algues filamenteuses et d'autres macro-algues qui dominent (Campbell et Doeg, 1989 ; Hicks *et al.*, 1991, Murphy *et al.*, 1981).

La ripisylve régule également la production macrophytique (GIREA, 1987; Cémagref, 1988; Poujardieu, 1988; Gregory *et al.*, 1989). Suivant la largeur du cours d'eau, l'ombre créée par une végétation arborée rivulaire peut agir sur la biomasse et le développement des plantes aquatiques (Haury, 1985). Lorsque les macrophytes deviennent trop abondants, la création de zones d'ombre peut être une réponse au problème de gestion de la biomasse des plantes aquatiques (Dawson et Kern-Hansen, 1979, Dawson et Haslam, 1983).

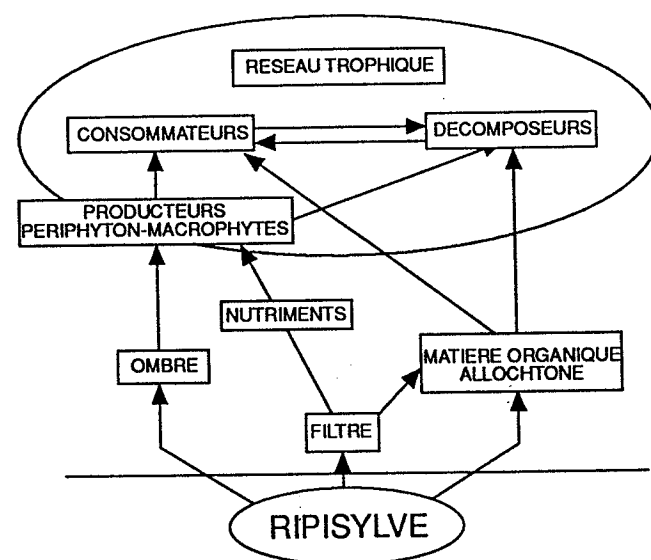


Figure 149 - Les relations entre la ripisylve et le réseau trophique.

#### - Modification de la température

La végétation rivulaire contrôle directement la température de l'eau. Celle-ci est proportionnelle à la surface exposée aux radiations et à l'énergie solaire entrante. L'impact de la ripisylve sur la température de l'eau varie suivant la morphologie du cours d'eau et le port des végétaux rivulaires. Ainsi sur les cours d'eau larges (ordre 6 à 7), seuls les arbres pourront fournir un ombrage efficace en bordure de berges alors que sur les cours d'eau moyens (ordre 3 à 5), des taillis suffiront à modérer la température de l'eau (Platts, 1991). L'enlèvement de la végétation riveraine sur des petits cours d'eau non montagneux peut provoquer une augmentation des

températures estivales de 3 à 5°C, une diminution des températures hivernales de 1 à 2°C et engendrer des variations quotidiennes plus prononcées (Clément, 1985; Platts et Nelson, 1989).

Ces changements de régime thermique modifient les communautés benthiques en agissant directement sur le cycle vital des organismes (Quinn *et al.*, 1992) et indirectement sur la qualité nutritive de la nourriture disponible (Fuller et Fry, 1991). Une variation de quelques degrés peut agir directement sur la fécondité ou la taille des individus et indirectement sur la qualité nutritive des aliments en contrôlant par exemple le taux de colonisation des feuilles par les micro-organismes. Ainsi, l'abondance et la diversité des communautés benthiques sont affectées. Une augmentation de température favorisera le développement de la microflore qui utilise la matière organique; ce qui pourra provoquer une décomposition plus rapide et une augmentation de la production d'invertébrés (Beschta *et al.*, 1987). Mais ceci n'est qu'un effet transitoire qui accélère la consommation des stocks en matière organique et à long terme on assiste à une diminution de la disponibilité en matériel organique.

Comme pour les communautés benthiques, la température agit sur le groupe fonctionnel des prédateurs supérieurs. Par leur position dans la chaîne trophique, ils intègrent toute modification trophique du système. De plus la température intervient directement sur leur cycle de développement et leur métabolisme. Par exemple la végétation rivulaire permettra de maintenir une température propice au développement, à la reproduction, à l'alimentation des populations résidentes de salmonidés (Meehan *et al.*, 1977). D.T. Crisp (1989) donne pour différentes espèces de truite un optimum entre 4 et 19 °C et une température de 23 °C comme critique pour un grand nombre de salmonidés. Une température élevée peut provoquer une augmentation des affections virales ou bactériennes, augmenter la mortalité par maladie (Beschta *et al.*, 1987). La présence le long du cours d'eau de secteurs à l'ombre peut abaisser la température de quelques degrés. Selon J.D. Hall et R.L. Lantz (1969), en été, sous un climat tempéré, un tronçon ombragé de 200 m de longueur entraîne une diminution de la température de l'eau de 3 °C.

Indirectement, une augmentation de température agira sur les organismes en diminuant la solubilité de l'oxygène dans l'eau (Hall et Lantz, 1969).

#### 2.2.2 L'avifaune

La relation entre la ripisylve et les vertébrés terrestres et notamment les oiseaux est difficile à apprécier car ces animaux vivent sur un espace qui dépasse largement les associations végétales du corridor forestier. Néanmoins, A. Schnitzler-Lenoble et R. Carbiener (1993) notent que l'avifaune de la forêt alluviale du Rhin, avec 38 espèces nicheuses sur 10 hectares, est deux fois plus riche en espèces nicheuses qu'une chênaie-hêtraie climacique.

La ripisylve de la basse vallée de l'Ain (Michelot, 1990a) abrite des espèces d'oiseaux à la base du cortège forestier observé dans toutes les plaines. A cela s'ajoutent des espèces spécifiques comme le Héron bicolore ou l'Aigrette garzette qui dépendent pour leur alimentation de la proximité de la rivière. Parmi 9 types de milieux définis, la ripisylve, avec 50 espèces recensées (fig. 150), présente la plus forte diversité. Néanmoins, l'indice de rareté, dans les 9 types de milieux, met davantage en évidence les milieux de contact, tels que les bancs de galets, les berges et les îles. Ces milieux pionniers sont originaux mais peu diversifiés alors que la ripisylve présente une population plus banale mais plus diversifiée. L'augmentation du nombre d'espèces répond à l'augmentation du nombre de niches écologiques lié à la structure de la végétation. Le corridor naturel de la basse vallée de l'Ain dispose ainsi d'une richesse faunistique considérable. 180 espèces d'oiseaux ont été recensées dont 100 espèces nicheuses.

Sur la Loire, le nombre total d'espèces d'oiseaux a été estimé, lors de la collecte effectuée par B. Frochot en 1993, à 151. 54% d'entre elles sont liées à des habitats forestiers purs (26%) ou dégradés (28%) contre 30% à des habitats aquatiques. La diversité des biotopes de la ripisylve, déterminée notamment par la dimension des milieux et la composition du paysage (hétérogénéité) explique son importance ornithologique. B. Frochot (1993) observe également une zonation de l'avifaune sur le fleuve. Les peuplements se transforment parallèlement au style géomorphologique. Il distingue notamment une zone de tressage à Chevalier guignette

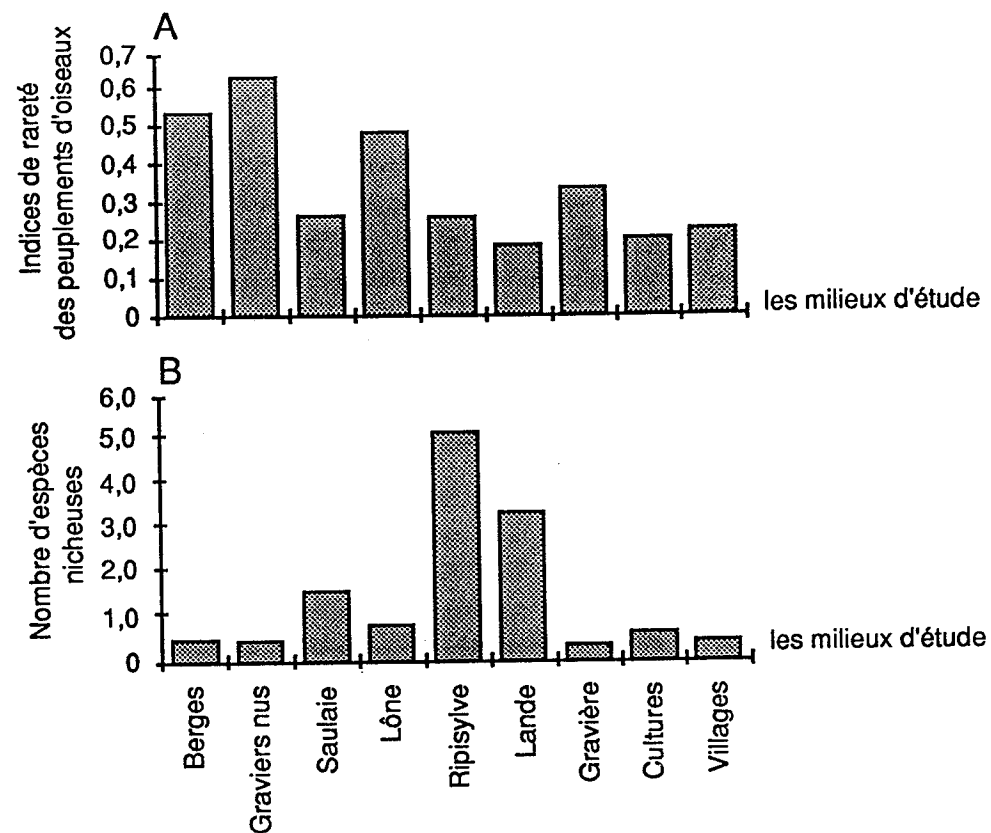


Figure 150 - Indice de rareté des peuplements d'oiseaux (A) et nombre d'espèces nicheuses (B) dans 9 milieux d'observation sur la basse vallée de l'Ain (D'après J.L. Michelot, 1990a).

caractérisée par un courant rapide et un lit étroit, une zone en anastomoses à Sternes associés au Martin pêcheur, à l'Hirondelle de rivage et au Petit gravelot. Cette zone est caractérisée par un cours moyennement rapide, un lit large aux nombreux bras et des bancs de galets étendus.

### 2.3 Le rôle socio-économique de la forêt riveraine

La forêt riveraine présente de multiples intérêts économiques et sociaux. Elle constitue une ressource ligneuse peu exploitée, présente une aptitude à atténuer les risques d'inondation et d'érosion. Sa valeur patrimoniale et paysagère lui confère une vocation sociale.

#### 2.3.1 Les potentialités sylviculturales

Autrefois, l'exploitation et la valorisation des bois de la zone riveraine alimentaient le circuit économique local. Les saules, par exemple, exploités intensivement, représentaient la matière première de nombreuses activités artisanales. Actuellement, les transformations de l'économie rurale ont conduit les propriétaires à se détourner de cette ressource qui s'est par ailleurs transformée (passage des pionniers aux stades arborescents).

Or, la forêt alluviale des plaines rhénanes avec 17-18 tonnes de matière sèche/ha/an présente la plus forte productivité primaire nette d'Europe (Schnitzler-Lenoble et Carbiener, 1993). C'est aussi le cas de certaines forêts pionnières de milieux très dynamiques, telles que les forêts de Saules blancs arborescents du Rhin alsacien ou du Danube près de Vienne ou de forêts mûres de milieux stables, telles que les chênaies pédonculées à Frênes, Aulnes glutineux et blancs du champ d'inondation de l'Ill, affluent du Rhin. De plus, ces forêts possèdent des essences ayant un grand intérêt commercial (Chêne pédonculé, Érable sycomore, Frêne commun, Noyer, Merisier..)(Pautou, 1984).

Il existe pourtant une grande différence entre la qualité des boisements existants sur les marges de la plupart des rivières et les potentialités écologiques observées dans les forêts alluviales des grands fleuves. Sur l'Ain,

P.M. Combe (1991) note que les bois occupent l'essentiel de l'espace alors qu'ils sont absents des flux économiques associés à la rivière et à son espace riverain. Actuellement, l'activité économique se résume à quelques ventes communales de bois de chauffe. Il s'agit de peuplements spontanés à couverture incomplète, structures et dimensions irrégulières et essences mélangées. La production totale brute estimée ne dépasse pas 3,5 m<sup>3</sup>/ha.

Les communes auraient la possibilité d'exploiter les bois spontanés afin de rentabiliser la forêt naturelle sans pour autant perdre les bénéfices directs ou indirects qu'elles sont en droit d'attendre (tourisme doux, potentiel écologique). P.M. Combe propose une gestion patrimoniale des bois de l'Ain (jardinage sélectif) qui mériterait une étude de faisabilité à la fois technique, écologique et économique dans un secteur pilote. Si une politique de reboisement est initiée, il est possible également de promouvoir des espèces spécifiques de grande valeur pour la production de bois d'oeuvre (Roqueplo, 1992). Outre l'estimation des potentialités économiques des boisements spontanés se pose souvent un double problème : une parcellisation extrême de la propriété et des conditions non réunies d'une valorisation (absence de suivi et d'entretien extensif, de structures d'exploitation et de réseaux de distribution). Par ailleurs, la question des conflits possibles avec les garants d'un optimum écologique se pose également.

Aussi, s'il est admis que ces forêts possèdent des potentialités sylviculturales intéressantes (forte productivité, essences nobles), la situation foncière et organisationnelle semble aujourd'hui inadaptée à toute exploitation. L'approche ne peut se concevoir que de manière extensive car le respect de la diversité phytoécologique est la condition d'un optimum zoocéologique et de la conservation d'autres usages. Par ailleurs, la populiculture intensive a montré ses limites avec une faible capacité à tenir la berge et une érosion latérale active encore accrue par la formation d'embâcles majeurs.

#### 2.3.2. La stabilisation du lit

La végétation présente une aptitude à stabiliser les berges. Les nombreux résultats bibliographiques ont déjà été longuement exposés dans la seconde partie de la thèse dans la mesure où le lien avec le fonctionnement géomorphologique est étroit.

Les ingénieurs écologues ont exploité ces propriétés sans toujours bien se rendre compte que favoriser la stabilité de la berge, et donc la pérennité d'un état de la rivière, n'était pas écologiquement optimal. Des techniques dites douces sont de plus en plus préconisées aujourd'hui dans les aménagements souples de génie biologique (Dethioux, 1988; Lachat, 1991; Petersen *et al.*, 1992). Elles utilisent des végétaux vivants en association avec des matériaux plus ou moins inertes (fascines, pieux, caissons, géotextiles et parfois enrochements).

L'aptitude à stabiliser la berge dépend bien sûr des espèces. B. Lachat (1991) a recensé 48 espèces arborées et arbustives présentes dans les forêts d'inondation de France et de Suisse susceptibles de participer activement à la stabilisation des berges. Chacune dispose d'exigences écologiques et d'une répartition spatiale particulière. Il préconise par exemple l'emploi de *Acer pseudoplatanus*, *Acer platanoides* et *Fraxinus excelsior* sur des berges relativement filtrantes et à granulométrie sableuse à sablo-limoneuse. Dans des secteurs plus humides, il conseille d'utiliser *Alnus glutinosa* ou *Alnus incana* sur des sols limono-argileux ou différents saules (*Salix alba*, *Salix viminalis* ou *Salix eleagnos*) sur des sols graveleux.

#### 2.3.3 La protection contre les crues

L'idée de préserver des zones de rétention des inondations est ancienne, bien connue sur le Rhône notamment à l'amont de Lyon (Bravard, 1986a). C'est après la crue de 1856 que le fonctionnement hydrologique des plaines situées à l'amont de Lyon est apparu avec clarté. Une étude réalisée par le Service de la Navigation avait montré que la crue de 1856 s'étalait à l'amont de Lyon sur près de 276 km<sup>2</sup> soit 11% de la



zone inondable du Rhône à l'aval du Léman. La Chautagne, l'ombilic des Basses Terres et le secteur de Miribel constituaient un réservoir remarquable. De même, sur le Rhin, les aménagements récents ont conduit à une réduction très nette de la superficie des plaines d'inondation (Dister 1992). C'est 60% de l'espace inondable disponible en 1955 qui disparut à la suite de la construction des barrages et de l'endiguement sur le Rhin entre Bâle et Worms. Ce phénomène provoqua une augmentation des hautes eaux et la vitesse de propagation de l'onde de crue passa de 65 à 30 heures entre les deux villes. L'auteur note en outre que l'amortissement des crues par un stockage intermédiaire et souterrain des eaux superficielles contribuait à l'amélioration des conditions écologiques et économiques (amélioration de la croissance des arbres) et à une gestion réfléchie de la ressource en eau (recharge de la nappe, autoépuration des eaux de débordement). Le rôle de rétention des eaux de débordement de la forêt alluviale est aussi reconnu sur la Vistule moyenne (Kajak, 1992). Cette aptitude est d'autant plus importante qu'à l'amont la déforestation des versants a augmenté les pics de crue et que la rétention naturelle se réduit depuis le XVIII<sup>e</sup> siècle à la suite de la construction de digues et du drainage des zones humides.

Or, l'adaptation traditionnelle des communes rurales à l'inondation dans la basse vallée du Ter en Catalogne par exemple (Ribas Palom *et al.*, 1994) reposait sur la préservation d'un corridor ripicole qui était destiné à retenir les terrains de versant et à drainer les eaux pluviales tout en étant une ressource économique complémentaire. Les auteurs notent que face à une inondation extraordinaire, cette stratégie agraire était peu efficace mais son utilité était admise en période d'inondation ordinaire.

Si cette idée de zones de rétention est clairement reconnue par les gestionnaires, la législation française héritée de Colbert et de l'époque révolutionnaire a plutôt favorisé le libre écoulement des eaux, c'est-à-dire la lutte contre les débordements. Depuis quelques années, la gestion de l'inondation ne signifie plus une évacuation au plus vite des hautes eaux vers l'aval. Les problèmes récemment observés en Camargue confirment les méfaits d'une telle démarche. De plus, les aménagements qui ont été réalisés depuis de nombreuses années présentent des effets pervers qui ne sont pas toujours bien maîtrisés. Par exemple, un recalibrage dans une zone de forts débordements accélère le transit de l'eau et augmente de ce fait les débits de pointe et donc les débordements à l'aval. Inversement, un endiguement qui rétrécit la section d'écoulement, augmente les niveaux d'eau à l'amont et donc les débordements. De plus, l'accélération du transit lié à la plupart de ces pratiques tend à diminuer la ressource en eau et à aggraver les étiages avec les conséquences que l'on connaît sur le milieu et les stocks disponibles.

Une protection ne peut pas être préconisée sur l'ensemble de la zone inondable. Une sectorisation du cours d'eau doit donc être envisagée, afin de maintenir sur l'ensemble de son tracé, un certain nombre de zones inondables nécessaires à la préservation de la ressource en eau et à la réduction du risque d'inondation aval. Ce ralentissement dynamique des eaux (Gilard *et al.*, 1993) conduit à réduire le risque sur tel ou tel secteur mais l'augmente sur tel ou tel autre. Dans ce cadre précis, préserver des espaces boisés riverains naturels qui peuvent jouer un rôle d'écrêtement de la crue, participe à la gestion de l'inondation.

Outre sa capacité à stocker et à ralentir les écoulements (photographie 32), la forêt alluviale filtre les flux d'inondation hydriques, minéraux et organiques, réduit leurs capacités érosives et peut donc limiter le coût économique que de tels événements peuvent faire subir aux activités humaines. Préserver un corridor arboré c'est ainsi permettre des cultures (viticulture notamment) tolérant l'inondation mais non la destruction dans des zones fréquemment inondées.

Cette approche spatialisée et fortement intégrée au milieu, est globale et écologique : elle intègre les différentes échelles d'espace, de temps et les multiples rôles joués par les rivières. Elle se fonde sur une gestion basée sur un partage concerté et consensuel de l'espace d'inondation (Gilard et Piégay, 1995). En une période où l'environnement devient une richesse en soi, il est temps de généraliser l'utilisation de ces nouveaux concepts lors des aménagements.

### 2.3.4 L'auto-épuration des écoulements phréatiques

Par leur système racinaire, les formations végétales arborées riveraines agissent indirectement sur le cycle des nutriments en jouant le rôle de filtre. En conditions d'anaérobiose les microorganismes hétérotrophes, grâce à la synthèse de réductases, réduisent les formes oxydées de l'azote en azote gazeux dispersables dans l'atmosphère (Pinay, 1986; Décamps et Naiman, 1989). C'est le principe de la dénitrification biologique, processus majeur dans l'élimination des nitrates. Les milieux humides et boisés en plus de l'engorgement des sols, offrent des conditions favorables à la réalisation de la dénitrification en maintenant par ailleurs une teneur généralement élevée en carbone organique (source énergétique pour les micro-organismes). La végétation intervient en stockant provisoirement les nitrates par absorption racinaire. E. Fustec (1988) a constaté en hiver une remontée des teneurs en nitrates dans les nappes. Ce phénomène est du au repos végétatif mais aussi à une augmentation des flux de nitrates indépendante de l'activité racinaire.

En période d'activité végétale, lors du passage sous les formations végétales arborées riveraines, les eaux des nappes se trouvent naturellement épurées des apports en nitrates provenant des zones agricoles riveraines (Peterjohn et Correl, 1984 ; Pinay, 1986). Les travaux réalisés dans la moyenne vallée de la Garonne ont montré que la concentration en nitrates est 20 fois plus faible dans ces zones rivulaires humides que dans les nappes au niveau des plaines agricoles (Fustec, 1988). Certains bassins versants sont capables, grâce au maintien de zones humides et boisées, de retenir environ 99 % des nitrates (Rhodes *et al.*, 1985). G. Pinay et H. Décamps (1988) suggèrent qu'une bande rivulaire arborée de 30 m suffit à éliminer tous les nitrates. R.G. Petersen *et al.* (1992) montrent que dès les 10 premiers mètres, 90% des nitrates disparaissent.

Les zones humides et les boisements riverains peuvent piéger en plus des nitrates, le phosphore et certains constituants toxiques (Fustec, 1988). Dans les hydrosystèmes étudiés par W.T. Peterjohn et D.L. Correl (1984) ou G.E. Petts (1990), environ 90% de l'azote et 80% du phosphore sont retenus, utilisés et transformés par les forêts riveraines. Dans les formations arborées, les plantes herbacées peuvent jouer également un rôle prépondérant en filtrant les nutriments (Smith, 1987 et 1989 ; Osborne et Kovacic, 1991).

Ces résultats récents de la recherche sont fondamentaux puisqu'ils montrent qu'une zone tampon boisée séparant les milieux aquatiques et les terrains agricoles présente un intérêt financier à court terme. R.G. Petersen *et al.*, (1992) ont comparé dans la région agricole du Sud de la Suède, le prix de la terre et le coût de dépollution des fertilisants. Alors que le prix de la terre varie de 18 000 à 30 000 francs par hectare, le coût du traitement de dépollution est estimé à 150 francs par kg de nutriments (phosphates et nitrates combinés), soit 8 200 à 13 000 francs par hectare et par an.

Concéder à la rivière une bande boisée riveraine de 10 m de large permettrait de réaliser un bénéfice économique en moins de trois ans basé sur la seule capacité d'auto-épuration de la végétation. Ce bref calcul n'intègre pas les autres avantages par ailleurs reconnus d'une telle bande arborée.

Photographie 32 - La forêt alluviale de l'Ain à la confluence avec le Rhône lors de la crue de l'automne 1993, une zone naturelle permettant un écrêtement des crues.

Photographie 33 - La ripisylve d'un petit affluent de la Liamone en Corse. Ses essences à feuilles caduques forment un étonnant contraste avec les formations méditerranéennes sempervirentes des versants.

Photographie 34 - Perception du réseau hydrographique grâce au linéaire des formations arborées riveraines {prise de vue aérienne de la région située à l'est de Aix-en-Provence}.

Photographie 35 - La forêt alluviale du Giffre, un corridor original dans le fond de vallée {prise de vue depuis la rive droite}.



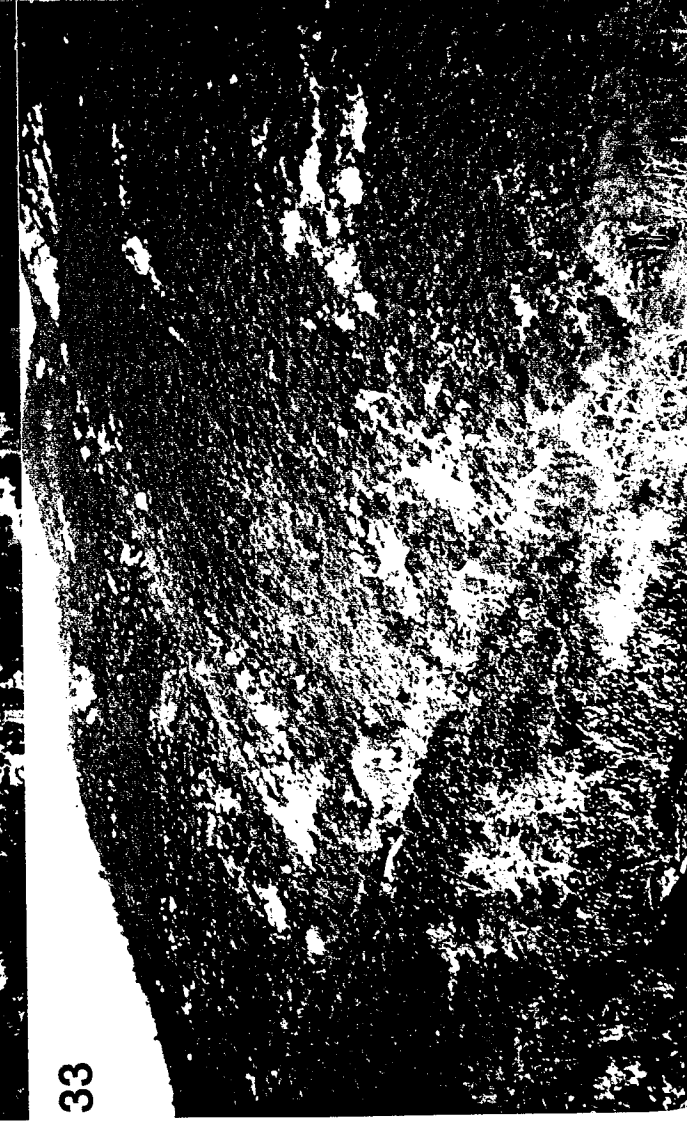
34



35



32



33

### 2.3.5 Potentialités paysagères et récréatives

L'état a récemment affirmé la nécessité d'assurer une réelle maîtrise et une valorisation des paysages. La "Loi paysage" du 8 janvier 1993 vient ainsi renforcer les outils juridiques destinés à conduire une telle démarche.

L'importance de la ripisylve dans la structuration des paysages n'est pas à démontrer (Forman et Godron, 1986; Malanson, 1993). Ce constat est particulièrement vrai dans les pays méditerranéens. En hiver, la ripisylve, composée de feuillus à feuilles caduques, se distingue des formations de versant composées d'essences sempervirentes. Ce contraste permet de visualiser le chevelu hydrographique (photographie 33). L'importance de la ripisylve est aussi reconnue dans les zones de montagne où les tons de verts des feuillus ripicoles s'opposent aux verts plus sombres et plus contrastés de la forêt mixte de versant. Son importance est encore reconnue dans les régions d'openfield où sa capacité à structurer un paysage devient fondamentale (photographie 34).

Dans certaines régions, le corridor ripicole joue un rôle de brise-vent (Roqueplo, 1992). La meilleure efficacité contre l'action mécanique du vent est ainsi obtenue lorsque la perméabilité est de 50% dans la ligne des arbres. La protection est assurée jusqu'à une distance égale à 10-20 fois la hauteur de la formation. Elle est naturellement efficace dans la mesure où elle présente une grande diversité d'espèces développées de la base au sommet, dans les différentes strates (arbustives, arborées...).

Les corridors végétaux contribuent ainsi à la qualité d'un paysage. Leur gestion et leur promotion sont importantes dans le cadre d'une politique locale orientée vers le tourisme rural. En effet, ils présentent aussi des potentialités récréatives intéressantes (randonnées pédestres, équestres, VTT..., aires de pique-nique, activité cynégétique...) que certaines communes pourraient valoriser.

La forêt du Giffre est un exemple très didactique. Elle constitue un élément structurant du paysage de la vallée (photographie 35) et dispose de fortes potentialités récréatives et cynégétiques. L'Ubaye et l'Ardèche, qui drainent un tourisme estival actif, pourraient également avoir une vocation plus récréative. Néanmoins, développer de telles activités dans un milieu aussi fragile nécessite de gérer le risque d'incompatibilité qui peut se manifester entre le tourisme et la préservation écologique. Pour mener à bien cette démarche, un niveau de fréquentation devra être défini.

### Conclusion

Les forêts alluviales présentent une grande richesse biocénotique (espèces, groupements), une structure complexe et originale, un rôle écologique et notamment trophique fondamental qui expliquent un souci croissant de conservation de ces ressources génétiques sauvages auquel s'ajoutent des préoccupations scientifiques, esthétiques et pédagogiques (Walter, 1976).

L'hétérogénéité et la diversité des marges boisées des rivières offrent des biotopes adaptés à de nombreuses espèces d'oiseaux, de poissons, d'amphibiens, de reptiles et de mammifères. Ces secteurs constituent un territoire de nichée, de reproduction, d'alimentation, de chasse, de cache ou de simple passage pour une faune aquatique et terrestre.

La ripisylve est en fait un compartiment fonctionnel de l'hydrosystème qui présente une valeur écologique, sociale, économique, patrimoniale, génétique, voire esthétique et pédagogique exceptionnelle.

Si sa conservation est nécessaire, sa promotion dans le cadre de projets de réhabilitation, doit être conduite avec prudence car elle peut présenter également des inconvénients, tels que :

- celui d'accroître le risque d'inondation. La prise en compte du corridor riparial dans la stratégie de gestion des inondations, compte tenu que son rôle peut être tout autant négatif que positif, ne peut s'insérer que dans une approche globale.
- celui d'alimenter la rivière en débris ligneux grossiers qui seront à leur tour des facteurs de perturbations de l'écoulement et de régénération de l'érosion latérale.
- celui de consommer l'eau disponible (Lambert, 1994). Cet auteur a montré que l'évapotranspiration ripicole aux dépens des débits s'écoulant représente un débit très important sur les rivières du bassin de la Garonne, entre août et octobre. Le volume annuel serait estimé à  $10^9$  m<sup>3</sup> dans le bassin de la Garonne au Mas d'Agenais, soit 55% de la lame d'eau écoulée en année moyenne. Autrement dit, 1 m de ripisylve consomme autant que 10 m<sup>2</sup> de maïs irrigué mais sur une durée beaucoup plus longue.

## **II Vers une gestion écologique de l'hydrosystème**

La gestion écologique des rivières (Amoros et Petts, 1993), aujourd'hui à l'ordre du jour, est de conception très récente. Plusieurs éléments indépendants expliquent l'émergence de ces concepts. Il s'agit notamment :

- de l'échec relatif des politiques traditionnelles en matière d'aménagement. Les ouvrages préconisés ont eu de nombreux effets pervers mal évalués, et les techniques souvent simplistes n'ont pas su intégrer la complexité fonctionnelle des hydrosystèmes.
- de l'accroissement de la demande sociale et de la prise de conscience politique de la valeur écologique des milieux aquatiques,
- des progrès récents de la recherche notamment en France dans le cadre des Programmes Interdisciplinaires de Recherche sur l'Environnement de la Garonne, de la Seine et du Rhône.

La prise en compte du fonctionnement écologique est un renversement de perspective (Mermet, sous la direction de, 1993). Quatre axes directeurs ont d'ailleurs été retenus par le groupe de travail sur l'innovation en matière d'aménagement et de gestion de l'espace fluvial du Ministère de l'Environnement. Celui-ci précise qu'il conviendra à l'avenir de :

- Respecter la dynamique hydraulique et morphologique. Le principe d'espace de liberté du fleuve proposé lors des Assises Nationales de l'Eau par le groupe de travail "Plaines Alluviales" (Holleaux, 1990) est donc à nouveau validé.
- Reconnaître l'importance des milieux associés et la connectivité bande active - lit majeur ce qui confirme que la gestion s'intéresse non plus à un linéaire mais à un espace.
- Maintenir les champs d'inondation fonctionnels.
- Promouvoir une bonne gestion des nappes phréatiques.

Compte tenu de sa position dans l'hydrosystème, de ses propriétés structurales et de ses fonctions écologiques, la forêt alluviale va ainsi être au coeur des préoccupations des responsables de la gestion écologique.

L'objet de ce chapitre sera de montrer l'évolution historique des concepts utilisés en matière de gestion des cours d'eau et de développer les thèmes concernant spécifiquement la ripisylve.

### **1. La politique française en matière de gestion de rivières**

Au cours de la dernière décennie, de gros efforts ont été fournis afin d'assouplir les politiques d'aménagement. Petit à petit, une politique de gestion devrait se substituer à la politique d'aménagement.

#### **1.1. L'évolution juridique**

Au cours du XX<sup>e</sup> siècle, on observe une prise en compte progressive de la notion de milieu dans le droit français. Cinq périodes peuvent être distinguées :

- Avant 1950, l'approche était sectorielle; le droit s'intéressait à la réglementation ponctuelle d'un usage. L'éparpillement des réglementations applicables traduisait ainsi une vision parcellaire des problèmes liés à l'eau.
- Entre 1950 et 1960, la notion de milieu est apparue dans la législation française avec notamment les lois du 1er juillet 1957 relative aux réserves naturelles et du 22 juillet 1960 relative aux parcs nationaux. Ces textes restèrent néanmoins conçus comme des instruments d'exception et n'étaient pas propre à l'eau.

- Au cours des années 1960, le problème spécifique de l'eau a été abordé pour la première fois. Il s'agissait de gérer la ressource. La loi du 16 décembre 1964 relative au régime, à la répartition des eaux et à la lutte contre la pollution a considéré les usages dans leur globalité et affirmé l'existence du milieu naturel dans le droit de l'eau. La loi a pris secondairement en compte la vie biologique, il s'agissait d'abord de satisfaire et de concilier les différents usages. Les responsables politiques parlèrent alors pour la première fois de gestion de l'eau.

- Dans les années 1970-1980, la notion de milieu est apparue dans la gestion de l'eau. La loi du 10 juillet 1976 relative à la protection de la nature a reconnu le milieu naturel en droit. Celui-ci n'a plus été l'exception. Néanmoins, la véritable reconnaissance de l'eau comme milieu n'est apparu qu'au cours des années 1980 avec la Loi Pêche de 1984 qui précisa dans son article 2 que :

*"la préservation des milieux aquatiques et la protection du patrimoine piscicole sont d'intérêt général".*

- Les années 1990 ont confirmé que la protection du milieu n'était plus secondaire (Sironneau, 1992). Dès son article premier, la loi sur l'Eau du 3 janvier 1992 donna une portée générale à la protection de l'eau et du milieu en affirmant que :

*"L'eau fait partie du patrimoine commun de la nation. Sa protection, sa mise en valeur et le développement de la ressource utilisable dans le respect des équilibres naturels sont d'intérêt général".*

L'eau existe aujourd'hui en tant que milieu et la notion d'écosystème figure dans l'article 2. En intégrant la notion de milieu dans les premiers articles, le législateur affirme donc bien qu'il s'agit d'un principe de base et que la protection du milieu est un préalable à la satisfaction des usages. Parmi les 10 orientations fondamentales du Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (ou SDAGE) du bassin Rhône-Méditerranée-Corse, l'outil de planification prévu par la loi, les gestionnaires devront :

- respecter le fonctionnement naturel des milieux,
- restaurer ou préserver les milieux aquatiques remarquables et notamment les plaines alluviales,
- restaurer d'urgence les milieux particulièrement dégradés, la dégradation concernant autant la qualité chimique de l'eau que le milieu physique proprement dit.

La gestion écologique des cours d'eau, et notamment la gestion de la dimension latérale de l'hydrosystème préconisée par certains gestionnaires, trouve ainsi une légitimité économique mais aussi juridique.

## 1.2 Bilan de cinquante ans d'intervention sur les rivières du bassin du Rhône

### - Le constat

A l'occasion de l'élaboration du Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE) du bassin du Rhône, un bilan de l'état physique des cours d'eau a été réalisé en 1993. Faute de grille de classement ou d'indicateurs globaux performants pour ce type de diagnostic, il a été fait appel à l'expertise (Piégay *et al.*, 1994b).

Les principaux affluents du Rhône, dont la longueur et la surface du bassin versant sont comprises respectivement entre 50 et 100 km et entre 1000 et 3000 km<sup>2</sup>, sont jugés assez fortement à très fortement dégradés sur le plan physique. Le Fier et l'Arve, rivières de rang 6 et 7, sont altérés physiquement sur près de 70% et 75% de leur cours de 65 et 110 km. Certes, certains équipements hydroélectriques peuvent expliquer cette situation. Celle-ci est toutefois très largement liée aux extractions excessives, aux travaux d'aménagement et de protection contre les crues, à l'aménagement progressif et intensif de la plaine alluviale. D'une rivière à

l'autre, la similitude des problèmes rencontrés est frappante : incision des lits fluviaux, banalisation des biotopes, déconnexion des milieux annexes, rétroaction négative vis-à-vis des protections initiales (déstabilisation d'ouvrages...). A l'évidence, il est devenu extrêmement urgent de définir un nouveau mode d'approche de ces milieux en tentant de bien comprendre l'origine des problèmes.

En Europe, toutes les grandes rivières sont chenalisées depuis le début du XX<sup>e</sup> siècle. Aujourd'hui, les protections de berge et les cultures ou plantations forestières dans les plaines d'inondation ont réduit à une zone étroite l'écotone du Rhône (Bravard, 1981 et 1986a), de la Loire (Maillard, 1981), du Pô (Braga et Gervasoni, 1989), du Danube (Béthémont et Bravard, 1986), du Rhin (van Urk et Smit, 1989) ou encore de la Garonne (Décamps *et al.*, 1989) et de l'Ebre (Ollero-Ojeda, 1993). Ces changements, liés à l'évolution technique et économique de notre société, ont modifié les paysages fluviaux (protection contre l'inondation, besoins de la navigation, agriculture, urbanisation...). Le contrôle de l'instabilité naturelle des systèmes fluviaux a eu pour conséquence de réduire artificiellement les écotones terre-eau. L'endiguement a déconnecté les rivières et les plaines d'inondation et éliminé alors les milieux annexes qui ont pourtant une influence majeure sur l'écologie et la haute productivité du corridor alluvial.

### - La pression foncière et la politique de protection des berges

Depuis 1950, les liens traditionnels des hommes avec la rivière, tissés dans le cadre d'un système agropastoral traditionnel, se sont progressivement rompus. Après une forte déprise rurale qui s'est manifestée notamment par l'abandon des lits majeurs (1950-1960), les hommes se sont progressivement réinstallés après 1970. Cette anthropisation progressive des lits majeurs a touché l'ensemble des rivières du Sud-Est. Les raisons de cette réimplantation sont multiples : tourisme, exploitations des granulats, stations d'épuration, décharges, voire urbanisation. La restriction progressive de l'espace dévolu à la rivière sous l'action de l'homme n'est pas récente comme l'ont montré les travaux de J.P. Bravard (1986), D. Poinart et P.G. Salvador (1993) sur le Rhône, de E. Gautier (1993) sur le Büech, de J. Girel sur l'Isère (1993) ou de J.L. Peiry sur l'Arve (1993) mais elle s'accélère depuis quelques décennies.

Installées en zone inondable ou érodable, ces implantations récentes sont soumises aux caprices de la rivière. En France actuellement, de nombreuses communes sont confrontées aux risques d'inondations. Un an après la catastrophe de Vaison-la-Romaine (Vaucluse), les médias ont mis publiquement en lumière les villes à risques, citant notamment Nice ou Montpellier (Malye *et al.*, 1993). Face à ces menaces d'érosion ou d'inondation, les propriétaires riverains, publics ou privés, revendiquent alors une protection. Une stratégie foncière et économique conduisant à mettre en valeur la plus grande superficie de la plaine impose inévitablement des protections lourdes de berge. Or, les finances locales sont souvent modestes alors que la volonté de protection est forte. Cette protection doit concerner le plus grand linéaire de berge possible tout en étant la moins chère ce qui conduit à l'échec d'une telle démarche non seulement au niveau écologique ou paysager mais également au niveau de l'objectif recherché car les protections ne jouent alors souvent pas leur rôle. Les politiques d'endiguement et d'extraction ont eu une justification, ils ont effectivement réduit les risques d'inondation ou d'érosion mais le problème est que l'on est allé trop loin.

Aujourd'hui, la collectivité n'est plus en mesure de supporter financièrement cette politique et les conséquences négatives d'une telle action se font progressivement jour : altération des potentialités écotones (Naiman et Décamps, 1990), aberrations économiques... Une telle politique porte atteinte aux volumes (enfouissement des nappes, terrestrialisation des milieux aquatiques annexes) et à la qualité (réduction des capacités auto-épuratrices) de la ressource. Compte tenu des comportements actuels, la réduction de l'espace concédé à la rivière par les riverains semble inéluctable car cette tendance conforte les intérêts immédiats des habitants et de leurs activités.



Photographie 36 - L'enrochement de Taffanelles, une protection de berge coûteuse et en cours d'affouillement (commune de Saint-Jean-de-Niost, rive droite de l'Ain).

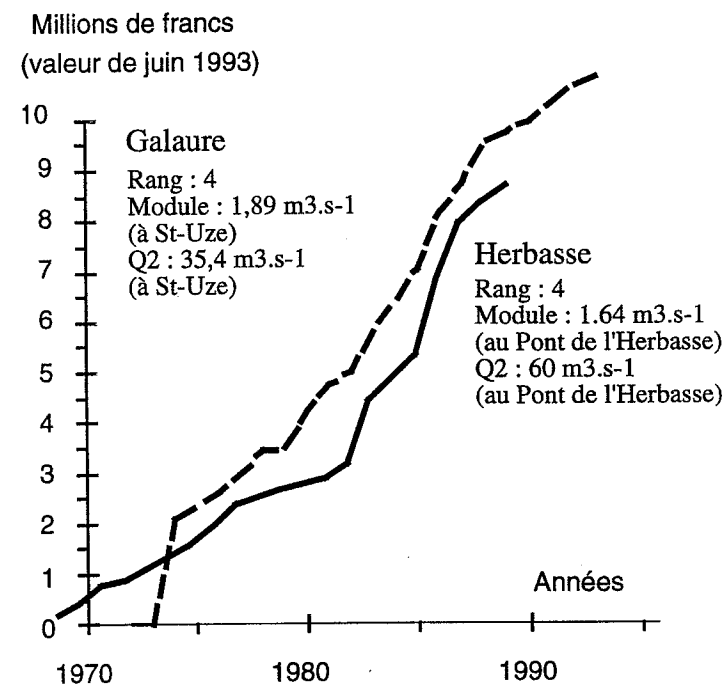


Figure 151 - Sommes cumulées investies dans les protections de berge des rivières Herbasse et Galaure depuis plus de vingt ans (source : syndicats intercommunaux).

Les bilans financiers confirment l'échec de cette démarche qui s'inscrit dans une spirale d'intervention (Piégay *et al.*, 1994b)(photographie 36). Sur l'Herbasse et la Galaure qui sont des rivières de piémont, affluentes de l'Isère et du Rhône moyen, les gestionnaires ont évalué les travaux de protection engagés depuis les années 1970 à 8 à 12 millions de francs constants, soit 7200 francs par an et par kilomètre de rivière (fig. 151). En 1985, le syndicat de l'Herbasse reconnaît que les ouvrages détruits représentent au moins 30% de la valeur des investissements réalisés depuis 1979 et le syndicat de la Galaure s'est engagé en 1994 dans une étude destinée à définir et à gérer l'espace de liberté de la rivière. Cette politique d'implantation progressive en lit majeur et de protection conjointe a en effet engendré des drames humains répétés : Crues catastrophiques du Borne au Grand Bornand en 1987, de l'Ouvèze à Vaison-la-Romaine en 1992, des rivières de Corse du Sud en 1993...

### 1.3. L'évolution des gestionnaires : de l'aménagement à la gestion globale

#### - Exemple d'un organisme de gestion : l'Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse (RMC)

La philosophie des interventions en rivière a également évolué dans les organismes de gestion et notamment à l'Agence de l'Eau RMC. Cet établissement public financier sous tutelle du ministère de l'environnement est chargé depuis la loi de 1964 de la lutte contre la pollution.

Il a établi, il y a seulement 12 ans et à titre expérimental, un sous-programme financier nommé "Aménagement de Cours d'Eau". Les objectifs développés lors de son 4<sup>e</sup> programme d'intervention (1982-1986) se sont progressivement modifiés et affinés. L'évolution de la doctrine se marqua notamment par le changement d'appellation du sous-programme à partir du VI<sup>e</sup> programme (1992-1996).

La notion d'"aménagement" disparut car, la finalité étant la réhabilitation, cette appellation était ambiguë. Elle a été remplacée par "Restauration et Mise en Valeur des Milieux Aquatiques (RMVMA)". Deux notions ont ainsi été affichées : la prédominance de l'objectif de restauration des milieux et le souci d'accroître le bien être collectif (notion de mise en valeur). Actuellement, il convient d'admettre une nouvelle ambiguïté avec la notion de restauration. Pour les services de l'Etat, en effet, cette notion s'applique d'abord à la capacité d'écoulement et non aux potentialités écologiques.

L'évolution du champ d'application des aides de ce sous-programme est également caractéristique d'un changement de mentalité. En 1982, l'aide s'appliquait à des études de définition d'un schéma global de réhabilitation et aux travaux en découlant. Avec le V<sup>e</sup> programme (1987-1991), l'aide a été élargie et incita à la constitution de structures d'entretien et de gestion. En 1992, enfin, le VI<sup>e</sup> programme étendit encore l'aide à la mise en oeuvre de techniques alternatives et de gestion intégrée et à la maîtrise foncière même si les conditions de celle-ci restent encore à définir.

L'implication croissante de cet organisme en matière de réhabilitation se manifeste enfin au niveau de l'enveloppe des subventions qui est passé de 5 millions de francs en 1982 à plus de 60 en 1994.

A travers l'évolution de la position de l'Agence de l'Eau RMC, il est possible d'apprécier l'évolution de certains gestionnaires. Au départ, l'intervention, qui souhaitait être résolument orientée vers la réhabilitation, était perçue en terme d'aménagement. Les distinctions entre les notions d'aménagement, de gestion et de réhabilitation ne se feront que progressivement. Les années 1980 ont ainsi été marquées par la diffusion de guides techniques émanant du Ministère de l'Environnement notamment (1985, 1990) et une importante réflexion sur la gestion des rivières a été conduite. En 1991, aménager, selon J.C. Wolff de l'Agence de l'Eau Seine-Normandie, "c'est adapter une rivière à un objectif donné" alors que restaurer, "c'est nettoyer et réhabiliter une rivière en la remettant en bon état" et entretenir, "c'est maintenir en permanence le cours d'eau dans un état voulu".

La notion de restauration est encore une vision anthropocentriste de l'optimum écologique.

#### - La gestion globale

Le fait que l'abandon de certains tronçons, voire de certaines rivières, n'est pas nécessairement dommageable pour leur écosystème et que la restauration et l'entretien de la capacité d'écoulement d'une rivière ne contribuent pas forcément à un optimum écologique, n'est pas encore aujourd'hui admis par tous. Néanmoins, la gestion des hydrosystèmes souhaite être durable et s'efforce d'établir un équilibre non seulement entre les différents usages mais aussi entre l'homme et la nature. L'objectif sera de favoriser l'usage

collectif et la protection du patrimoine naturel et traditionnel (Sormail, 1991). L'approche sectorielle est rejetée au profit de la gestion globale qui est la seule capable de prendre en compte tous les facteurs (Wolff, 1991).

**L'approche intégrée ou globale des milieux aquatiques reconnaît l'interdépendance entre les différents compartiments du milieu et ne se conçoit donc qu'à l'échelle d'unités géographiques. Elle souligne la caractéristique fondamentale des milieux aquatiques qui est d'être des milieux vivants et reconnaît l'intérêt de conserver ou de restaurer l'intégrité de ces milieux. Elle vise un développement économique et social durable et reconnaît qu'il y a des limites à l'activité humaine.**

Une telle étude pluridisciplinaire (tab. 63), a été conduite sur la basse vallée de l'Ain. Engagée en 1989 par le Conseil Général de l'Ain, elle s'est attachée à comprendre le fonctionnement physique et biologique de la rivière, l'organisation des usages, les souhaits et les attentes des différents acteurs et le contexte réglementaire. L'objectif était de construire un projet fédérateur mettant en lumière, pour la satisfaction des usages dans leur ensemble, la nécessité d'une politique de préservation d'un hydrosystème écologiquement intéressant. Suite à la première phase de diagnostic, une seconde phase conduite en concertation avec les élus locaux, a porté sur la définition des actions de gestion et d'aménagement. Selon le dernier rapport, "des orientations de fond se dégagent sans ambiguïté de cette étude et s'appuient sur des choix presque unanimement acceptés". Le travail s'inscrit dans la logique de la procédure des Schémas d'Aménagement et de Gestion des Eaux que la Loi sur l'Eau, votée entre-temps, préconise. Les propositions qui se dégagent de l'étude s'apparentent ainsi aux "orientations" que le législateur a souhaité voir formulées à l'issue de la procédure SAGE.

L'étude globale devrait donc devenir la phase initiale d'un SAGE, celle, incontournable, du diagnostic.

Tableau 63 - Les volets thématiques de l'Etude globale de la basse vallée de l'Ain.

| Problématiques                | Fonctionnement de l'hydrosystème                    |  | Fonctionnement de l'anthroposystème                              |                                       |
|-------------------------------|---|--|--|---------------------------------------|
|                               | analyse physique                                    | analyse écosystémique  | analyse socio-économique   | contexte réglementaire                |
| <b>Disciplines concernées</b> | - hydrologie<br>- hydrogéologie<br>- géomorphologie | - qualité de l'eau<br>- phytoécologie<br>- zooécologie<br>(faune terrestre et aquatique) | - études des usages<br>- étude économique<br>- enquête d'opinion | - étude foncière<br>- étude juridique |

Dans ce cadre conceptuel et juridique, il apparaît clairement que la gestion de la forêt alluviale s'inscrit dans une approche plus globale de gestion de l'hydrosystème proprement dit.

Cette forêt dispose d'un fonctionnement original et est une source de risques spécifiques, elle est soumise à une réglementation et à des usages particuliers. C'est pourquoi des outils conceptuels doivent être spécifiquement développés. Compte tenu de l'ambiguïté des définitions et des objectifs poursuivis qui sont très différents selon les intervenants, deux grands thèmes seulement ont été retenus : l'entretien et la réhabilitation de la ripisylve.

## 2. La question du binôme restauration/entretien

L'abandon des marges des cours d'eau est interprété comme un recul de la civilisation ("l'entretien n'est plus fait"), source de risque en matière d'inondation ou d'érosion; l'embâcle de bois par exemple est perçu négativement, comme un élément perturbant l'écoulement (Ministère de l'Environnement, 1985). Alors que de nombreux travaux scientifiques (Bisson *et al.*, 1987; Gregory and Davis, 1992) mettent en évidence son intérêt écologique, les services de l'État s'efforcent de lutter partout contre son développement.

Après avoir présenté l'état de la question et notamment les définitions en usage, il conviendra de montrer en quoi la décision de ne pas entretenir peut parfois être volontairement prise.

### 2.1 Les définitions en usage

G. Lalanne-Berdouticq (1985) affirme que l'entretien est une intervention minimale et strictement indispensable destinée à assurer le maintien des conditions d'écoulement à l'exclusion de tout autre objectif. Deux opérations prédominent selon la nature de la rivière : le curage-faucardage qui consiste à dégager le lit de dépôts alluviaux et de végétation aquatique, et le nettoyage des berges et du lit de l'invasif végétal. L'approche du Ministère est plus large. Selon lui, entretenir, c'est apporter à la rivière un soin régulier et approprié afin qu'elle assure pleinement ses fonctions et que chacun puisse y puiser plus de satisfaction (Ministère de l'Environnement, 1990). Entretien un cours d'eau c'est lui permettre "d'assurer une multitude de fonctions indispensables à la vie de chaque jour telles que :

- la ressource en eau potable, industrielle et agricole,
- la réception des eaux provenant des activités humaines et la contribution à leur épuration,
- la production d'énergie hydroélectrique,
- la navigation,
- les loisirs (pêche, sports nautiques, tourisme)".(Ministère de l'Environnement, 1985).

Néanmoins, cette définition très élargie est discutable. Parmi les cinq fonctions précitées, seules les deux dernières peuvent effectivement pâtir d'un défaut d'entretien de la végétation. Quelle relation existe-il vraiment entre la ressource et l'entretien de la végétation?

Cette approche multi-usage de l'entretien est également reconnue en Allemagne. La loi régissant le réseau hydraulique bavarois précise (Art. 42) que l'entretien des cours d'eau est une obligation qui vise entre autre :  
- à garder aux rives, et sur une largeur appropriée aux bandes riveraines, un aspect aussi naturel que possible,  
- à conserver et à favoriser l'efficacité biologique des eaux,  
- à protéger les rives afin de supprimer ou éviter des nuisances menaçant, soit le public, soit les propriétaires concernés. Cette approche est sans doute plus souple. Le paragraphe 28 de la loi de gestion des eaux du Land de Bavière concernant l'entretien précise en effet "que les mesures destinées à l'entretien des eaux devront tenir compte de la configuration et de la faculté de récupération du paysage " (Binder, 1980). L'entretien en Allemagne est davantage une nécessité paysagère qu'une mesure de conservation de la capacité d'écoulement. Néanmoins, ici encore, il y a confusion dans les objectifs. Une valorisation paysagère n'induit pas logiquement une valorisation écologique comme le laisse supposer la loi citée précédemment qui affirme que l'entretien "...favorise l'efficacité biologique des eaux..".

La notion d'entretien est différente de la notion de restauration qui est une véritable opération de remise en état d'une rivière ayant subi un important défaut d'entretien. (Ministère de l'Environnement, 1985). La restauration, appliquée aux monuments ou oeuvres d'art, présente une valeur patrimoniale et regroupe l'ensemble des techniques qui concourent à redonner à la rivière des caractéristiques d'écoulement

satisfaisantes en contrariant au minimum sa configuration et les processus naturels. Il s'agit d'un objectif destiné à la satisfaction d'une multiplicité d'usages (Cacas *et al.*, 1986).

L'entretien et la restauration, en France, sont des concepts d'usages et de gestion appropriés à des milieux très domestiqués. L'objectif est avant tout de "restaurer" c'est-à-dire de maintenir la capacité d'écoulement de la rivière lors des crues, celle-ci étant seulement perçue comme un axe d'écoulement. Les processus de réhabilitation restent ignorés et la réhabilitation s'apparente parfois même à la "restauration".

Retrouver l'état initial est ainsi devenu le leitmotiv de certains aménageurs bien intentionnés. "*Nous n'entretenons plus et qu'en est-il : un risque accru d'inondation, un espace abandonné à la friche...*". L'entretien des cours d'eau non domaniaux a été progressivement délaissé par les riverains qui en ont la charge, "*la rivière se serait dégradée*" (Sormail, 1991). Aussi, il faudrait "*palier au dysfonctionnement de la rivière et entamer une remise en état par des travaux forestiers (débroussaillage, enlèvement des embâcles...)*".

Ce discours traditionaliste (se référant à des comportements passés), catastrophiste et anthropocentrique (une rivière délaissée est-elle forcément dégradée?) revendique le passage du non entretien au tout entretien. Mais, quel est l'état initial? La référence serait-elle le XIX<sup>e</sup> siècle où les terres labourées s'étendent jusqu'au bord de la rivière (c'est le cas du Haut-Rhône ou de l'Ardèche par exemple), serait-elle le début du XX<sup>e</sup> siècle où le lit majeur, occupé par une lande plus ou moins boisée, est utilisé par le bétail communal (cas de l'Ain ou de l'Ouvèze par exemple), serait-elle plus récente (1950-1960)? ou au contraire originelle? Cet espace peut être alors décrit comme une forêt élancée formant une mosaïque d'unités très différentes les unes des autres, une forêt marécageuse, encombrée de lianes, d'embâcles de bois et où foisonne la vie animale.

Par conséquent, l'état initial est multiple, l'état souhaité est unique mais il est à définir.

En définitive pour beaucoup de personnes, l'état initial est un état idéal passé où l'homme, conscient de la valeur de toute chose, "entretient". Néanmoins, ses objectifs sont différents de ceux qu'on lui accorde aujourd'hui. Il ne s'agit pas forcément pour lui de favoriser le libre écoulement des eaux (sa maison est en retrait, il connaît la rivière) mais de se chauffer, se nourrir, utiliser toutes les potentialités de ses différents terroirs.

L'état initial se réfère donc à la société rurale traditionnelle de la fin du XIX<sup>e</sup> siècle. Il se réfère aussi à l'héritage législatif qui met en avant, depuis l'époque moderne, la nécessité de conserver la capacité d'écoulement et se distingue ainsi d'autres législations comme celle que les Sardes ont préconisée au XVIII<sup>e</sup> siècle.

L'état initial se réfère aussi à l'espace domestiqué. En un siècle, notre société rurale est devenue urbaine et a délaissé les marges des cours d'eau. Cette déshumanisation est peu supportable comme l'est celle plus récente liée à la "déprise rurale". La friche est considérée comme l'indicateur d'une évolution régressive, négative alors qu'elle constitue un premier pas vers la forêt. Faut-il entretenir, nettoyer, rendre humain, continuer à maîtriser l'ensemble du territoire français? Dans les pays neufs (Etats-Unis, Canada, Brésil), beaucoup d'espaces sont encore épargnés par le développement, la population s'en inquiète - elle? Ces quelques observations montrent bien l'importance de l'histoire sociale dans l'explication de la relation actuelle que l'homme tisse avec l'espace.

L'entretien est bien sûr nécessaire mais il doit concerner des secteurs strictement identifiés. Avant de développer très largement un projet d'entretien qui s'appuiera par ailleurs sur des structures pérennes, il convient de s'interroger sur la vocation de la rivière tronçon par tronçon et son degré d'anthropisation.

L'entretien n'est en effet pas toujours la solution optimale. Quelques éléments développés ci-après s'efforceront de le montrer.

## 2.2. Entretien et restauration, les éléments de la contradiction

Les Etats-Unis, pays récemment mis en valeur, disposent de documents historiques exceptionnels décrivant certaines rivières au XVIII<sup>e</sup> siècle, avant l'intervention de l'homme. Après avoir exposé ces travaux qui

démontrent la forte présence du bois mort dans les hydrosystèmes forestiers originels, l'intérêt écologique des débris ligneux sera développé. L'objectif de ce chapitre est ainsi de montrer que le fait d'entretenir un cours d'eau ne correspond pas systématiquement à une revalorisation écologique.

### 2.2.1 L'artificialisation séculaire des cours d'eau nord-américains

Certaines études extra-européennes montrent que les rivières originelles, qu'elles soient rapides ou lentes, avaient un chenal largement occupé par le bois mort. Des barrages de débris organiques ont été décrits sur l'Amazone, le Congo, l'Orénoque, le Gange, le Mississippi, le Mackenzie, en Chine (Lyell, 1969; Harmon *et al.*, 1986).

Au siècle dernier, les cours d'eau du Nord-Ouest (Sedell et Luchessa, 1982; Sedell et Froggatt, 1984; Triska, 1984) ou des plaines subtropicales du Sud (Wallace et Benke, 1984) des Etats-Unis étaient obstrués de barrages organiques parfois continus sur plusieurs dizaines de kilomètres. La Red River, rivière à méandres de 1 200 km de long et au débit moyen instantané de 705 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> présentait dans le secteur de "Great Raft", une série complexe d'amas de débris causée par le blocage de troncs durant une crue. Le bois ne se décomposait qu'après 80 ou 150 ans et le barrage, qui s'étalait sur une distance de 400 à 480 km, se maintint durant 375 ans (Triska, 1984) et favorisa le développement de nombreux lacs latéraux. La largeur de la rivière se réduisit de 1850 m à 40 m et le lit fut surélevé de 7 m.

Les cours d'eau des états du Nord-Ouest des Etats-Unis ont subi depuis 150 ans un intense nettoyage. La demande en bois était forte à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle à la suite de la ruée vers l'or et de la construction des voies de chemin de fer. Petit à petit, la recherche du bois s'est faite de plus en plus loin vers l'amont. Les convois de bois étaient alors de plus en plus fréquents.

Les débris ligneux ont longtemps été perçus négativement, les gestionnaires considérant qu'ils empêchent le passage amont-aval des poissons et favorisent l'instabilité des berges du chenal en divergeant les flux durant les crues importantes. Dans les années 1970, dans le district de Siuslaw National Forest, à l'ouest de l'Oregon, 5% de la longueur des cours d'eau dont le bassin est compris entre 26 et 100 km<sup>2</sup> était bloquée. Dans tous les cours d'eau à corridor forestier, quel que soit le rang, la tendance est aujourd'hui à la raréfaction des volumes, du nombre et de la longueur des pièces de bois et le transport d'amas organiques est devenu une activité en déclin. Une analyse diachronique, par photographies aériennes, de l'embouchure de quatre rivières d'Oregon montre une réduction de 70% des volumes de bois depuis 1970 (Benner et Sedell, 1987). Le nettoyage, c'est-à-dire le déplacement des rochers, des débris ligneux grossiers et autres obstructions, pour faciliter le passage des bateaux et des troncs, a réduit les interactions entre les cours d'eau et la ripisylve. Les agences américaines chargées de l'aménagement piscicole ont ainsi fait du déplacement des amas de débris, l'axe de leur programme destiné à accroître les habitats. Récemment encore, 90% des fonds consacrés à la préservation de l'habitat piscicole étaient attribués aux travaux de déplacement des embâcles.

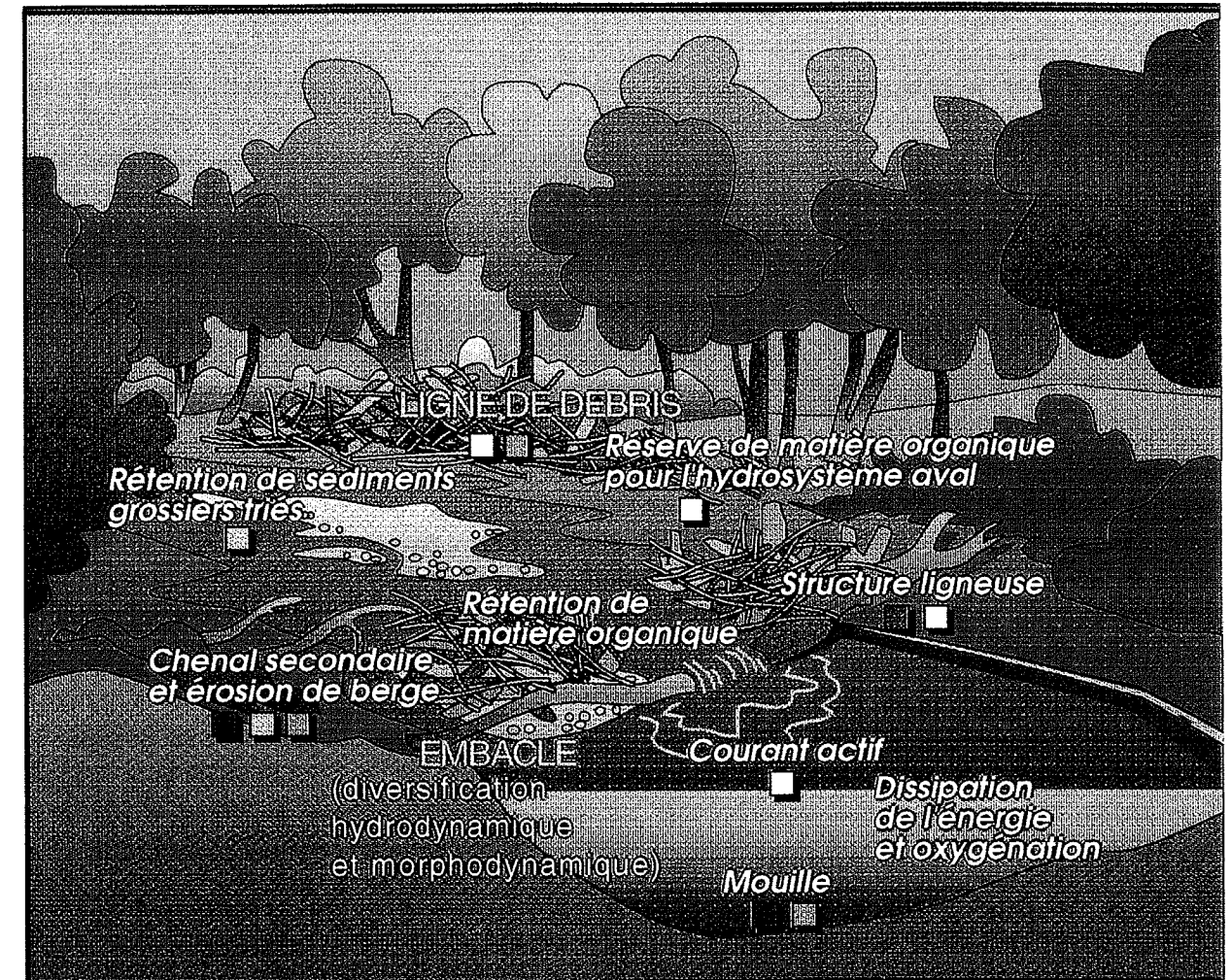
L'important rôle joué par les débris ligneux grossiers dans la création et le maintien des zones de frayères et d'élevage est reconnu depuis seulement une dizaine d'années.

Le bois mort fait partie des hydrosystèmes forestiers originels. Longtemps enlevé aux Etats-Unis, il est aujourd'hui utilisé pour augmenter les potentialités piscicoles de certaines rivières à salmonidés. De telles décisions, contradictoires avec celles prises dans le passé, reposent sur de nombreux travaux historiques qui confirment l'intérêt écologique du bois mort.

### 2.2.2 Débris ligneux grossiers et potentialités écologiques

L'un des impacts écologiques les plus marquants du développement a été la sévère réduction du bois mort dans l'environnement forestier. Ainsi dans les forêts bien gérées d'Europe, la totalité du bois mort au sol est faible : 0 à 5 t.ha<sup>-1</sup> contre 200 t.ha<sup>-1</sup> dans les forêts non aménagées du Nord-Ouest pacifique aux Etats-Unis.

La superficie influencée par les débris organiques et leur nature dépendent de la morphologie de la vallée, de la taille du cours d'eau et des facteurs favorisant l'entrée de débris dans le chenal (Keller et Swanson, 1979). L'influence de ces débris sur la morphologie et la dynamique des cours d'eau est déterminante. Le bois mort est en outre un agent de diversification et de stabilisation des habitats, une source de matière organique (fig. 152).



**TYPES D'HABITAT**

- Frayère
- Aire de repos
- Aire de croissance des juvéniles
- Aire de refuge vis-à-vis des crues et des prédateurs
- Aire d'alimentation (Biotopes propices à la présence d'invertébrés)

Agents de diversification : **EMBACLE**

Biotopes ou mécanismes de diversification et d'enrichissement piscicoles : **Mouille**

Figure 152 - Potentialités écologiques des débris ligneux grossiers dans les hydrosystèmes forestiers (d'après H. Piégay et L. Maridet, sous presse).



#### **- Le bois mort, un agent de diversification et de stabilisation des habitats :**

Pour beaucoup d'organismes vivants, les débris ligneux grossiers et les micro-environnements qui leurs sont associés représentent un habitat (Harmon *et al.*, 1986; Gregory et Davis, 1992; O'Connor, 1992). Certains en sont strictement dépendants, d'autres bénéficient de leur présence.

La perception du rôle des débris ligneux grossiers dans les hydrosystèmes a beaucoup changé depuis 1970 (Sedell *et al.*, 1985). Auparavant, ils étaient perçus sur certains types de cours d'eau comme une cause de la réduction de l'oxygène dans l'eau (Harmon *et al.*, 1986) et un obstacle à la migration des salmonidés retournant pondre dans les cours amont (Merrell, 1951; Holman et Evans, 1964). Cet impact est aujourd'hui reconnu comme étant négligeable (Sedell et Luchessa, 1982; Bryant, 1983). Les débris ligneux augmentent la qualité de l'habitat piscicole en complexifiant et diversifiant le milieu (Gard, 1961; Lisle, 1981; Franklin, 1988; Fausch et Northcote, 1992).

Dans un cours d'eau de rang 5 (Fish Creek) d'Orégon, 44% de l'habitat piscicole est ainsi influencé par la présence de débris ligneux grossiers (Everest *et al.*, 1988). L'abondance piscicole autour de ces débris augmente avec la complexité croissante de l'accumulation (Forward, 1984). Dans certaines grandes rivières, la densité de salmonidés et d'invertébrés est plus importante dans les secteurs où s'accumulent les débris ligneux grossiers (Ward *et al.*, 1982; Sedell *et al.*, 1984). La stabilité et la longévité des débris ligneux grossiers influencent fortement la qualité de l'habitat en maintenant sa diversité quelle que soit la taille du cours d'eau (Bisson *et al.*, 1987; Sedell *et al.*, 1988). La lente décomposition du bois en milieu aquatique renforce sa capacité à maintenir des habitats (Harmon *et al.*, 1986).

Le petit cours d'eau de montagne qui draine une vieille forêt de conifères et dont les caractères biologiques et physiques sont influencés par les débris ligneux grossiers, semble être l'habitat salmonicole le plus productif (Swanson et Lienkaemper, 1979; Sedell *et al.*, 1988). Les escaliers de troncs augmentent la diversité des habitats en permettant une succession longitudinale mouilles - seuils (Bisson *et al.*, 1987; Sedell et Luchessa, 1982; Sedell *et al.*, 1987). Sur des cours d'eau à forte granulométrie, de gros blocs peuvent jouer un rôle identique; par contre sur des cours d'eau à fond sableux, seules des grosses structures ligneuses peuvent générer ce type de formes fluviales. Les mouilles profondes, disposant d'un couvert, offrent aux organismes une meilleure chance d'échapper aux prédateurs terrestres (Bugert *et al.*, 1991) et permettent la coexistence d'espèces ou d'individus d'âges différents dans la colonne d'eau (Sedell *et al.*, 1988; Bilby et Ward, 1989). Elles fournissent un site de repos pour la plupart des poissons (*Oncorhynchus kisutch*, *Salvelinus malma*, *Oncorhynchus mykiss*) en toute saison, surtout en période de crue hivernale ou de migration (Bustard et Narver, 1975a et b; Bisson *et al.*, 1987; Murphy *et al.*, 1984). En période d'étiage, elles retiennent des quantités d'eau importantes. En raison de leur profondeur, elles conservent une eau plus fraîche et servent de refuges thermiques aux poissons durant les étés chauds (Bisson *et al.*, 1987). Par contre, les mouilles sans couvert ne sont pas occupées (Heifetz *et al.*, 1986). Ainsi une réduction des débris peut entraîner une réduction du nombre d'individus quelle que soit l'espèce de salmonidés (Mortensen, 1977; Tschaplinski et Hartman, 1983; Angermeier et Karr, 1984; Bryant, 1982 et 1985; Dolloff, 1986; Bisson *et al.*, 1987; ).

Comme l'ombre, les débris ligneux grossiers peuvent jouer un rôle de barrière visuelle, diminuer l'agressivité interspécifique et intraspécifique entre différents stades de développement (Elliott, 1986) et permettre ainsi une bonne croissance des individus. M.F. Boussu (1954) a ainsi montré qu'une couverture de débris artificiels peut conduire à augmenter le nombre et la taille des truites.

#### **- Débris ligneux grossiers et dynamique des éléments nutritifs :**

Proche du cours d'eau, la ripisylve est une source de matière organique allochtone (feuilles, tiges, débris ligneux grossiers...); par le jeu du "spiralling" ou parcours en hélice des nutriments (Décamps et Naiman, 1989),

elle agit sur le stockage, le recyclage ou le relargage vers l'aval des éléments nutritifs dans le compartiment forestier.

A l'intérieur du cours d'eau, les embâcles servent de pièges potentiels et de structures de rétention des particules détritiques telles que les feuilles ou les tiges (Bryant, 1981; Prochazka et Stewart, 1991). R.E. Bilby et G.E. Likens (1980) montrent que dans des bassins versants occupés par une forêt âgée de 65 ans, les embâcles piègent 75% de la matière organique dans les cours d'eau de premier ordre contre 58 et 20% dans les cours d'eau de second et troisième ordre.

Les amas de débris organiques servent de nourriture et de sites de ponte, de croissance, de repos et de refuge à la communauté benthique (Meehan *et al.*, 1977, Anderson *et al.*, 1978; Triska et Cromack, 1980; Angermeier et Karr, 1984; Wallace et Benke, 1984). La biomasse d'insectes sur le bois mort est ainsi 20 à 50 fois supérieure à celle d'habitats sableux et 5 à 10 fois supérieure à celle d'habitats vaseux (Harmon *et al.*, 1986). Sur la Satilla, cours d'eau à fond sableux de plaine cotière du Sud-Est de l'état de Géorgie aux États-Unis, le bois mort est un habitat potentiellement plus riche que l'habitat benthique tant en qualité (diversité des espèces) qu'en quantité (biomasse). Il représente 4% de la surface totale habitable mais 60% de la biomasse (Benke *et al.*, 1985).

Une diminution de la fréquence des obstacles ligneux provoque une réduction du temps de rétention et une augmentation de l'exportation vers l'aval des éléments nutritifs (Bilby et Likens, 1980). Dans le cours d'eau, cette modification se traduit par une diminution de la quantité de nourriture assimilable par les populations benthiques, la disparition de l'effet filtre et une augmentation des particules fines, néfastes à la vie des organismes. En effet dans des conditions de température élevée et de faible courant, l'accumulation de ces fines peut engendrer une augmentation de la demande biologique en oxygène (Trémolières et Carbiener, 1982; Hicks *et al.*, 1991). Ce phénomène, conjointement à une sédimentation accrue, provoque une diminution de la concentration en oxygène à l'intérieur du substrat et une mortalité parmi les alevins (Hicks *et al.*, 1991).

S.T. Elliott (1986) constate, immédiatement après l'extraction des embâcles du lit mineur, une diminution du nombre total d'invertébrés et de la dérive qui subissent une réduction respective de 567 à 200 individus par m<sup>2</sup> et de 28 à 9 individus par échantillon. Après l'enlèvement des embâcles, les poissons peuvent donc être soumis à une diète, provoquant ainsi la disparition de certaines classes de taille très sensibles.

Ces modifications des structures de rétention induisent des perturbations dans la dynamique des éléments nutritifs qui agiront à long terme sur les stocks piscicoles.

Dans les petits cours d'eau de montagne dont le profil en long est contrôlé par des escaliers de troncs, les rapides entre chaque mouille permettent une perte d'énergie potentielle et une réduction de la capacité d'exportation de la matière organique vers l'aval. R.E. Bilby et G.E. Likens (1980) montrent que seulement 10% de la matière organique fine est exportée durant l'année contre 37% lorsque les barrages sont détruits. La litière est la plus importante entrée de carbone dans les cours d'eau de Hubbard Brook. Rapidement décomposée - le turn over est d'un an - la litière constitue une source d'énergie pour les communautés. La réduction de la capacité à retenir cette matière organique doit inévitablement se répercuter sur l'efficacité du système à décomposer la litière. L'énergie de base est alors réduite et il y a un impact sur les communautés.

Le bois constitue lui-même un habitat, un substrat propice à une intense activité biologique (Swanson et Lienkaemper, 1976). Ces mêmes troncs, parfois protecteurs, favorisent le développement de la végétation et le maintien d'environnements semi-aquatiques calmes dans lesquels des sédiments fins se déposent lors des crues et accélèrent la pédogenèse (Swanson et Lienkaemper, 1982).

## Conclusion

Sur les cours d'eau non domaniaux, le code rural prévoit que l'entretien des rives soit effectué par les riverains. Or, ce devoir, préconisé il y a un siècle dans le cadre d'une société rurale plus ou moins autarcique, est aujourd'hui oublié alors que les services de l'État s'efforcent de lutter contre le non entretien car il est trop largement répandu et contribue souvent à augmenter l'ampleur et la fréquence des crues. Cette évolution explique que la notion de restauration ait pris un sens très particulier en France indépendamment de quelconques considérations écologiques.

Le problème dominant est que la gestion actuelle de la végétation se résume à la seule gestion du risque d'inondation. Les potentialités écologiques sont rarement prises en compte et l'entretien, lorsqu'il est entrepris, est souvent systématisé sur l'ensemble du cours y compris dans des secteurs peu domestiqués. Parfois, des extractions de matériaux sont également autorisés pour compenser la réduction de la capacité du chenal et réduire la charge solide qui est pourtant un facteur d'auto-contrôle de la ripisylve.

Si la restauration de la capacité d'écoulement et son entretien sont une démarche nécessaire dans les espaces humanisés, elle ne doit pas être appliquée partout et avec la même intensité. Le bois mort alimente l'hydrosystème en matière organique, crée des habitats multiples et entretient en effet un écosystème terrestre et aquatique d'une grande richesse.

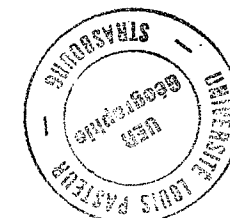
## 3. La question de la réhabilitation des ripisylves

Une analyse bibliographique et l'étude des travaux dits de restauration financés par l'Agence de l'Eau RMC, montrent qu'il existe un important retard au niveau des concepts et des techniques en matière de gestion douce des rivières dans le Sud-Est de la France. 10-15 ans nous séparent des pays germaniques (Allemagne, Suisse) et anglo-saxons (Angleterre, États-Unis). A une période où se développe une prise de conscience d'une gestion douce des cours d'eau comme le montre l'engouement croissant des élus et des techniciens de l'État pour les techniques de génie biologique, le problème se pose des concepts, des techniques et des moyens à mettre en oeuvre.

Après avoir défini la "restauration écologique" ou réhabilitation, les réalisations allemandes en la matière, que nous avons observées en avril 1994 lors d'un voyage en Bavière, seront exposées et discutées. Enfin, nous nous interrogerons sur les réalisations à envisager et les besoins techniques et scientifiques.

### 3.1 Les types de réhabilitation

P.J. Boon (1992) conçoit une intervention graduelle reposant sur un degré d'artificialisation du milieu et un niveau de renaturation souhaité par les gestionnaires. Il distingue cinq niveaux : la préservation du milieu, la limitation des impacts, l'atténuation des impacts, la restauration et l'abandon du milieu. A. Brookes (1988) propose une palette de techniques destinées à "renaturer" des secteurs endigués. Il distingue plusieurs interventions possibles : la revalorisation (*mitigation, enhancement*), la restauration (*restoration*), et la réhabilitation du chenal ou de la bande d'activité fluviale (*renaturation ou rehabilitation*).



### - La revalorisation

Des éléments de rugosité tels que des rochers ou des débris ligneux grossiers changent la distribution des forces hydrauliques dans le lit et favorisent la multiplication des flux d'eau. Ces propriétés, qui améliorent l'habitat salmonicole, sont bien connues des gestionnaires (Arrignon *et al.*, 1975; Lisle, 1981).

L'objectif est donc de favoriser une diversification des habitats en installant des structures artificielles dans le chenal tels que des déflecteurs et des micro-seuils destinés à modifier la vitesse et à créer des géoformes (mouilles, seuils), des structures destinées à créer des couverts fixes en berge ou dans le lit. Favoriser parfois un substrat graveleux propice à la ponte et à l'augmentation des populations d'invertébrés ou créer des chenaux emboîtés afin de concentrer les eaux en période d'étiage et conserver un espace de vie aquatique, prévenir les dépôts excessifs de sédiments et réduire l'augmentation de la température tout en gérant les écoulements de crue participent également à la revalorisation.

### - La restauration partielle

La restauration partielle réintroduit une diversité des formes fluviales afin de simuler des conditions naturelles. Elle concerne le plus souvent des cours d'eau urbains.

L'objectif est de minimiser le caractère rectiligne de l'aménagement et l'augmentation induite de la pente. Une telle démarche repose sur un second principe : la rive est nécessairement stable.

Les techniques employées représentent un coût financier moins important que celui qui est nécessaire à la construction d'un chenal endigué. Les techniques biologiques utilisent la végétation vivante comme un moyen de protection de berges plutôt que les enrochements car elle a un intérêt écologique et paysager majeur, une très forte capacité de régénération et des racines capables de stabiliser la berge. Le plus souvent, la végétation est combinée avec du matériel inerte, comme des fascines de bois, des revêtements de pierres en pied de berge, des gabions... Avant l'établissement de la végétation, la restauration peut échouer et un entretien régulier de la rivière est nécessaire pour enlever la végétation trop importante, les arbres tombés, les embâcles...

### - La reconversion

La reconversion est une méthode destinée à transformer un tronçon chenalisé en un tronçon plus naturel. Les termes de renaturation ou de réhabilitation sont également utilisés.

Les chenaux de haute énergie qui ont été rectifiés retrouvent souvent l'ensemble de leurs caractéristiques initiales (taille et taux de sinuosité) en l'absence d'entretien. Néanmoins, la reconversion nécessite souvent la création d'un chenal original à l'aide de machines. Deux types d'intervention sont communément pratiqués :

- le remodelage de la géométrie du chenal. Le nouveau lit excavé doit accommoder la crue de fréquence  $Q_2$ .
- la restauration de la sinuosité. Ce travail est effectué à partir des cartes historiques et de l'observation de cours d'eau naturels voisins et qui ont des caractères physiques proches. L'intérieur des courbes est souvent stabilisé par des enrochements avant l'établissement de la végétation afin de pérenniser le tracé. Des graviers peuvent être replacés dans le chenal afin de recréer une couche naturelle et stable destinée à limiter la capacité de recouplement. Ces techniques sont recommandées sur un grand nombre de cours d'eau danois de plaine qui présentent naturellement une faible dynamique latérale.

### - La prise en compte des marges terrestres

Cette approche est la forme la plus élaborée des stratégies de réhabilitation. Elle intègre la dimension latérale de l'hydrosystème et les potentialités écologiques de ses marges et notamment de la ripisylve. Elle s'appuie en outre sur les capacités d'auto-restauration et d'auto-entretien de telles rivières.

Cette proposition concerne surtout les rivières à dynamique latérale active. L'objectif est de recréer un corridor suffisant pour permettre leur mobilité. C'est le concept de "floodway zone" développé aux Etats-Unis

dans les années 1970 (Brookes, 1988) et qui s'apparente à la notion d'espace de liberté proposée en France en 1991. Une analyse géomorphologique permet de déterminer la largeur et la position de ce corridor dans la vallée. Cette solution est plus économique que les méthodes d'ingénierie destinées à stabiliser le tracé de la rivière.

En se basant sur des expériences conduites en Bavière, W. Binder *et al.* (1983) recommandent la préservation de la dynamique des chenaux à méandres afin de maintenir les conditions d'habitat. A. Brookes (1988) propose pour les rivières danoises, qui avaient été artificiellement rectifiées et qui avaient retrouvées leur sinuosité en l'absence d'entretien, de définir un corridor dans lequel le cours d'eau continue à migrer et à conserver des processus d'érosion et de construction propices au maintien d'une diversité écologique optimale.

R.C. Petersen *et al.* (1992) préconisent également des mesures de réhabilitation de cours d'eau en zone agricole qui intègrent les marges boisées. Ils proposent de redessiner les petites rivières rectifiées afin de restaurer leur capacité d'habitat et favoriser l'auto-épuration des apports phréatiques d'origine agricole. La première mesure est de définir une zone tampon d'au moins 10 m entre la rivière et les terres cultivées. Cette zone tampon est replantée en espèces locales (arbres et arbustes) destinées à stabiliser le chenal et nourrir une faune diversifiée. Une seconde mesure vise à atténuer la pente latérale afin de réduire l'érosion de berge et limiter les apports en phosphate. Ceci permet aussi à la rivière de méandrer et retrouver une morphologie du chenal caractérisée par une alternance seuil-mouille. Une troisième mesure enfin, nécessitant un corridor plus large encore, préconise la création d'une forêt humide.

La revalorisation s'intéresse aux secteurs les plus artificialisés et propose des mesures destinées à atténuer les impacts des aménagements par d'autres aménagements. Elle reste cependant confinée au chenal et s'apparente souvent plus à une stratégie d'usage (piscicole) qu'à une réelle volonté de réhabilitation.

Dans le cadre d'une restauration partielle, l'hydrosystème doit conserver un état souhaité; la croissance trop importante des arbustes et arbres est limitée et les débris ligneux grossiers sont enlevés afin de conserver des berges stables. Cette démarche, dont le but est écologique, est proche de la restauration à la française; elle est développée sur les rivières les plus humanisées et sur lesquelles existe une forte demande sociale en matière de qualité de l'environnement.

La reconversion est une approche plus élaborée de réhabilitation écologique. Elle intervient directement sur les caractéristiques physiques de la rivière et favorise notamment le reméandrage de rivières chenalisées. Les marges boisées jouent encore un faible rôle dans de tels projets qui restent centrés sur l'axe fluvial proprement dit.

Une dernière approche les prend cependant en compte. L'intérêt économique d'une démarche de réhabilitation intégrant les marges terrestres de l'hydrosystème a en effet été démontré et vient conforter son attrait écologique. La réhabilitation d'un corridor riparial apparaît comme la mesure la plus intéressante mais la plus difficile à mettre en oeuvre compte tenu de la trame foncière.

## 3.2 L'expérience allemande

La réhabilitation des rivières et de leurs marges est également une stratégie allemande (Ministère des Affaires Internes de Bavière, 1990) caractérisée non seulement par des projets mais surtout par des réalisations nombreuses. Une politique active de restauration a été développée en Allemagne et notamment dans le Land de Bavière dès les années 1970. Il s'agit d'une action pluridisciplinaire dans laquelle interviennent des

hydrauliciens, paysagistes, écologistes et géomorphologues. Aujourd'hui, une législation adaptée existe et la politique de rachat des terrains, conduite par le Land, est devenue une démarche courante (Binder, 1980; Binder *et al.*, 1983). Les gestionnaires allemands reconnaissent enfin le rôle fondamental du fonctionnement physique et biologique des cours d'eau naturels. Le programme de développement du Land de Bavière (1976) précise ainsi que :

- les derniers paysages aquatiques restés à l'état naturel ne devront plus être détériorés,
- des zones de régénération seront définies et soustraites à une utilisation récréative et les zones riveraines détériorées feront l'objet de mesures de réhabilitation,
- en bordure des cours d'eau d'une certaine importance, des bandes riveraines seront créées en rapport avec les possibilités existantes. Elles constituent une protection contre les dangers de l'érosion et de l'inondation. Dans le cas de cours d'eau de 1<sup>ère</sup> et de 2<sup>ème</sup> catégorie, c'est le Land de Bavière qui devra acquérir les terrains nécessaires.

### 3.2.1 Les réalisations

La plupart des réalisations trouvent leur place dans la typologie des interventions esquissée par A. Brookes (1988).

La restauration partielle est largement développée sur les cours d'eau urbains. Leurs berges sont redessinées. C'est cas de la Weisser Regen (module de  $4,22 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) à Kötzing (Häckl, 1983) ou de la Pfettrach (module de  $0,65 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ), affluent de l'Isar, à Landshut. L'aspect paysager de ces aménagements situés en ville est privilégié. Les plantations sont limitées afin de ne pas gêner l'écoulement de l'eau en période de crue. La conservation de certaines irrégularités des rives, des bras morts et des zones de sédimentation permet d'offrir des espaces vitaux à la flore et à la faune (photographies 37 et 38).

La réhabilitation du tracé a également été un axe développé par les Allemands. De nombreuses rivières à méandres faiblement mobiles ont été rectifiées dans la première moitié du XX<sup>e</sup> siècle. La Wandsee à Hambourg-Rahlstadt a été ainsi dérectifiée en 1982 sur une longueur totale de près de 1 km (Glitz, 1983). Ce travail s'est appuyé sur le tracé représenté sur des cartes anciennes. C'est également le cas de la Zusam, affluent du Danube, dérectifiée sur 1 km en 1991 (photographie 39). Le lit rectifié est obturé et enroché alors que l'ancien lit est partiellement réemprunté. Certains secteurs ont été enrochés pour que la divagation de la rivière ne cause pas de désagréments aux propriétés riveraines.

La réhabilitation des marges dans les projets de réhabilitation est également un axe moteur destiné à créer des milieux annexes aux potentialités écologiques largement reconnues. La création de zones humides (Wentz, 1983) ou la réactivation de bras morts (Möller et Wefers, 1983) sont des interventions préconisées.

Photographie 37 - Le chenal de crue de l'Isar dans la traversée de la ville de Landshut en Bavière (vue du tronçon n'ayant pas été soumis à une restauration paysagère).

Photographie 38 - Le chenal de crue de l'Isar dans la traversée de la ville de Landshut en Bavière (vue du tronçon ayant subi une restauration paysagère).

Photographie 39 - Extrait d'un plan de restauration de méandre de la rivière Zusam, un affluent de rive droite du Danube au niveau de Donauwörth en-Bavière

{vue de l'ancien chenal rectifié et du chenal récemment restauré}. Photographie 40 - Zone humide reconstituée artificiellement sur les marges de la Kössnach, affluent du Danube à Kirchchrott en Bavière.



39



40



37



38

Leur approche est originale dans la mesure où elle reste très ponctuelle. Le Wiesbach, affluent de la Lech (module de  $0,51 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ), a été dérectifié sur près de 1,6 km de long. A partir de 1979, le district acquiert une bande de terrain de 20 à 30 m de largeur et aménage un nouveau lit, sinueux et marqué par la présence de micro-zones humides et de plantations d'arbres sur des berges en pente douce. La protection des rives contre l'érosion est garantie par des ouvrages combinant des blocs rocheux et des végétaux. La Kössnach, affluent du Danube (module de  $1,35 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ), draine une plaine intensivement exploitée et a été rectifiée en 1940. Ses rives ont été ponctuellement redessinées et le lit a été élargi afin de recréer une zone humide sur ses marges (photographie 40). Toute protection de berges était exclue.... En 1985, ce travail est complété par un abaissement des rives, une reconnexion et un désenvasement des bras-morts et roselières. Citons enfin le cas de l'Eger en Souabe, affluent de la Wörnitz près de Nordlingen, qui a été rectifié dans les années 1950. Récemment, des milieux annexes, favorables à la biodiversité, ont été recréés. Le site, organisé autour d'un bras mort relié au chenal par l'aval et de ses marges végétalisées, a été créé de toute pièce à la demande de la ville de Nordlingen qui avait acheté le terrain. L'objectif est de favoriser le maximum d'habitats (rives douces ou abruptes, mares permanentes ou temporaires, emploi de matériaux exogènes tels que des sables ou des argiles...). Le choix des arbres s'est porté sur des espèces locales et des espèces fixant les berges (aulnes et saules). Le milieu est régulièrement entretenu afin d'enlever les débris déposés par les crues.

Les réalisations allemandes sont extrêmement nombreuses (Ministère des Affaires Internes de Bavière, 1990) et l'expérience acquise par les ingénieurs est aujourd'hui riche d'enseignement. Aussi une approche critique de leur démarche est enfin entreprise.

### 3.2.2 Analyse critique

#### - L'approche allemande présente des atouts notables.

Les gestionnaires allemands considèrent que le rachat des terrains est un préalable à toute réhabilitation. Ils affirment que la réhabilitation optimale dépend de l'achat d'une bande riveraine d'au moins 10 m de large. Depuis 20 ans, le Land de Bavière a pris le parti d'acheter systématiquement tous les terrains riverains qui se vendent. Il profite par ailleurs de la déprise agricole pour proposer des mesures agri-environnementales. Le problème des crédits conduit aujourd'hui les gestionnaires à promouvoir une politique de contractualisation avec les riverains.

La concertation avec les propriétaires est largement développée et les services de l'Etat disposent de structures d'entretien et de gestion pérennes.

Les Allemands ont en outre une approche pragmatique qu'ils enrichissent au fur et à mesure de leurs expériences. Ainsi, ils disposent aujourd'hui d'un éventail très large de réalisations. Par ailleurs, ils s'efforcent d'utiliser les capacités d'auto-restauration de la rivière après avoir préparé le mouvement.

#### - Leur démarche présente également de nombreux inconvénients.

Les réalisations sont toujours très ponctuelles et n'intègrent jamais le fonctionnement global de la rivière. Ainsi, les gestionnaires allemands peuvent promouvoir un reméandrage sur quelques centaines de mètres seulement. En outre, l'ensemble des aménagements ne tient pas compte du fonctionnement géomorphologique et la vision de l'écosystème reste très statique. Le cours d'eau est bloqué par des seuils et des enrochements végétalisés; l'alternance seuils-mouilles, une fois réhabilitée, se doit d'être statique.

De même, la dimension latérale est assez mal prise en compte. Les concepteurs ont conscience de l'intérêt de la ripisylve mais ils ne permettent pas son auto-régénération. Les peuplements sont encore jeunes et les réalisations actuelles sont physionomiquement et fonctionnellement éloignées d'une mosaïque naturelle. Le

cours est toujours stabilisé et les boisements, ponctuels, en bosquets, sont souvent localisés de manière à caler le tracé de la rivière. La question est de savoir à terme quelle va être l'évolution de tels peuplements non soumis en permanence à régénération.

Par ailleurs, les gestionnaires reconnaissent qu'ils sont prudents dans leur politique de reboisement dans la mesure où une ripisylve ralentit les eaux et nécessite donc l'achat d'une bande riveraine plus large. La logique de replantation, enfin, est d'abord une logique paysagère. Les bosquets, qui accroissent la diversité paysagère, sont préférés à un réel corridor boisé et les essences ne sont pas toujours bien celles d'une forêt pionnière. Se côtoient ainsi parfois des essences pionnières (Saules arbustifs, Aulnes) et des essences de la forêt mûre (Chêne, Aubépine..).

Leur expérience ne concerne essentiellement que des petits cours d'eau et les réalisations ne font jamais l'objet de suivis écologiques ou piscicoles. Ceci s'explique sans doute par la formation des concepteurs qui sont pour la plupart des ingénieurs-paysagistes. Une confusion est ainsi souvent observée entre l'objectif recherché, l'optimum écologique, et la stratégie mise en oeuvre qui s'apparente à un aménagement paysager.

### 3.3 Quelle réhabilitation envisager?

Avant d'envisager une quelconque réhabilitation, il convient de s'entendre sur les définitions, les problèmes méthodologiques restant à résoudre et de préciser la place de la ripisylve dans les projets. Suite à l'analyse bibliographique, les définitions sont maintenant plus claires.

La restauration et l'entretien sont des objectifs d'usages et doivent se limiter aux milieux domestiqués. Ces termes peuvent se référer à un paysage (ripisylve urbaine et péri-urbaine par exemple), à une capacité d'écoulement ou à des ouvrages (seuils, moulins...). La réhabilitation partielle est une démarche destinée à une diversification artificielle de la mosaïque indépendamment de sa dynamique temporelle. Il s'agit le plus souvent d'une stratégie de préservation de certains biotopes, d'une stratégie d'usage (piscicole). Néanmoins, il est possible de parler de réhabilitation car il s'agit tout de même d'atténuer les impacts écologiques des cours d'eau très anthropisés. La renaturation ou réhabilitation fonctionnelle est la forme la plus achevée de la réhabilitation. Elle est fondée avant tout sur la dimension latérale de l'hydrosystème et la ripisylve est au coeur de cette démarche. Elle s'efforce d'atteindre la diversification écologique et sa pérennité par la restauration des processus. Dans ce dernier cas, il s'agit de distinguer les milieux physiques de faible énergie des milieux physiques de haute énergie (Brookes, 1988) car les solutions seront très différentes. Par ailleurs, elle ne peut s'envisager que sur un tronçon relativement long dans la mesure où elle intègre la dynamique de régénération des biotopes. L'équilibre global dépend de zones d'instabilité locale, discontinues dans l'espace et dans le temps.

La réhabilitation des marges boisées est un élément de la réhabilitation fonctionnelle. Si l'on souhaite reconstituer une réelle forêt alluviale, celle-ci doit être en étroite relation avec la rivière ce qui implique donc une réhabilitation de la rivière elle-même et de ses potentialités de régénération.

Pour conduire une réhabilitation fonctionnelle, plusieurs thèmes doivent être envisagés :

- **La gestion de l'instabilité est difficile** alors qu'elle conditionne le fonctionnement optimal et garantit la pérennité de la diversité. Actuellement, la réhabilitation des milieux alluviaux perturbés est prônée par les gestionnaires. Ce courant favorise le développement de techniques basées sur le génie biologique (Lachat, 1991; Dethioux, 1987 et 1988; Cérec et Akène, 1992). Ces techniques concernent essentiellement la protection de berges naturelles ou artificielles (enrochements, digues...) par les végétaux (techniques de revégétalisation) ainsi que le réaménagement des plans d'eau de gravières (Cérec et Akène, 1992). Néanmoins, aussi pieuses que soient ces actions, elles engendrent un système stable ou plutôt stabilisé et ne permettent pas la réhabilitation du fonctionnement morphodynamique des cours d'eau, réhabilitation qui exige

du temps, de l'espace et l'intervention combinée de l'homme et de la rivière. Celle-ci doit être à terme capable de gérer sa diversité par un rajeunissement et un vieillissement permanents de ses milieux. Aussi, les gestionnaires de l'hydrosystème, système variable, peuvent préconiser une renaturation lorsque l'instabilité biomorphodynamique est le moteur fonctionnel de l'organisme. D'ailleurs certains auteurs (Bravard, 1991) soulignent que le maintien artificiel de cours d'eau dans leur lit actuel devrait être progressivement proscrit par les aménageurs.

Réhabiliter le fonctionnement biodynamique de la rivière nécessite au préalable de réhabiliter le fonctionnement morphodynamique.

- **Des recherches sont encore nécessaires.** La majorité des techniques n'est pas applicable aux rivières de haute énergie. Etant les plus consommatrices d'espace et les plus diversifiées au niveau écologique, elles nécessitent des outils de gestion appropriés. Il est nécessaire de connaître davantage l'effet de la végétation sur la capacité d'écoulement de la nappe d'inondation, les propriétés de la végétation limitant la capacité de la rivière à éroder ses berges. Des techniques destinées à évaluer les qualités esthétiques ou la valeur économique des écosystèmes et des recherches pour comprendre l'hydraulique des crues des rivières non rectifiées, sont également nécessaires pour les futurs projets de réhabilitation (Brookes, 1988).

Par ailleurs, des guides techniques doivent répertorier les actions à envisager selon le type de rivière (style géomorphologique et optimum écologique) et donner des recommandations destinées à minimiser les effets négatifs des procédures traditionnelles d'ingénierie. Ceci nécessite donc à terme une typologie de rivières basée sur le type de vallée, le style géomorphologique, la pente, la taille des sédiments... Il devient également nécessaire de promouvoir des études pilotes en matière de gestion de l'érosion de berges notamment sur des rivières à méandres actifs et de réhabiliter ainsi des corridors ripicoles caractérisés par des groupements végétaux diversifiés.

Actuellement en France, quelques gestionnaires ont pris conscience qu'il convient de conserver le corridor végétal notamment sur les rivières comme la Drôme, l'Eygues ou l'Ouvèze caractérisées par des marges anciennement boisées et plus ou moins naturelles : les ramières. Les démarches de réhabilitation sont rares et souvent encore à l'état de projet.

J.R. Malavoi et L. Payen (1991) ont proposé des scénari de "restauration écologique" du Guiers Mort entre Saint-Laurent du Pont et Entre-deux-Guiers. Leur démarche, originale et novatrice, reposait sur la réhabilitation d'un fonctionnement morpho-écologique en équilibre qui prendrait en compte l'écosystème comme un tout. Le but était de rétablir le fonctionnement morphologique antérieur à l'aménagement et les capacités d'auto-ajustement notamment latérales de la rivière. Les résultats escomptés étaient multiples : retour à un équilibre fonctionnel, amélioration de la qualité paysagère, protection durable contre les crues moyennes et fortes et contre l'érosion. Néanmoins, le maître d'ouvrage a rejeté leur proposition au profit d'une réhabilitation partielle, plus timide, orientée sur l'usage piscicole. Le but est alors de reconstituer un milieu capable de se substituer au milieu naturel d'origine afin de pourvoir aux diverses fonctions de la truite. Il s'agit de recréer une diversité d'habitats (abris rivulaires comme des anses, caches...).

Un projet de réhabilitation de la ripisylve existe également sur la rivière Dordogne. Développé par le syndicat intercommunal d'études et de travaux de protection de berges de la Dordogne (Roqueplo, 1992), ce projet avance mais aucune réalisation n'a encore été entreprise.

La démarche française est encore pauvre en réalisations. Elle est plus ambitieuse que celle développée par les allemands dans la mesure où elle repose toujours sur un linéaire de rivière relativement important et s'intègre dans une démarche globale et équilibrée entre l'homme et le milieu. Ainsi, la réhabilitation d'un corridor de végétation est prônée non seulement pour ses potentialités écologiques mais encore pour son intérêt humain.

Cette démarche conceptuelle n'est pas unique. Z. Kajak (1992) explique que la plaine d'inondation de la moyenne Vistule abrite des communautés vivantes exceptionnelles et qu'il est nécessaire de recréer un corridor végétal tout en s'efforçant de préserver celui qui existe en donnant aux secteurs les plus intéressants un statut de réserve naturelle. Il attribue à sa démarche une importance écologique et économique. En Espagne, ces idées progressent également et un "programme de planification et de récupération de l'espace riverain pour l'environnement et la récréation" est actuellement à l'étude dans le cadre de l'organisme chargé de la gestion de l'Ebre (Ollero-Ojeda, 1994). Cet espace, situé dans une région semi-aride, est singulier. Le projet est développé sur 28 km de cours et de berges naturelles à l'amont de Saragosse. Si l'objectif principal est de réhabiliter la végétation, la renaturation a également un but défensif (écrêtage des crues, réduction des vitesses d'écoulement, rétention de la charge) et récréatif.

### III La gestion de la ripisylve, quelles démarches opérationnelles envisager?

Les propositions formulées en matière de gestion des corridors végétaux doivent aller au-delà du stade conceptuel. Aussi, convient-il de présenter dans cette troisième partie quelques axes opérationnels que les SAGE pourront préconiser lors de leur phase "diagnostic". Quatre thèmes majeurs seront développés. Il conviendra de :

- diagnostiquer le fonctionnement et la diversité de la mosaïque fluviale,
- montrer l'intérêt d'une enquête d'opinion et ses conséquences en terme de gestion écologique,
- apprécier le problème de l'entretien en terme de gestion de l'espace,
- présenter des outils pour la gestion de l'érosion et la préservation de la diversité des groupements forestiers.

#### 1. Diagnostiquer le fonctionnement et la diversité de la mosaïque fluviale

Après avoir montré l'application possible des acquis méthodologiques issus de la thèse pour le diagnostic du fonctionnement de certains hydrosystèmes, des méthodes complémentaires d'analyse seront proposées pour évaluer rapidement la diversité d'une mosaïque fluviale.

##### 1.1 Application des acquis méthodologiques issus de la thèse

L'étude de la ripisylve et de la relation fonctionnelle existant entre le compartiment forestier et le compartiment aquatique nécessite une analyse historique du fonctionnement physique de la rivière et des activités humaines. Cette approche qui a été esquissée dans la thèse est actuellement en cours de diffusion au niveau opérationnel. Des propositions de cahier des charges ont ainsi été rédigées. C'est le cas par exemple de l'"étude historique d'un hydrosystème en préalable à l'élaboration d'un SAGE (Bassin de l'Arc, Bouches-du-Rhône)" et de la partie 3.5 du cahier des charges de l'étude globale de l'Eygues qui concerne le fonctionnement phyto-morphologique de sa plaine. Par ailleurs, les principaux thèmes de la démarche constituent le volet d'un cahier des charges exhaustif d'une étude globale que les instructeurs de l'Agence de l'Eau proposent, en préalable à toutes discussions, aux maîtres d'ouvrage souhaitant proposer une étude.

Les rivières Arc et Eygues se caractérisent par l'existence d'enjeux économiques et écologiques forts et une nécessité de gestion des risques d'inondation. Sur leurs tronçons aval, la répétition de travaux ponctuels de protections de berges révèle une incapacité à gérer l'érosion. Celle-ci, élément fonctionnel clé de certains hydrosystèmes, doit donc être abordée globalement afin de comprendre pourquoi la rivière recherche une extension latérale. Quel équilibre dynamique recherche-t-elle? Est-elle un gros consommateur d'espace?

Compte tenu de ces questions, il apparaît nécessaire de faire le point sur le fonctionnement global de ces systèmes et leur évolution à court et moyen terme afin d'aboutir à une politique durable de gestion la mieux adaptée aux problèmes et impératifs dégagés.

Au plan méthodologique, il apparaît dès lors nécessaire de bien cerner :

- l'état actuel et l'évolution historique des usages et des aménagements,
- l'état actuel et l'évolution historique du fonctionnement physique de la rivière notamment au niveau géomorphologique et écogéographique.

Dans l'esprit de la démarche SAGE, l'étude doit être conçue avec l'appui de cartes à la fois analytiques et synthétiques. Ces représentations devront permettre 1. de visualiser rapidement l'ensemble des problèmes et de jouer alors un rôle d'aide à la décision, 2. de réaliser une sectorisation spatiale reposant sur les critères techniques et les impératifs d'usage que l'on s'est définis. L'échelle historique n'excèdera pas un à deux siècles. C'est en effet une période suffisante pour apprécier les mutations socio-économiques et écologiques à l'origine du paysage fluvial actuel.

### 1.1.1 Etude historique des usages et des aménagements

Il convient de dissocier l'étude du bassin versant de celle des marges de la rivière car il s'agit de deux entités qui se distinguent par leur superficie, leur influence sur la rivière, les méthodes d'étude et les axes de recherches à envisager. Les thèmes abordés concernent les pratiques agropastorales, la dynamique forêt-friche, l'urbanisation, les activités économiques remarquables et la dynamique spatiale de la population. Ils s'intéressent à l'occupation de l'espace passé, présent et futur.

L'objectif est double :

- relier les changements physiques et les faits humains, l'hydrosystème en Europe étant influencé par les stratégies humaines de gestion de l'espace,
- identifier les usages et leur localisation afin de proposer des scénari de gestion globale.

Une démarche bibliographique doit être un préalable obligatoire à l'étude spatialisée. Elle permettra de recenser la documentation administrative et la documentation géohistorique et géographique régionale existantes.

Quatre types de documents sont disponibles :

- les documents cartographiques officiels de gestion de l'espace (POS, Cadastre),
- les données statistiques (RGP, RGA...) collectées depuis parfois très longtemps (l'INSEE détient les recensements de la population des communes/paroisses qui existent depuis le début du XIX<sup>e</sup> siècle),
- les documents officiels des grands services de l'Etat (rapports, plans d'ouvrages, ancien cadastre...) conservés aux Archives Départementales,
- les travaux géographiques et historiques de l'université régionale.

#### - Etude de l'occupation du bassin versant et de son évolution séculaire

Deux objectifs spécifiques concourent à proposer l'étude des mutations des espaces agricoles, pastoraux et urbains à l'échelle du bassin versant. Il s'agit de mettre en évidence :

- des régions en fonction de leur degré d'anthropisation ou/et en fonction de l'ampleur de leurs mutations socio-économiques,
- des facteurs humains susceptibles de modifier les flux et donc d'expliquer les changements perçus dans l'hydrosystème.

La méthode repose sur une comparaison de deux états : l'état actuel et l'état des années 1830-40 observé sur l'ancien cadastre. Il est parfois possible de collecter des données concernant les années 1930-40 lorsque les communes disposent d'un cadastre rénové datant de cette période. L'état des lieux peut être brièvement effectué à partir d'une série de cartes communales bien choisies.

Pour l'état ancien, le cadastre reste la source principale. Deux démarches peuvent être entreprises pour son exploitation :

- une démarche statistique par commune, voire par section de communes, à l'échelle du bassin versant. Chacune d'elles dispose de statistiques plus ou moins fiables rassemblées dans un tableau général par type de culture.

- une démarche cartographique par secteur-type. Des espaces actuels remarquables sont identifiés et leur évolution historique est précisément reconstituée à partir d'extraits de l'ancien cadastre et à l'aide d'une série de cartes diachroniques.

#### - Etude du lit majeur ou plutôt de l'espace traditionnellement concédé à la rivière par les riverains

L'approche de l'espace-rivière permet de replacer concrètement les usages, les conflits usage-usage et usage-milieu, les milieux naturels intéressants et les milieux à fortes évolutions anthropiques dans l'espace. Parallèlement, un recensement des ouvrages et de leur état peut être un complément utile. Des fiches normalisées peuvent présenter la situation juridique et historique, l'état actuel et la position géographique des ouvrages.

Une mission photographique des berges par hélicoptère permet non seulement de dresser l'état actuel des lieux mais encore d'effectuer un diagnostic géomorphologique et écologique relativement fin. Une enquête socio-économique auprès des riverains est également un travail complémentaire très judicieux.

Le cadastre actuel et passé constitue le document de base. Il s'agit de proposer une cartographie détaillée, le plus souvent à l'échelle du 1/10 000<sup>e</sup>, de l'ensemble des usages actuels (boisement, extractions de graviers, agriculture, alimentation en eau, urbanisme, loisirs...) et de la propriété. Parallèlement, une carte de l'occupation de l'espace-rivière au XIX<sup>e</sup> siècle, plus simple, levée à partir du seul cadastre permet de mieux connaître la position de l'habitat et les types de culture. Une recherche fine, aux Archives Départementales notamment, des interventions sur la rivière et des problèmes rencontrés par les populations en matière d'érosion, de crues, d'inondations ou au niveau juridique en ce qui concerne par exemple les droits d'eau, peut conduire à une seconde carte.

### 1.1.2 Etude historique du fonctionnement de la mosaïque fluviale

Cette étude peut être préconisée en vue d'une sectorisation du fonctionnement physique passé et souhaité à l'avenir. Si une réhabilitation est proposée sur certains tronçons, elle ne peut être effectuée qu'après une reconnaissance historique du fonctionnement physique. Le diagnostic de l'évolution de la mosaïque fluviale et de son ampleur exige de prendre en compte le type de système défini par son degré de stabilité latérale naturelle et son histoire récente.

Le diagnostic de l'état fonctionnel du système nécessite une étude fine de l'évolution sur une période de 50 ans. Cet intervalle a été retenu pour plusieurs raisons : 1. il s'inscrit dans un cycle d'évolution de notre société et permet de déceler les principales mutations naturelles ainsi que des cycles secondaires; 2. les séries photographiques de l'IGN, comparables d'une année sur l'autre, n'existent pas au-delà. Néanmoins, les rivières latéralement stables ou de petite taille méritent une approche plus fine à partir de l'ancien cadastre car :

- les rivières stables régénèrent lentement la mosaïque végétale et un diagnostic ne peut donc être convenablement effectué sur une période courte,
- le document photographique n'est pas adapté compte tenu de son échelle trop petite.

#### - Le problème de la définition de l'espace d'étude et la sectorisation géomorphologique et biogéographique actuelle.

L'objectif de cette démarche consiste à définir l'espace de la rivière. Les indicateurs retenus peuvent être d'ordre morphologique (lit mineur - lit majeur - zone inondable pour Q<sub>10</sub>...) ou humain (espace concédé à la rivière par les populations rurales traditionnelles).



Dans un second temps, le fonctionnement physique de la rivière peut également être cartographié par secteurs. Les variables retenues, comme la pente, les puissances hydrauliques, la forme du lit, le style fluvial, le degré de stabilité latérale, la diversité des unités écologiques ou les structures géologiques, sont à la fois longitudinales et latérales, physiques et biologiques.

#### - L'approche historique

L'étude porte cette fois sur l'évolution des profils en long et en travers. Un diagnostic de l'évolution de la pente et de l'altitude du lit, des puissances brute et unitaire est considéré comme un préalable. L'étude des changements en plan permet également d'apporter des informations sur la consommation potentielle d'espace par la rivière dans le passé et de diagnostiquer la tendance évolutive de cette consommation.

Elle porte également sur l'évolution latérale de la connectivité des milieux. L'exploitation des photographies aériennes et l'étude de l'évolution de la largeur des différentes unités phyto-morphologiques (bande active, unités pionnières, forêt, fruticées, zones anthropisées...) sont des démarches d'analyse qui peuvent être employées. Reposant sur la détermination de transects équidistants de 250 m sur lesquels est récoltée la largeur de chaque unité, elles permettent de diagnostiquer la diversité des unités et leur transformation dans le temps.

L'état de santé fonctionnelle du milieu et l'évolution historique l'ayant conduit à cet état sont ainsi déterminés. Ce constat nous amène alors à trois questions de fond :

- Quelles sont les causes de cette évolution et agissent-elles encore?
- Quelle évolution future peut-on attendre au regard de l'évolution passée?
- Quelle stratégie de gestion proposée tenant compte au mieux des intérêts de la rivière et des usagers?

#### - L'analyse des causes de la métamorphose.

Trois millénaires d'occupation de l'espace ont laissé peu de place à une évolution naturelle de l'hydrosystème. Aussi, les métamorphoses observées sur les rivières européennes ont principalement été liées à des changements de comportements, de pratiques agro-pastorales, d'utilisation de l'espace (urbanisation...).

C'est pourquoi, l'étude des usages, menée en étroite association avec l'étude phyto-morphologique, constitue une double source de résultats. Elle met en évidence une évolution qui explique, sans doute partiellement compte tenu que l'ensemble des variables est en équilibre dynamique, les mutations des processus naturels en jeu.

Néanmoins, l'historique de l'occupation du bassin versant doit être dissocié de celui de l'espace-rivière car leur influence respective sur les changements physiques est différente, s'exerçant pour l'un sur les flux entrants (débits liquides et solides) et pour l'autre sur la géométrie de l'hydrosystème. Parallèlement, un historique de l'hydrologie peut également être mené, le Petit Age Glaciaire (1550-1880) favorisant une charge plus abondante et des pics de crue plus prononcés que ceux observés aujourd'hui. Aussi, s'achemine-t-on souvent vers une rivière aux capacités morphogènes et aux ambitions spatiales actuelles plus modestes. La gestion de ce type d'évolution est quand même facilitée.

### **1.1.3 Synthèse des résultats et présentation de scénarii**

A l'issue de la phase diagnostic, une synthèse globale de l'état actuel du système et de son évolution doit mettre en évidence :

- Un état actuel du milieu secteur par secteur qui tiendra compte des données physiques et humaines; Il constitue la séquence "état des lieux" de la démarche SAGE.

- Les principaux changements humains (usages-aménagements) et fonctionnels (morphologie-écogéographie) ainsi que les tendances prévisibles de l'état physique du cours d'eau identifiés à partir d'un croisement des évolutions constatées et des différents indicateurs de la pression anthropique; cette phase s'apparente à la séquence "diagnostic" de la démarche SAGE.

- situer spatialement et identifier les conflits d'usages et les impératifs de gestion, notamment des risques, afin de proposer des objectifs en matière de préservation des potentialités écologiques et de fonctionnement des milieux, en matière d'usages et de maîtrise du risque d'inondation; cette dernière phase correspond enfin à la séquence "scénari" de la démarche SAGE.

Plusieurs scénari devront être proposés et discutés (principaux objectifs, avantages et inconvénients des choix) afin de tenir compte à différents degrés:

- des principes de gestion de l'espace et des usages,
- des principes de restauration-renaturation qui ont été définis.

Ils devront aussi clairement dégager le coût financier d'une possible réhabilitation (achats des terrains, travaux en rivières).

Une série de cartes analytiques est souhaitable pour chacune des séquences identifiées. Enfin, des cartes de synthèse-scénario doivent permettre de visualiser rapidement les choix proposés qui sont à la fois thématiques et spatiaux. L'approche doit être en outre sectorisée en fonction des orientations que l'on s'est fixées.

Sur la plupart des rivières, la méthodologie proposée est bien sûr trop lourde à mettre en oeuvre au niveau opérationnel compte tenu du temps et des financements nécessaires. En outre, une étude à l'échelle du bassin versant est très souvent irréaliste. Néanmoins, cette proposition constitue une base de discussion à partir de laquelle il est possible, en concertation avec les élus et les techniciens de l'Etat, d'élaborer le cahier des charges d'une étude historique du fonctionnement physique adaptée à l'espace concerné et aux problèmes locaux rencontrés.

## **1.2 La diversité de la mosaïque, un indicateur du fonctionnement**

L'objectif est de proposer une méthode simple pour effectuer un diagnostic rapide de la diversité de la mosaïque fluviale. Celle-ci devra permettre également de définir une tendance historique et une sectorisation des marges ripicoles, de reconnaître les secteurs remarquables ou les secteurs à réhabiliter. La diversité de la mosaïque est un indicateur paysager très intéressant dont la valeur écologique est par contre plus discutable puisqu'elle dépend surtout du nombre d'entités reconnues.

Deux méthodes seront proposées. La première est destinée à une évaluation rapide et repose sur un indice quantitatif : l'entropie H de Shannon. La seconde est plus complexe, typologique et repose sur une Analyse en Composantes Principales.

Dans les deux cas, l'objectif recherché consistera à mettre en évidence et étudier l'évolution de la diversité de la mosaïque végétale à partir de la largeur relative des différentes unités élémentaires collectée sur des transects équidistants de 250 m.

### **1.2.1 La diversité de la mosaïque d'après l'indice de Shannon**

La démarche sera graduelle. Après avoir présenté la tendance diachronique sur les cinq rivières d'étude, l'Ardèche sera étudiée plus spécifiquement.

### - La tendance historique sur les cinq rivières d'étude

La tendance de chacune des rivières d'étude a tout d'abord été analysée. La comparaison de la valeur de l'indice d'une rivière à l'autre est délicate car le nombre d'unités élémentaires pris en compte n'est pas le même. Or, ce nombre influence la valeur de l'indice. Sur l'Ubaye, par exemple, seuls trois types d'unités ont été retenus : la bande active, les stades pionniers et la forêt, alors que sur l'Ardèche, l'indice repose sur les largeurs du chenal en eau, des bancs de galets, des stades pionniers, des stades arborés et de la pelouse sèche. Pour les trois autres rivières enfin, quatre classes ont été représentées.

L'évolution de l'indice présente de grande différence d'une rivière à l'autre (fig. 153). Elle est assez similaire sur l'Ain et l'Ardèche où une tendance à la réduction de la diversité de la mosaïque se manifeste avec la recolonisation végétale. Néanmoins, l'indice est très fort sur l'Ain compte tenu que la mosaïque étudiée ne repose que sur quatre unités contre cinq sur l'Ardèche. L'Ouvèze présente globalement la même évolution mais la diversité a atteint un optimum en 1971. Cette différence s'explique par une recolonisation végétale en deux temps. Entre 1947 et 1973, la réduction de la bande active a permis à la forêt de s'étendre alors que la superficie des unités pionnières restait stable ce qui a induit un bon rééquilibrage des unités les unes par rapport aux autres. Au contraire, après 1973, le reboisement s'est fait presque uniquement aux dépens des pionniers.

Les cours d'eau intramontagnards sont caractérisés par un pic de diversité au début des années 1980. Ce phénomène s'explique différemment selon la rivière. Sur le Giffre, le phénomène est localisé dans les zones à tressage actif (fig. 154) et s'explique par l'augmentation de la part relative des bancs de galets aux dépens de secteurs boisés. Ceci a provoqué un rééquilibrage des zones ouvertes par rapport à un ensemble forestier très vaste. Aussi, l'interprétation d'un tel indice doit être conduite avec rigueur car sa croissance n'est pas forcément toujours liée à des phénomènes naturels et peut parfois indiquer un appauvrissement de la mosaïque. Dans le cas présent, la réduction de la ripisylve ne s'est faite qu'aux dépens des îlots boisés qui présentent par rapport au reste du corridor forestier une grande originalité fonctionnelle et une importance écologique. Sur l'Ubaye, le phénomène a surtout été observé à l'aval des Thuiles et à l'amont de Barcelonnette (fig. 154). Il dépend d'une recolonisation végétale marquée dans le secteur de gorges par une augmentation des formations pionnières et dans les zones de tressage actif par un rééquilibrage de la part relative de la forêt par rapport à la large bande active.

Si l'apparition récente d'une ripisylve est un phénomène largement répandue, écologiquement et économiquement intéressant, elle n'est pas à terme un facteur de diversité paysagère. L'optimum a en effet été atteint au cours du siècle lors de la phase de transition entre un corridor anthropique bien développé au XIX<sup>e</sup> siècle et un corridor forestier actuel. Ce mouvement peut être qualifié, selon l'expression de G. Pinay et H. Décamps (1990), d'écotone temporel. Il est en outre possible de penser que la déprise rurale constitue un facteur temporaire d'accroissement de la diversité des unités de paysage et l'aboutissement d'un tel processus est toujours redouté des gestionnaires (Brossard *et al.*, 1993).

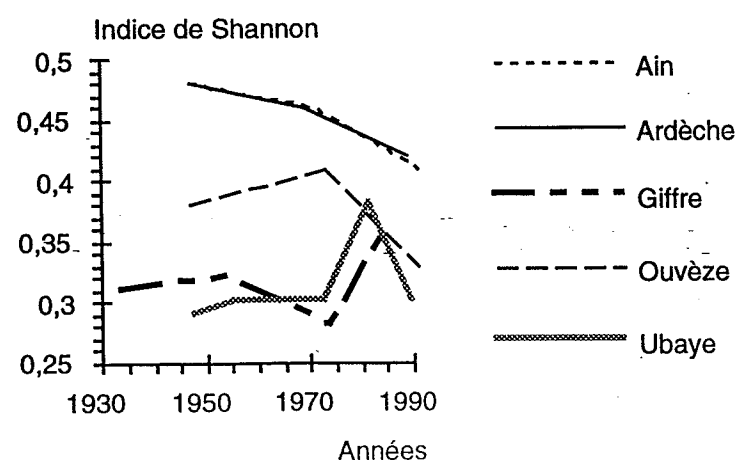


Figure 153 - Evolution de la diversité des unités élémentaires de la mosaïque fluviale des cinq rivières d'étude entre les années 1940-1950 et aujourd'hui (d'après l'indice de Shannon).

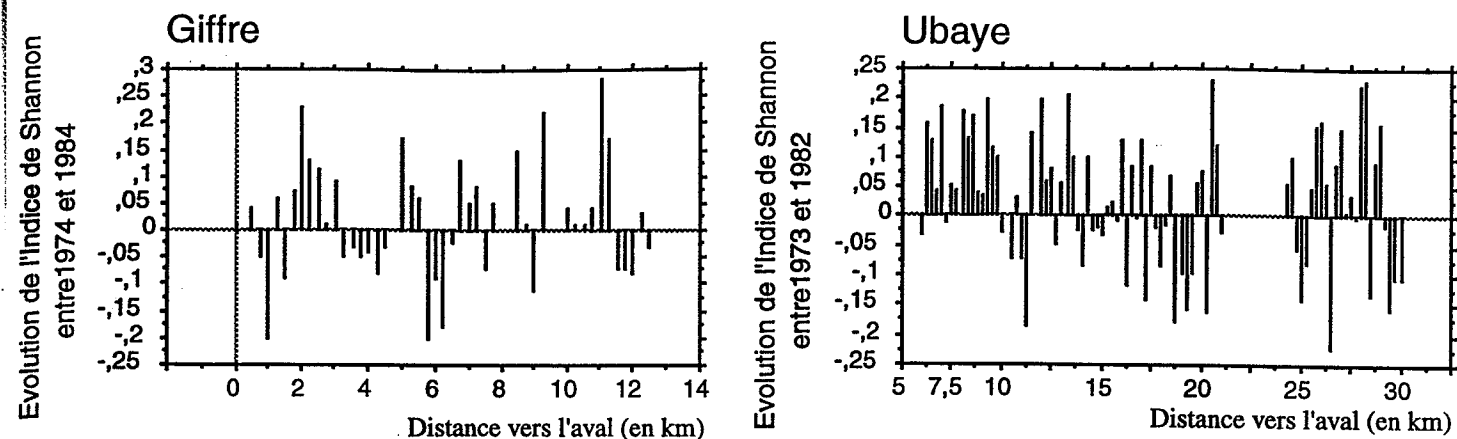


Figure 154 - Distribution longitudinale de la différence entre les indices de Shannon calculés dans les années 1970 et 1980 sur les transects du Giffre (A) et de l'Ubaye (B).

Les corridors à dynamique latérale active, comme celui de l'Ain, présentent ainsi une diversité supérieure à celle des rivières de tressage ou à corridor forestier ancien comme l'Ouvèze ou le Giffre (le nombre d'unités observées est le même).

### - L'approche spatiotemporelle de l'évolution de la mosaïque et les impacts endogènes (exemple de la moyenne ardèche)

L'analyse cartomatique utilisée dans la première partie afin de mettre en évidence l'évolution des unités de la mosaïque a été à nouveau utilisée. Il a été calculé pour chacun des transects en 1947 et en 1989 (fig. 155). L'indice de diversité de chacune des années, distribué en quatre classes d'égale population, a alors été cartographié. Par ailleurs, une carte de synthèse combine l'évolution de la diversité des unités élémentaires et de la pression anthropique entre les deux dates. Chaque transect, dont la largeur s'est réduite au cours de la période en raison d'implantations humaines, a été identifié sur la carte.

Les secteurs les plus diversifiés en 1947 correspondent assez exactement aux zones alluviales. Les secteurs de gorges tels que les tronçons de Vogüé - Lanas, de Balazuc, de Pradon-Ruoms ou encore la partie située à l'aval de Sampzon présentent en revanche une mosaïque de faible diversité, la plupart des transects n'étant pas représentés.

La comparaison des deux cartes analytiques est expressive et a permis de montrer que l'indice s'est réduit progressivement au cours de la période. Une perte importante de diversité a été observée dans les secteurs alluviaux à l'amont de Vogüé ou au droit de Lanas. La diversité s'est également réduite dans la partie aval du méandre de Chauzon et à l'aval de Sampzon. Cette évolution coïncide étroitement avec une nouvelle emprise progressive de l'homme sur cet espace. L'analyse de la distribution des valeurs de la différence entre H<sub>89</sub> et H<sub>47</sub> sur les transects naturels et les transects anthropisés permet quelques remarques intéressantes (fig. 156). Les plus fortes augmentations de la diversité ont été observées sur les transects naturels. Le dernier décile est de 0,12 pour ceux-ci contre 0,05 seulement pour les autres. Inversement, la perte de diversité la plus caractéristique concerne les transects soumis à anthropisation entre 1947 et 1989. Ainsi la valeur du premier décile est de -0,305 sur ces transects contre -0,256 sur les autres.

L'extraction de granulats au cours des années 1970 est sans aucun doute l'activité qui a le plus contribué à réduire la diversité de la mosaïque en favorisant l'incision et la déconnexion du lit mineur et de ses marges. Celles-ci ont alors été uniformément reboisées par des essences le plus souvent climaciques. En réduisant la bande naturelle parfois au seul lit mouillé de la rivière, l'activité touristique à l'aval de Chauzon est également responsable d'une certaine perte de diversité paysagère.

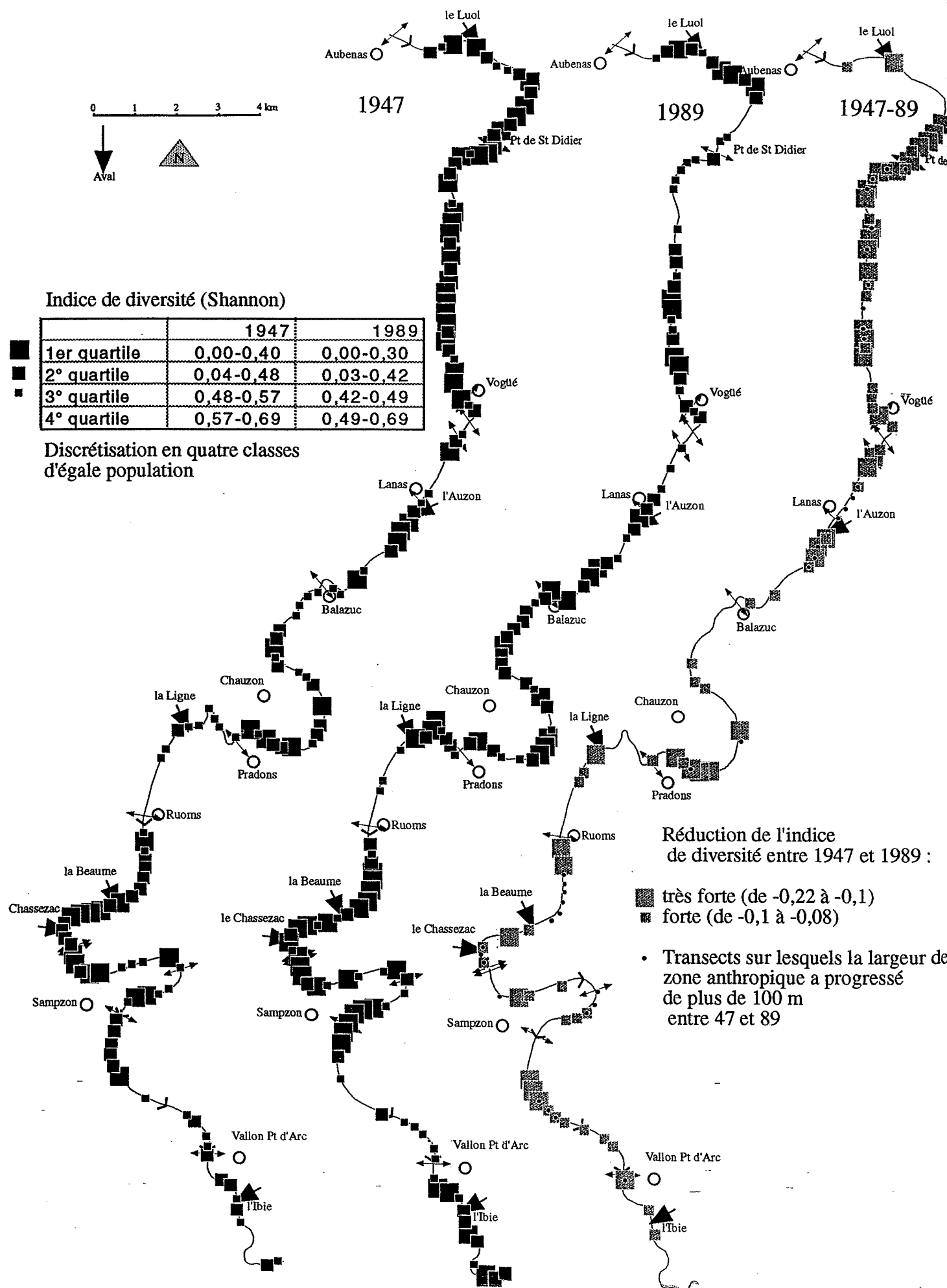


Figure 155 - Evolution de la diversité de la mosaïque fluviale de la moyenne Ardèche entre 1947 et 1989 (d'après l'indice de Shannon).

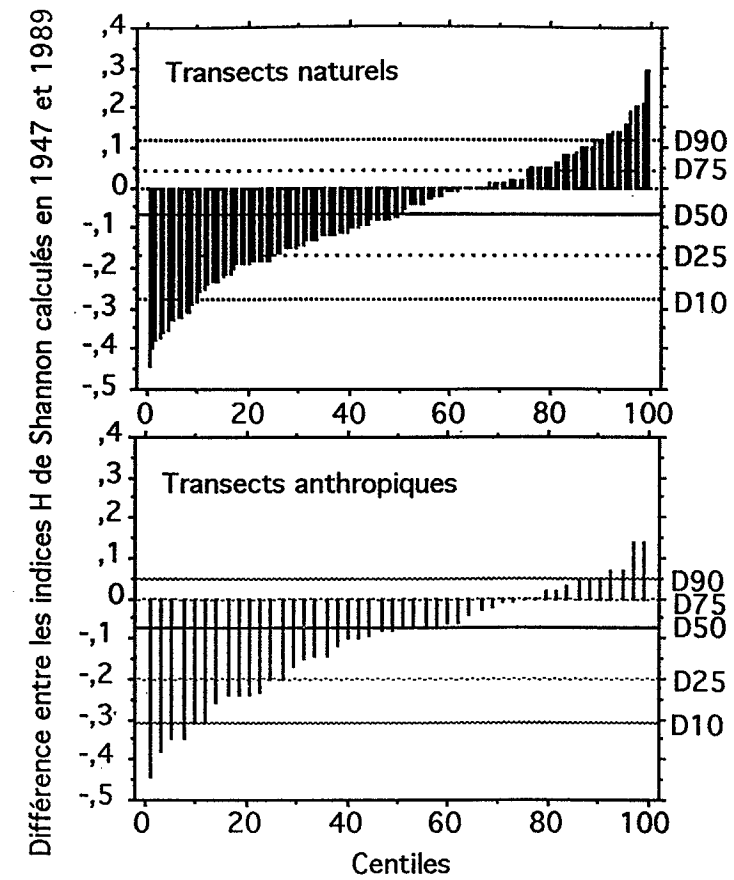


Figure 156 - Evolution comparée de la diversité des transects soumis et non soumis à anthropisation entre 1947 et 1989 sur la moyenne Ardèche.

### 1.2.2 Typologie sectorielle basée sur la diversité des marges ripicoles, d'après une Analyse en Composantes Principales.

Si l'indice de Shannon présente l'avantage d'être facile à calculer et d'être quantitatif, il est en revanche trop synthétique pour permettre une quelconque typologie des secteurs fondée sur la structure de la mosaïque, la part respective des différentes unités. Or, l'intérêt d'une telle typologie a été de mettre en évidence objectivement des secteurs en fonction des principaux traits de leur mosaïque. Définir des tronçons homogènes est intéressant pour la gestion et l'identification des milieux remarquables.

La démarche typologique envisagée a été abordée sur la moyenne Ubaye à partir d'une Analyse en Composantes Principales centrée normée. La typologie repose sur le nombre d'unités présentes sur chacun des transects et l'équilibre relatif qui existe entre elles. Elle a été conduite sur les mosaïques de 1948 et de 1991. L'ACP centrée normée a été retenue dans la mesure où elle permet un résumé de l'information initiale qui passe de quatre (les grands types d'unités) à deux variables (les axes F1 et F2). L'information est donc contenue dans un plan factoriel. La largeur des unités est relative de manière à ce que chaque transect ait le même poids dans l'analyse.

L'axe F1, qui prend en compte l'information maximale, résume les deux variables structurantes que sont la largeur relative de la forêt et la largeur relative de la bande active alors que l'axe F2 porte l'information concernant les largeurs relatives des stades pionniers et de la zone anthropisée (fig. 157). La lecture de l'axe F2 est plus délicate car ses identifiants varient d'une année à l'autre. Les transects, dont la largeur relative des groupements pionniers est remarquable, présentent une valeur négative en 1948 mais positive en 1989. Le

phénomène s'inverse lorsqu'il s'agit de la largeur des milieux anthropisés. Ceci perturbe la lisibilité des deux nuages mais n'altère en rien l'intérêt de la méthode.

La distribution des individus en nodules indépendants permet d'effectuer des regroupements. La discrétisation fondée sur des seuils visuels a permis de déterminer initialement 14 classes mais seulement 8 classes seront finalement cartographiées après quelques regroupements. Ces classes ont été numérotées et correspondent globalement aux mêmes groupements d'un nuage à l'autre ce qui permet de fructueuses comparaisons.

Quatre principaux ensembles ont globalement été identifiés sur les deux nuages factoriels :

- l'ensemble 1 constitue le coeur des nuages et correspond à un équilibre harmonieux entre toutes les unités d'un transect. C'est l'indicateur de la diversité maximale.
- l'ensemble 2 est constitué d'individus gravitant autour de l'ensemble 1. Ces individus se distribuent en noyaux assez bien individualisés. Ils décrivent une diversité assez importante mais l'une des unités du transect est dominante. Il peut s'agir de la forêt (groupe VII), de la bande active (groupe VI) ou de stades pionniers (groupe XI).
- l'ensemble 3 est positionné sur le même anneau mais avec une double dominance de type pionnier - chenal (XIV), forêt - pionnier (XI)...
- l'ensemble 4 est formé des nodules périphériques qui sont donc les moins diversifiés. Ils sont caractérisés par une unité principale, parfois unique, qui peut être la bande active (II), l'homme (V-XIII)...

L'exploitation combinée des deux cartes a permis de formuler quelques remarques intéressantes :

- La moyenne Ubaye est caractérisée par deux tronçons bien individualisés quelle que soit la date retenue. Le premier, situé à l'amont du Bachelard, est dominé par la bande active alors que le second tronçon situé à l'aval, est caractérisé par les unités des marges.
- La diversité maximale a été observée en 1948. L'ensemble 1 est en effet davantage représenté, notamment sur le tronçon torrent du Faucon - pont Long et celui situé à l'aval du Torrent d'Abéous, qui peuvent donc être définis comme les milieux les plus remarquables de la moyenne vallée. Ce constat est d'importance si une politique de préservation souhaite être développée car leur diversité semble s'être aujourd'hui réduite. Ces secteurs intéressants sont ainsi devenus vulnérables. La commune d'Enchastrayes par exemple souhaite activement que la zone de tressage soit réduite. Quant au tronçon aval, il est fortement convoité par les adeptes des sports d'eau vive et risque de pâtir du développement non concerté de trop nombreuses bases de loisir.
- L'émergence d'implantations anthropiques dans la zone traditionnellement concédée à la rivière est également un phénomène caractéristique qui se manifeste visuellement sur la carte de 1991 par l'apparition des classes V, IX, XII et XIII. Un chapelet de petits noyaux d'artificialisation se dessine sur tout le tronçon avec de l'amont vers l'aval, la décharge de Faucon, la zone industrielle de Barcelonnette, la traversée des Thuiles et les aménagements touristiques de la confluence avec le Rioclar... Par ailleurs, la mosaïque de l'Ubaye dans la traversée de Barcelonnette, qui est caractérisée par une diversité minimale et la dominance de l'unité "chenal", forme une entité originale.

Cette méthode typologique permet de définir un nombre de classes plus ou moins étendu. Aussi, en fonction des objectifs fixés au départ, il est souhaitable de ne retenir et de cartographier que les classes qui permettent de les atteindre. La représentation de toute l'information, nécessitant une simplification du nombre des classes, peut en effet conduire à des évidences.

Le calcul de l'indice de Shannon et l'analyse typologique fondée sur une Analyse en Composantes Principales permettent d'apprécier la diversité paysagère de la mosaïque végétale et son évolution. Ils peuvent constituer des outils d'aide à la décision en matière de gestion et surtout de conservation des milieux remarquables. La pertinence de la démarche sera d'autant plus forte que le nombre d'unités distinguées sera élevé.

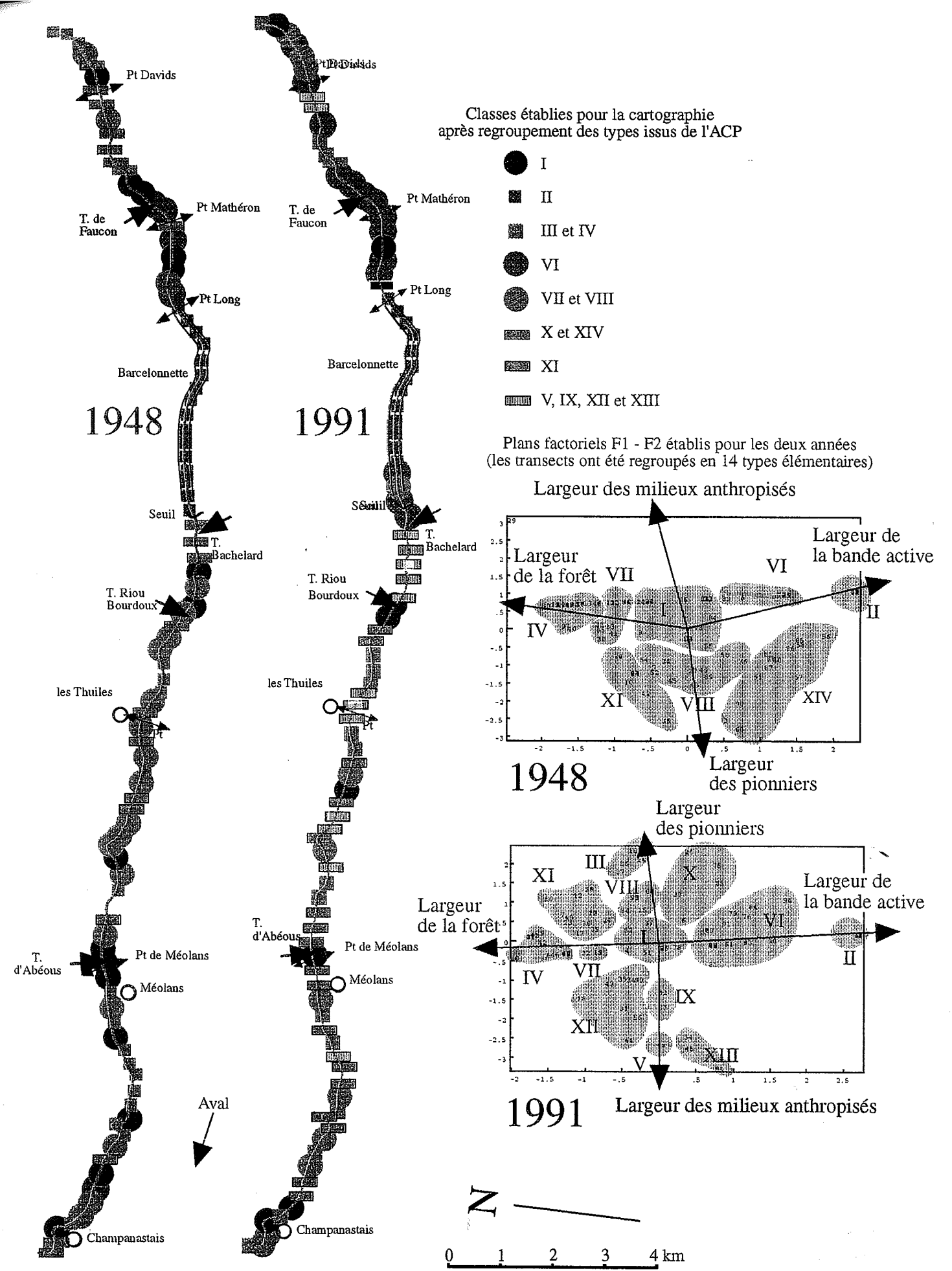


Figure 157 - Sectorisation de la mosaïque de la moyenne Ubaye en 1948 et 1991 en fonction de sa diversité (d'après une Analyse en Composantes Principales normée).

## **2. L'enquête d'opinion, un outil essentiel de gestion**

Pendant longtemps, les gestionnaires des rivières n'ont tenu compte ni du fonctionnement physique ni de l'évolution historique même récente de l'hydrosystème. L'approche, sectorielle, partielle ne laissait aucune place à la concertation, voire au consensus, et conduisait à des conflits d'usages.

La démarche avancée lors des assises nationales de l'Eau en mars 1991 et confirmée par la Loi sur l'Eau de janvier 1992 a validé "l'approche globale" et affirmé que la préservation du milieu naturel était un préalable nécessaire à la satisfaction des usages. Un problème majeur de gestion va ainsi se poser sur les rivières à forte instabilité latérale sur lesquelles l'antagonisme fonctionnement naturel - pression foncière est le plus fort.

En prenant en compte les desseins des propriétaires fonciers de la forêt alluviale (parcelles riveraines de cours d'eau et référencées au cadastre comme des "Bois taillis", "Bois résineux" et "Landes"), l'enquête d'opinion se révèle être un outil de gestion indispensable et conforme à l'approche actuelle qui allie connaissance du milieu et des stratégies d'aménagement - consensus.

L'objectif de l'enquête d'opinion proposée (Annexe II) sera de mieux connaître les intervenants, leurs stratégies foncières et leur opinion sur le fonctionnement écologique et la gestion actuelle et future de leur rivière (Piégay et Lama, sous presse). Elle devrait permettre :

- de préciser nos connaissances en ce qui concerne la gestion des zones potentiellement érodables dans lesquelles l'opposition propriété foncière - fonctionnement naturel risque d'être à l'avenir source de conflits,
- de favoriser indirectement la concertation en offrant la parole aux riverains et en les ouvrant aux nouvelles idées de gestion, l'enquête chez les particuliers permettant des discussions parallèles.

L'étude a été réalisée sur plusieurs rivières afin de mettre en évidence des comportements locaux et généraux dans des contextes économiques et écologiques différents. Les hydrosystèmes étudiés sont caractérisés par une forte énergie et un lit majeur boisé soumis à l'érosion au contact de la bande active. L'érosion de berge est en effet importante et constitue un élément majeur de leur fonctionnement, son existence est donc un indicateur discriminant de l'état de santé du milieu.

L'objet de ce chapitre sera de présenter brièvement une synthèse de la démarche régionale. Celle-ci s'organisera autour de trois thèmes : le propriétaire et son comportement foncier, sa perception du système rivière, les éléments à dégager pour une gestion à long terme des systèmes fluviaux.

### **2.1 Le propriétaire et sa possession**

#### **2.1.1 La sociologie du propriétaire de la forêt**

L'étude reste qualitative puisqu'elle ne porte que sur les propriétaires et ne tient donc pas compte de la superficie détenue par chacun d'eux. Ceci ne constitue cependant pas un problème majeur dans la mesure où rares sont les propriétaires possédant plus de deux parcelles. L'étude cadastrale révèle en outre l'existence d'une propriété privée très différente d'une rivière à l'autre. Le lit majeur boisé de la basse vallée de l'Ain appartient le plus souvent aux communes (plus de 90% de la superficie de la plaine moderne), alors qu'il y a peu de propriétés privées. Sur le Giffre, 50% de la superficie forestière est détenue par les communes et est protégée depuis le début du XX<sup>e</sup> siècle par des digues. Sur l'Ubaye et l'Ardèche, la forêt alluviale est en revanche presque exclusivement aux mains de propriétaires privés. Néanmoins, 89% des personnes interrogées sont des particuliers.

Les propriétaires interrogés habitent majoritairement à proximité de leurs parcelles (fig. 158) : 69%, soit 72 individus, habitent le "secteur", et 18%, soit 19 individus, la vallée. 87% des individus seraient donc sensés

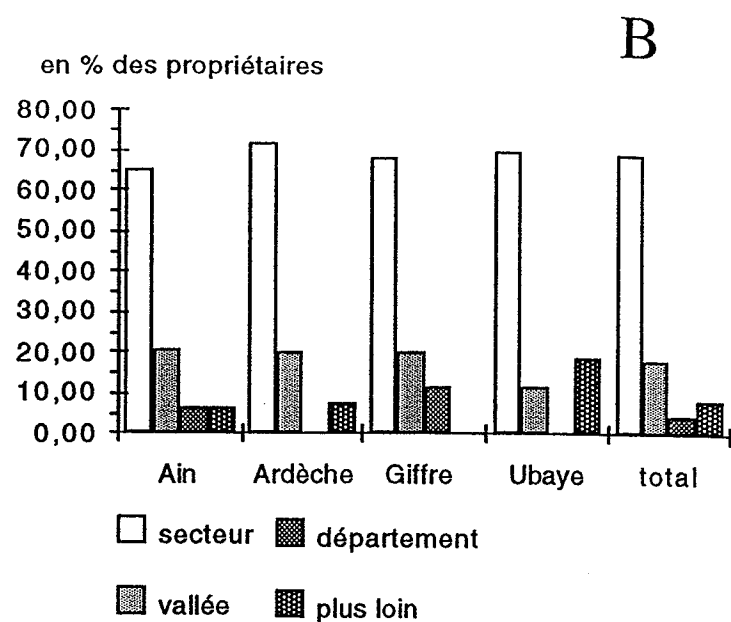
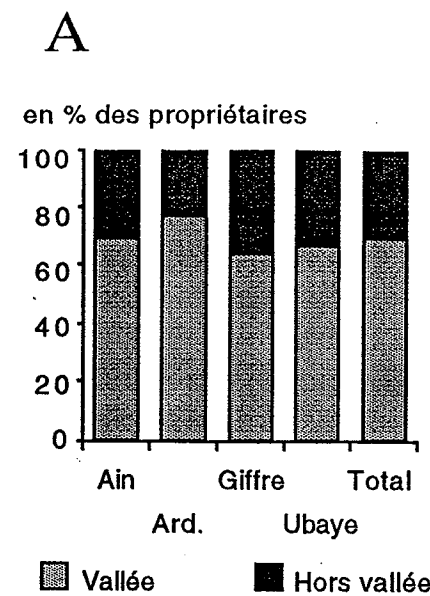


Figure 158 - Lieux d'habitation des propriétaires recensés sur le cadastre (A) ou interrogés lors de l'enquête (B).

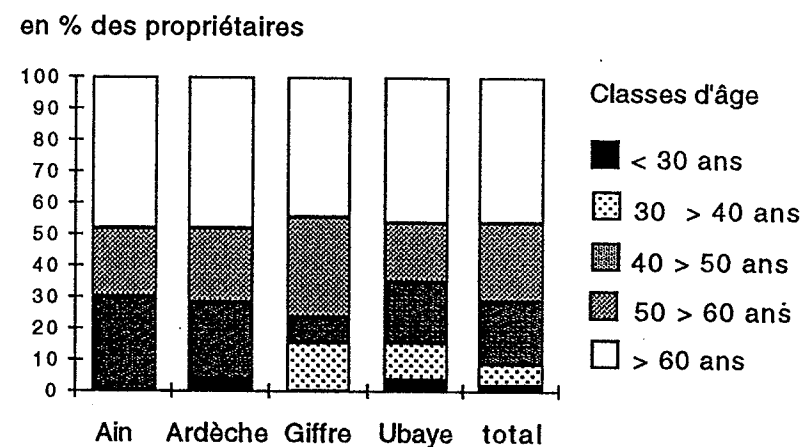


Figure 159- Classes d'âge de la population interrogée.

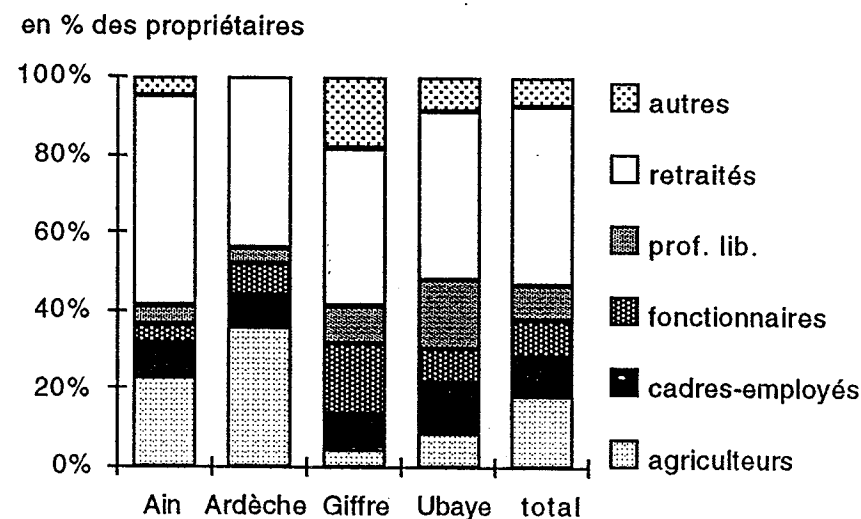


Figure 160 - Catégories socio-professionnelles de la population interrogée.

avoir un lien géographique étroit avec la rivière et connaître son évolution. 9 % seulement des personnes interrogées habitent hors du département concerné. Ce constat général s'applique à toutes les rivières. Néanmoins, les relevés précédant l'enquête, effectués au service du cadastre, montrent que près de 50% des propriétaires n'habitent pas la vallée, mais plus loin dans le département, voire hors du département. 100 propriétaires sur 227, soit 44%, habitent hors de la vallée, alors qu'ils ne constituent que 15% des personnes

interrogées. En effet, parmi les personnes vivant en dehors des zones d'étude et qui ont été jointes par courrier, rares sont celles qui ont répondu au questionnaire.

La population interrogée est plutôt agée (fig. 159) puisque près de la moitié des propriétaires a plus de 60 ans. Une population sensiblement plus jeune a été observée sur le Giffre et l'Ubaye.

Les agriculteurs et les retraités qui sont eux-mêmes le plus souvent d'anciens agriculteurs, détiennent respectivement 19 et 46% de cette propriété. Ce constat est clairement illustré par l'Ardèche et l'Ain. Sur le Giffre et partiellement sur l'Ubaye, le degré de possession des agriculteurs est en revanche sensiblement plus faible alors que celui des commerçants et fonctionnaires est plus fort (fig. 160).

Enfin, la propriété privée constitue d'abord un héritage. 73% des parcelles, voire 85 % sur le Giffre, sont en effet issues d'héritages, seulement 27% des terres étant donc achetées.

## 2.1.2. La perception de sa parcelle

### - Une forêt connue

Les propriétaires connaissent également bien les principales espèces de la forêt alluviale : peuplier et saule sur l'Ain et l'Ardèche; épicéa sur le Giffre; pin sylvestre sur l'Ubaye. Un tiers des personnes est d'ailleurs capable de distinguer plus de cinq espèces. Néanmoins, les analyses montrent que cette connaissance ne dépend ni de l'âge ni de la catégorie socio-professionnelle de la personne interrogée. Il y a ainsi une indépendance statistique entre l'âge de la personne interrogée et le nombre d'espèces qu'elle connaît ( $\chi^2 = 14.45$ , ddf = 20,  $\chi^2 < \chi^2$  obs. avec  $\alpha = 0.01$ ). Une indépendance a également été observée entre le nombre d'espèces connues et la catégorie socio-professionnelle des personnes interrogées ( $\chi^2 = 36.1$ , ddf = 25;  $\chi^2 < \chi^2$  obs. avec  $\alpha = 0.01$ ).

### - Une valeur patrimoniale

Les propriétaires accordent à leur parcelle une importance avant tout affective. Ce bien représente une valeur patrimoniale pour 66% des personnes interrogées (fig. 161). Par ailleurs, 15 individus lui attribuent une valeur écologique. Les risques d'inondation et d'érosion ne permettent pas aux propriétaires de disposer de cet espace comme ils le souhaiteraient et ces marges ripicoles ne présentent plus aujourd'hui une vocation sylvo-pastorale. Leur récent abandon explique, notamment sur les rivières de piémont comme l'Ardèche et l'Ain, que 22% des personnes interrogées n'accordent plus aucune valeur à ces parcelles qui sont exclues aujourd'hui de l'espace économique de la commune. D'ailleurs, seulement 9% des personnes leur attribuent une réelle valeur financière.

## 2.1.3 L'opinion des propriétaires concernant l'érosion et la définition de zones érodables

Les parcelles boisées sélectionnées bordent immédiatement la bande active et sont soumises au risque d'érosion. Si globalement, celle-ci est perçue négativement par plus de 50% des personnes, 15-20 % des gens seulement reconnaissent dans les régions de montagne (Giffre et Ubaye) que ce processus peut être positif contre 35 à 40% dans les régions de piémont (fig. 162).

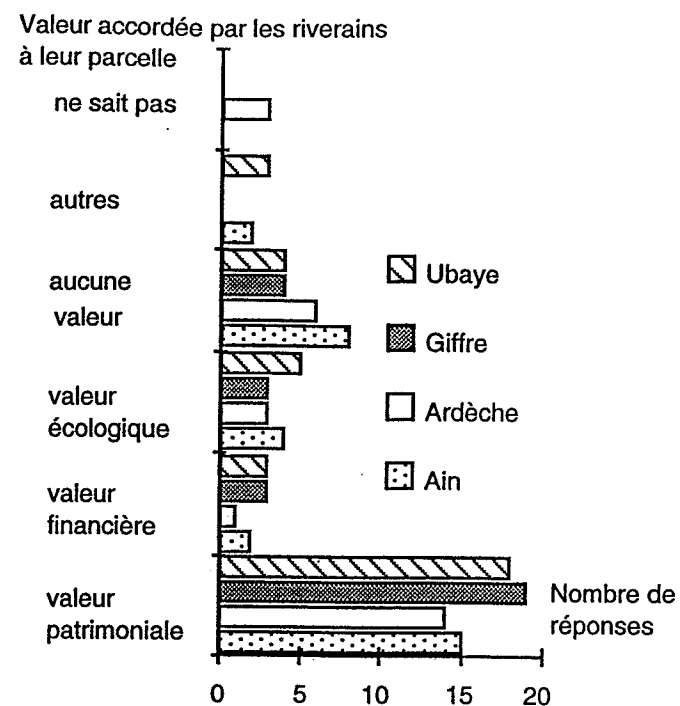


Figure 161 - Valeur accordée par les propriétaires à leur parcelle.

Aussi, le principe de définir des zones potentiellement érodables suscite des avis partagés. Les opinions sont parfois plutôt favorables, notamment sur l'Ain, car le risque a toujours été présent et est accepté. L'opinion est par contre très défavorable sur le Giffre, ce qui confirme les réponses précédentes concernant le risque d'érosion. Les riverains de la rivière d'Ain acceptent le risque d'érosion même sur leurs parcelles, et rares sont ceux qui revendiquent une protection de berges (fig. 163). Les riverains de l'Ardèche acceptent également le principe car le risque a toujours existé. Sur l'Ubaye, la définition de telles zones est déjà beaucoup moins bien acceptée. Sur le Giffre, c'est la demande de protection de berges qui domine, alors que 70% d'entre elles sont déjà endiguées. Il est en effet possible qu'un tel endiguement conduise les propriétaires à considérer la protection comme normale.

Un test d'indépendance a par ailleurs été effectué entre les réponses aux questions "acceptez-vous la définition d'une zone potentiellement érodable?" et "acceptez-vous l'érosion". Une personne en accord avec la notion de zones potentiellement érodables accepte-elle logiquement que la rivière érode sa parcelle? Le test est négatif, il y a donc bien indépendance entre le fait d'accepter une zone potentiellement érodable et celui d'accepter l'érosion (tab. 64). Presque 20% des personnes répondent oui à la première question et non à la seconde. Seules 25% des personnes répondent oui aux deux. La réaction générale semble ainsi incohérente. Les questions ont-elles bien été comprises? Il est effectivement possible de le supposer car la notion de "zones potentiellement érodables" a été rapidement expliquée et les propriétaires ont du se prononcer immédiatement. En revanche, l'érosion est un processus permanent, bien connu des riverains et sur lequel leur opinion est bien établie.

Un test d'indépendance a aussi été effectué entre les réponses aux questions "acceptez-vous la définition d'une zone potentiellement érodable?" et successivement "quel est l'âge ou la catégorie socio-professionnelle du propriétaire?", "quelle est la valeur que les propriétaires attribuent à leur parcelle?", "quel est le type de forêt?" et "quel est le caractère esthétique qu'ils concèdent à la rivière?". L'objectif de la démarche était de tenter de comprendre les mécanismes qui concourent à accepter ou non la notion d'espace de liberté. Tous les tests se sont révélés négatifs. Le fait d'accepter ou non la définition d'une zone potentiellement érodable est en effet indépendant de l'âge ou de la catégorie socio-professionnelle des personnes, de la valeur attribuée à la parcelle ou du type de forêt. D'autres mécanismes sont donc intervenus. La sensibilité écologique des personnes est une variable sans doute importante qui aurait pu être prise en compte.

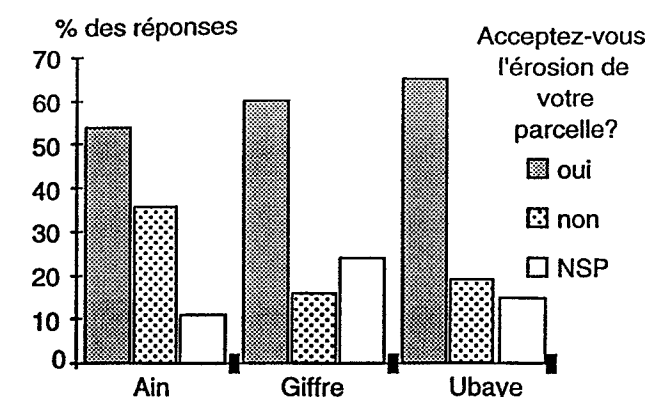


Figure 162 - L'érosion, un phénomène perçu négativement par les riverains.

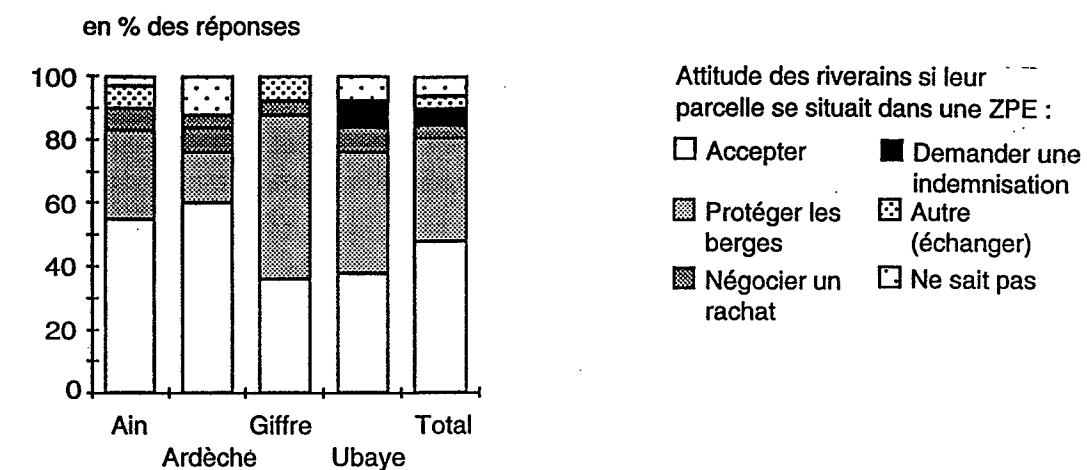


Figure 163 - Attitude des propriétaires riverains si leur parcelle se situait dans un périmètre "zones potentiellement érodables".

S'il a été possible de déterminer et de comprendre des comportements régionaux largement influencés par l'histoire, la prise en compte des opinions individuelles s'est révélée plus pauvre, la réponse de chaque propriétaire dépendant d'une multitude d'éléments à la fois financiers, culturels, affectifs...

Tableau 64 - Accepter ou refuser la définition de zones potentiellement érodables est une attitude complexe. \*

| Zones potentiellement érodables | Erosion | Inondation | Age   | Catégories socio-professionnelles | Valeur de la parcelle | Type de forêt | Considérez-vous votre rivière comme belle? |
|---------------------------------|---------|------------|-------|-----------------------------------|-----------------------|---------------|--|
| degré de lib.                   | 4       | 4          | 8     | 16                                | 16                    | 8             | 4  |
| $\chi^2$                        | 7.3     | 11.8       | 8.6   | 17.6                              | 21.4                  | 9.8           | 9.5  |
| $\chi^2$ observé                | 7.8     | 7.8        | 13.4  | 23.5                              | 23.5                  | 13.4          | 7.8  |
| n                               | 103     | 103        | 105   | 105                               | 103                   | 103           | 103  |
| $\alpha$                        | 0.100   | 0.100      | 0.100 | 0.100                             | 0.100                 | 0.100         | 0.100                                      |

\* Test du  $\chi^2$  entre les réponses à la question "acceptez-vous la notion de ZPE?" et successivement les réponses aux questions "Acceptez-vous l'érosion?", "Acceptez-vous l'inondation?", "Quel âge avez-vous?", "A quelle CSP appartenez-vous?", "Quelle valeur attribuez-vous à votre parcelle?", "Selon vous, quel croquis décrit au mieux votre forêt?" et "Considérez-vous que votre rivière est belle?".

## 2.1.4. L'absence de réelles stratégies foncières

### - Une forêt abandonnée

80% des personnes considèrent que leur parcelle est aujourd'hui à l'état naturel. En revanche, elles ne sont que 30% à affirmer que leur parcelle n'était pas exploitée dans le passé, c'est-à-dire il y a 40 ou 50 ans. L'espace fluvial semble donc avoir été davantage domestiqué dans le passé et même si l'état de la parcelle présente une relative stabilité dans le temps, le passage progressif d'un paysage partiellement occupé, cultivé et entretenu à un paysage forestier relativement naturel a globalement été constaté. Or, plus de deux propriétaires sur trois ne prévoient aucun changement pour l'avenir. Par conséquent, la question "que prévoyez-vous pour l'avenir ?" s'est finalement révélée être un bon indicateur de la pression anthropique potentielle en lit majeur. Une sylviculture plus poussée (28% des réponses) et des objectifs d'aménagements plus lourds à vocation touristique et urbanistique (12%) sont par exemple projetés sur le Giffre.

L'abandon de cette forêt ne semble pas dépendre de ses potentialités économiques. Le type de forêt (lande, taillis, taillis-sous-futaie, futaie) et la cause des coupes sont ainsi indépendants ( $\chi^2 = 11.8$  et  $\chi^2$  obs. = 13 pour  $\alpha = 0.01$ ). Paradoxalement, la futaie est souvent utilisée comme bois de chauffage et aucun de ses propriétaires ne coupe à maturité mais en fonction de leurs besoins. En revanche, une légère dépendance statistique existe entre le type de forêt et la valeur attribuée à la parcelle ( $\chi^2 = 39.5$ ,  $\chi^2$  obs. = 33.2 pour  $\alpha = 0.01$ ). Or, l'intérêt financier n'explique pas cette relation dans la mesure où 91% des propriétaires de futaies n'attribuent pas une valeur financière à leur parcelle. D'ailleurs, ces futaies sont globalement de médiocre qualité. La pessière du Giffre par exemple est perturbée par l'enfoncement de la nappe corrélatif à l'enfoncement de la rivière. Inversement, la proximité de la nappe peut favoriser une croissance trop rapide des essences ce qui est dommageable pour la qualité du bois. Le fait de posséder de la forêt alluviale, même lorsque celle-ci est une futaie, semble donc indépendant d'une réelle stratégie financière. Les peupleraies, dont l'orientation sylviculturale est volontariste, diffèrent sans doute de ce schéma mais le marché actuel est relativement terne.

Par ailleurs, pour 67% des personnes interrogées - 84% sur le Giffre -, la rivière n'a aucun rôle particulier pour l'usage qu'elles ont de la parcelle. Certaines affirment même que le cours d'eau est plutôt un élément négatif alors que d'autres la perçoivent bien comme une ressource, les droits relatifs à l'usage de l'eau étant alors bien connus.

### - Le statut de propriété et le devoir d'entretien

La propriété du lit et des berges (fig. 164) est parfaitement connue des riverains des rivières non domaniales (tronçons étudiés du Giffre, de l'Ubaye et de l'Ardèche). Lorsque la propriété est publique, les populations locales sont moins sûres de leur réponse. Néanmoins, comme sur l'Ain, elles savent que cette propriété n'est pas privée.

Globalement les propriétaires sont conscients de leur charge d'entretien des berges au droit des parcelles (fig. 165). Si ce devoir est bien connu sur l'Ardèche ou le Giffre, il se révèle en revanche oublié sur l'Ubaye (35% seulement de bonnes réponses) alors que sur le Giffre et l'Ain, ce devoir est souvent reconnu comme un devoir communal. Aussi, l'idée que "les riverains ont oublié leur devoir" est à nuancer et à régionaliser. Ils semblent souvent le connaître mais ne l'accomplissent pas. Inversement, sur l'Ardèche, le taux plus élevé de bonnes réponses peut s'expliquer par une obligation récente d'entretien exigée par la DDA au début des années 1980 et signalée par certaines personnes interrogées.

Il existe une bonne adéquation entre les réponses aux questions "qui est chargé d'entretenir les berges?" et "qui est le propriétaire du lit et des berges?". Le test du  $\chi^2$  rejette l'indépendance des deux variables ( $\chi^2 = 44.27$ , ddl = 15 pour  $\alpha = 0.01$  et  $T = 33\%$ ). Pour 51.5 % des personnes interrogées, l'entretien doit ainsi être conduit par le riverain, qu'il s'agisse de l'Etat ou de particuliers. Aussi, les propriétaires ne semblent pas avoir oublié leur devoir. Consciemment, ils ne le font plus. Néanmoins, ces résultats sont à nuancer car les associations riverain-propriétaire et Etat-propriétaire ne participent qu'à 7% du  $\chi^2$  contre 22% pour l'association "ne sait pas"- "ne sait pas".

Le fait de connaître le responsable de l'entretien est par ailleurs indépendant de l'âge ( $\chi^2 = 13.2$  et ddl = 20;  $\chi^2 < \chi^2$  obs. avec  $\alpha = 0.01$ ) et de la catégorie socio-professionnelle ( $\chi^2 = 23.7$  et ddl = 40;  $\chi^2 < \chi^2$  obs. avec  $\alpha = 0.01$ ) du propriétaire. Une fois encore, la disparité des opinions individuelles ne peut être appréciée à travers les seules variables d'âge et de profession. Des a priori comme "l'agriculteur ou la personne âgée connaissent sans doute mieux la rivière que les autres riverains" ont largement été écartés, le vécu et l'affinité écologique ou régionale de chaque personne étant sans doute davantage à prendre en compte.

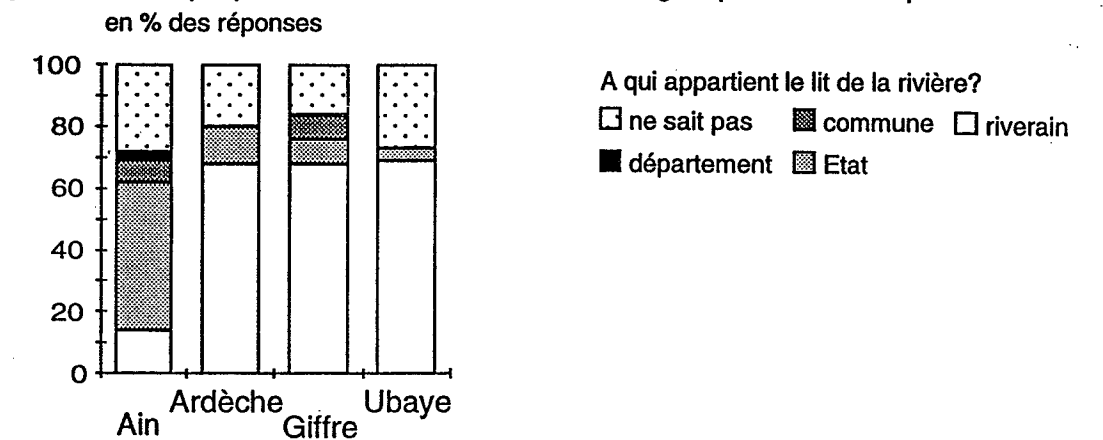


Figure 164 - Un lit mineur d'abord perçu comme un espace privé.

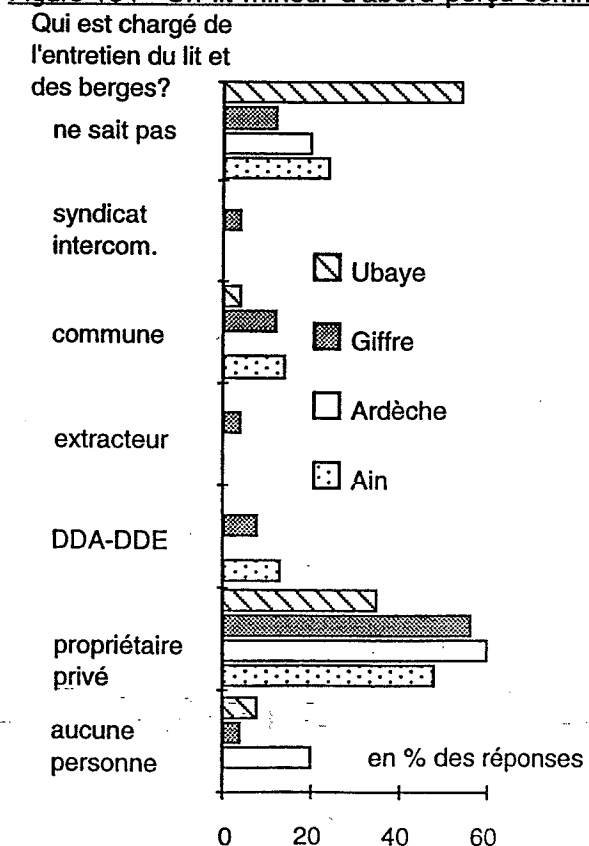


Figure 165 - L'entretien de la berge au droit des parcelles est perçu comme un devoir du riverain.



## 2.2 La perception du système-rivière

Le niveau de connaissances des riverains concernant l'écologie et la gestion du système-rivière, permet une régionalisation des comportements.

Trois cas-types ont été mis en évidence.

### **2.2.1. La rivière, une inconnue.**

Une méconnaissance du système-rivière a été constatée sur l'Ubaye. L'espace concédé à la rivière est perçu de manière restrictive ("le lit où coule l'eau") et la forêt fait figure de rideau de protection. Parallèlement, le statut de la rivière, l'appartenance de l'eau, le responsable de l'entretien ou de la gestion de la rivière ne sont pas connus. L'introduction du tourisme est en outre mal perçue par les riverains alors que le schéma d'aménagement (Cémagref *et al.*, 1993) laisse entendre que celui-ci sera l'activité motrice des années 1990. Aussi, gérer la rivière, ce sera d'abord pour les personnes interrogées régler le tourisme. Si les aménagements touristiques lourds sont refusés par 2/3 des personnes, l'idée de tracer des sentiers est tout juste acceptée. Enfin, selon elles, aucun organisme ne serait susceptible de gérer convenablement le développement touristique.

### **2.2.2. La rivière, un ennemi ancestral**

Le Giffre serait plutôt l'ennemi historique des hommes de la vallée. Il est considéré comme beau, sa forêt est intéressante d'un point de vue paysager mais une place minimale lui est concédée (la rivière, c'est d'abord le lit mouillé) et la forêt est perçue comme un corridor de sécurité où l'érosion n'est pas tolérée. C'est pourquoi, la zone potentiellement érodable est une notion largement rejetée. Plutôt que d'accepter l'érosion, revendiquer une protection serait la principale action envisagée par la plupart des riverains. Aménager, anthropiser cet espace est finalement la finalité, le tourisme comme moteur du développement conduisant inéluctablement au grignotage du corridor.

Inversement, les devoirs du propriétaire sont connus mais ne sont pas accomplis. Selon les personnes interrogées, l'entretien devrait plutôt être entrepris par les gestionnaires au même titre que la lutte contre l'érosion de berges et les crues.

Dans cette région, la lutte séculaire contre la rivière semble avoir fortement marqué les populations qui restreignent la rivière à un espace le plus étroit possible. Ce constat de l'histoire est amplifié par le développement touristique récent et avide d'espaces relativement plats et proches des villages. L'évolution historique conduit donc inévitablement à une rivière rectiligne et incisée compte-tenu des nouveaux équilibres dynamiques. Paradoxalement, cette incision est soulignée à regret par les riverains.

### **2.2.3. La rivière, un partenaire**

Sur l'Ain ou l'Ardèche, la rivière est davantage considérée dans son intégralité. L'espace rivière s'étend au-delà de la bande active et intègre une partie de la forêt. Bien sûr, la vision "rideau protecteur" est encore présente mais la vision écologique est davantage esquissée, les constats faunistiques étant par exemple plus nombreux. Aussi, le risque d'érosion est assez bien accepté car il a toujours été présent et la définition d'une zone potentiellement érodable ne changerait donc pas grand chose. Néanmoins, cette attitude est volontaire. Ce n'est pas un signe d'abandon face à la renaturation car de nombreux éléments montrent que la rivière est mieux connue des populations que dans d'autres régions. Sur l'Ain, le statut juridique est connu, comme la propriété de l'eau, voire même la Loi sur l'Eau. Par ailleurs, la proximité de Lyon et la pêche sportive sont également des éléments qui pourraient expliquer une plus grande connaissance de la rivière; leur importance a

déjà été avancée lors d'une étude des conflits qui ont eu lieu au moment de la phase préparatoire à l'aménagement du barrage de Loyettes (Michelot, 1990b). Sur l'Ardèche, beaucoup savent qu'ils doivent entretenir la berge et connaissent le Syndicat Intercommunal de la Vallée de l'Ardèche (ou SIVA). D'ailleurs le pourcentage de berges protégées est encore faible. Il semble qu'ici les populations vivent en meilleure harmonie avec des rivières par ailleurs dangereuses. Celles-ci ont été utilisées dans le passé et cette présence séculaire de la population dans le lit de la rivière fait qu'elle connaît bien ses réactions et qu'elle s'y est adaptée. Cette vision idyllique est cependant à nuancer car :

- sur l'Ain, la pression anthropique est encore faible et les endiguements existants destinés à protéger les infrastructures touristiques riveraines pourraient se multiplier à court terme. De plus, la prise de conscience peut n'être liée qu'aux efforts des services de l'Etat qui ont diffusé depuis 1989, notamment auprès des élus dans le cadre de l'étude globale, les nouvelles démarches de gestion .

- sur l'Ardèche, le développement inconsidéré des campings en bord de rivière et les récentes crues des automnes 1992 et 1993 poussent certains élus à conserver, voire à favoriser, un lit incisé. Aussi, les habitants de la vallée ne sont plus en mesure aujourd'hui d'accepter des hauteurs et des durées de crue semblables à celles observées dans le passé. La vision stratégique des collectivités locales et la vision patrimoniale des propriétaires tendent ainsi à diverger.

## 2.3. Quels éléments dégager pour la gestion des systèmes fluviaux ?

### **2.3.1. La nécessité de diffuser l'information**

Les personnes impliquées comme propriétaires dans la gestion des rivières semblent méconnaître le fonctionnement écologique du système et les devoirs de chaque intervenant (Etat, communes ou particuliers). Une diffusion des principes élémentaires de l'écologie est aussi à promouvoir. Les connaissances de la population en la matière se résument actuellement à quelques données faunistiques. Il est donc nécessaire de travailler sur la perception encore trop anthropocentrique du milieu, de son fonctionnement et de sa beauté, sur la perception de la dynamique spatiale et temporelle des groupements végétaux et de leur environnement. Les connexions internes et la variabilité des hydrosystèmes doivent être perçues comme des garants de leur équilibre sanitaire.

Par conséquent, une démarche d'information doit être intégrée aux démarches préalables à l'élaboration des SAGE. Cette information doit toucher les particuliers mais aussi les collectivités. Il est intéressant de souligner la réaction opposée des élus de l'Ubaye et de l'Ain. Les premiers semblent méconnaître les règles élémentaires de gestion des rivières (statut de la rivière, gestionnaires...) alors que les seconds font volontiers référence aux discussions qui ont eu lieu lors de l'étude globale, à des données d'ordre écologique.

Cette diffusion de l'information est effective auprès des collectivités par le biais de documents écrits (revues spécialisées, journal officiel...). Des réunions d'information pourraient être proposées également en préalable aux SAGE. Les thèmes devraient être centrés bien sûr sur les mécanismes institutionnels de mise en place et de fonctionnement de ces outils de planification mais aussi sur la nouvelle place du milieu naturel, de sa préservation et de son fonctionnement dans la gestion des rivières à la suite des principes énoncés dans la loi sur l'Eau.

### **2.3.2 Un régionalisme puissant à considérer**

Il semble ainsi clairement établi que le comportement actuel des populations vis-à-vis de l'espace de la rivière est très différent d'une région à l'autre. La perception écogéographique de la rivière, la connaissance de son évolution dans le temps et de ses gestionnaires varient non seulement selon les individus mais aussi selon les régions. Deux grands groupes régionaux ont été distingués selon leur spécificité comportementale. Sur

l'Ardèche et l'Ain, le nombre de parcelles achetées est plus important. La notion patrimoniale se perd et beaucoup de propriétaires n'attribuent plus de valeur à ces espaces. Sur le Giffre et l'Ubaye, les propriétaires sont plus jeunes, vivent davantage à l'extérieur de la vallée et ont perdu le lien direct et quotidien avec la terre (ce sont des cadres et des fonctionnaires). Pourtant, la valeur patrimoniale reste profondément ancrée. Le Giffre, dont la forêt est potentiellement plus intéressante fait exception. Cette différence est d'ailleurs fortement marquée car c'est seulement dans cette vallée que l'on observe :

- une volonté affirmée de domestiquer le lit majeur (sylviculture, tourisme),
- un refus de l'érosion ou de l'inondation... du lit majeur,
- l'idée que la rivière ne joue aucun rôle pour l'usage que l'on fait de la parcelle,
- l'idée que la rivière n'est pas très belle car elle a été dégradée, l'enfoncement du lit mineur consécutif aux extractions massives des années 1970 pouvant dépasser 4 m.

Cette différence majeure de perception s'explique peut être par la relation ancestrale que les habitants de la vallée ont tissé avec leur rivière. Dans le premier cas, celle-ci est considérée comme une amie malgré son caractère dangereux. Les liens historiques semblent en effet forts sur les rivières de piémont. Sur l'Ain ou l'Ardèche, les communautés rurales traditionnelles ont longtemps vécu en symbiose avec leur rivière, le lit majeur étant un terroir utilisé et intégré au système agro-pastoral. Dans le second cas, la rivière est plutôt considérée comme un ennemi car la surface agricole vitale a du être historiquement préservée des atteintes de la rivière. Cette attitude semble exister dans des secteurs plus "exigus", intramontagnards tels que la vallée de l'Ubaye ou la vallée du Giffre. Ici, la surface agricole est modeste et ne peut s'étendre qu'aux dépens du lit majeur. Sur le Giffre ou l'Ubaye, la relation homme / cours d'eau est une lutte incessante. Sa maîtrise a nécessité par la constitution d'une forêt de protection ancienne, d'un rideau marquant une rupture visuelle et fonctionnelle, la rivière et l'espace rivière ne s'inscrivant que secondairement dans l'agro-système traditionnel. Aussi, le comportement actuel des sociétés riveraines semble tenir compte de l'histoire des relations rivière / riverains et est conditionné par des attitudes et des perceptions mentales héritées. Or, ces comportements actuels hérités du passé se développent sur un milieu physique et biologique métamorphosé. Cette métamorphose fluviale serait ainsi un mouvement pluridécennal qui se serait montré plus rapide que la "métamorphose sociale". En milieu anthropisé, ce décalage temporel ne pose pas de problème lorsque la relation homme-rivière est une symbiose. Il en est tout autrement si cette relation est conflictuelle.

### 2.3.3. Une possible définition consensuelle de zones érodables

Les résultats de l'enquête laissent présager une possible délimitation de zones érodables c'est-à-dire une gestion possible de l'espace de la rivière tenant compte de la variabilité spatiale du système. En effet, la propriété foncière en lit majeur est d'abord un héritage familial et sa valeur foncière, voire financière, est de l'ordre du passé. Alors que le système agro-pastoral qui a créé ces limites n'est plus, celles-ci se sont pérennisées; le parcellaire en lit majeur observé sur le cadastre de 1830 à Chauzon sur l'Ardèche est d'ailleurs sensiblement le même qu'aujourd'hui. Dès lors, la propriété est perçue actuellement comme un patrimoine que les personnes se refusent à vendre tout en acceptant de le voir disparaître sous l'action de l'érosion comme cela l'a toujours été.

Le fait d'accepter l'idée de définir des zones potentiellement érodables n'est lié ni à l'âge ou à la catégorie socio-professionnelle ni à la valeur financière de la parcelle. Selon les personnes interrogées, la définition de telles zones devrait être conduite par les services de l'Etat ou le syndicat intercommunal existant. Elle passe donc selon les riverains par des organes traditionnels et dépasse la seule compétence de la commune. La nécessité d'une gestion supracommunale est ainsi consciemment perçue.

Cette possible définition est néanmoins soumise à deux conditions importantes :

- 30% des propriétaires sont contre et 30% ne se prononcent pas. Cette réalité nécessite une phase laborieuse de concertation dont on sait par ailleurs qu'elle peut être décisive. 65% des personnes acceptent l'idée de zones potentiellement érodables sur l'Ain après les études préalables de 1990.

- Compte-tenu de l'importance patrimoniale de la propriété, il semble difficile de concevoir un projet basé sur un rachat exhaustif des terrains. Une démarche à intervention multiple doit être trouvée dans laquelle un rachat est possible au même titre que la conservation de la propriété assortie néanmoins de restrictions, notamment sylviculturales. Un fond d'indemnisation peut être également constitué afin de dédommager les propriétaires qui perdraient leurs terrains au fur et à mesure du recul des berges.

Une enquête a été réalisée auprès des agriculteurs et des propriétaires riverains afin de préciser l'utilisation actuelle des terrains bordant la Dordogne et de faire ressortir les grandes tendances par rapport à un projet de zone tampon (Roqueplo, 1992). Globalement, peu de riverains sont opposés à la reconstitution d'une ripisylve; seuls font exception les agriculteurs céréaliers et les maraîchers.

Néanmoins, la préservation du fonctionnement de certaines rivières, entreprise avec la définition de zones potentiellement érodables, peut se trouver en opposition avec une dynamique locale récente d'anthropisation du lit majeur. Ceci est le cas des rivières à vocation touristique. La question est alors de savoir quelle stratégie développer pour convaincre les habitants et les élus soucieux d'un développement rapide et géré à court terme, des bienfaits d'une gestion intégrée développée à long terme. Les arguments sont d'autant plus frêles que la conception de la beauté naturelle du milieu est souvent imbibée ici de notions anthropocentriques : la forêt est belle lorsqu'elle est propre, entretenue et la bande de tressage en galets est considérée comme répulsive. Abiotique, elle ne fait pas place à la vie et la forêt lui est préférée... alors qu'elle ferme le paysage, l'horizon. En effet, dans ces régions, le paysage acquiert sa beauté lors de sa domestication.

Un second risque de conflits est également à gérer. Quelle réaction l'agriculteur peut-il avoir si certaines de ses parcelles, cultivées mais en lit majeur, sont intégrées dans la zone potentiellement érodable? Lors de l'enquête, il est clair que la position de certains propriétaires agriculteurs différerait selon la nature de la parcelle. En d'autres termes, s'ils acceptent bien de voir la forêt disparaître sous l'effet de l'érosion, l'opposition est vivace lorsqu'il s'agit de parcelles agricoles. Bien que ce problème soit mineur du fait de la faible superficie agricole concernée, il reste d'une grande importance au niveau humain.

Compte-tenu de l'ensemble des observations effectuées lors de l'enquête, il apparaît nécessaire de conduire systématiquement une étude sociologique auprès des propriétaires du lit majeur des rivières en préalable à toute définition d'un zonage de type "zones potentiellement érodables". La démarche doit être conduite au cas par cas en fonction du type de rivière et des comportements actuels et hérités des possédants.

Elle doit permettre d'identifier les intervenants fonciers et les conflits potentiels tout en préparant une concertation qui sera d'une grande utilité lors de la phase réglementaire

Au delà du diagnostic du fonctionnement et de la diversité des hydrosystèmes forestiers et de la prise en compte de l'opinion des riverains, il convient d'aborder le problème spécifique des interventions à promouvoir notamment en matière d'entretien.

### 3. L'entretien de la végétation : préconiser une gestion sectorisée

La jeunesse relative des hydrosystèmes forestiers, la mise en évidence de leurs processus naturels, de leur intérêt économique et le souci de préserver le milieu et son fonctionnement conduisent à proposer de nouvelles orientations en matière de gestion de la végétation.

Cette approche récente, en désaccord partiel avec l'approche traditionnelle, doit néanmoins respecter la législation en vigueur ce qui impose des compromis lors de son application.

Des démarches ont déjà été lancées sur deux rivières : le Haut Roubion dans la Drôme et l'Argens dans le Var.

### 3.1 Les fondements de la proposition

L'entretien n'est pas une action anodine. L'intérêt écologique des embâcles a ainsi été montré. Par ailleurs, le nettoyage de la rivière n'est pas toujours la solution la mieux adaptée lorsqu'il s'agit de gérer l'inondation. En augmentant la capacité d'écoulement, l'entretien peut favoriser une accélération de la concentration des eaux dans le chenal principal et accroître l'inondation vers l'aval. Ce problème s'est notamment posé sur certains cours d'eau de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur comme la Brague dans les Alpes-Maritimes (communication orale d'un instructeur de la délégation de l'Agence de l'Eau à Marseille).

L'idée est ainsi de tempérer l'action d'entretien lorsque celle-ci est envisagée et de réfléchir sur son bien-fondé en tenant compte des spécificités du cours d'eau sur lequel une intervention est souhaitée. Dans cette perspective, le non entretien peut être préconisé sans pour cela signifier un désintérêt et l'abandon de la rivière.

Le non entretien contrôlé peut être une réelle stratégie de gestion. L'importance du technicien de rivière dans ce type d'approche est alors fondamentale compte tenu d'un nécessaire suivi.

De même, il apparaît impératif de définir quels sont les éléments indésirables qu'une opération d'entretien se doit d'enlever. Une distinction fondamentale entre les débris d'origine humaine et les débris ligneux doit être faite. Si les premiers doivent être retirés systématiquement, ce n'est pas le cas des seconds.

Compte tenu de toutes ces remarques, l'enlèvement des débris ligneux ne doit pas être conduit partout. Il est possible de considérer qu'il est :

- nécessaire lorsque le risque d'inondation des terrains riverains est humainement et économiquement élevé, que la destruction d'ouvrages est reconnue ou lorsque la rivière représente un potentiel touristique et paysager. Le jardinage de la végétation riveraine est ainsi une politique de gestion tout à fait judicieuse des rivières péri-urbaines.

- inutile, voire non recommandé, lorsque l'objectif recherché est une optimisation écologique. Une réhabilitation piscicole peut ainsi préconiser le maintien d'embâcles de bois. Ce phénomène n'est ni original ni précurseur. Des opérations ont déjà été décrites aux Etats-Unis. A. Brookes (1988) fait référence aux travaux de T.E. Lisle (1981) à Jacoby Creek. Ce dernier montre qu'un embâcle mobile et situé au centre du chenal, formé d'une souche et de débris associés, n'a pas été détruit lors de l'entretien de la rivière mais simplement déplacé et stabilisé en bord de berge afin de jouer un rôle écologique optimal.

- partiel et réfléchi quand les gestionnaires de la rivière recherchent un équilibre entre les usages et la préservation du milieu ou quand l'enveloppe financière disponible est inférieure aux coûts des objectifs initiaux.

Cette dernière observation est très importante car l'entretien d'un cours d'eau représente un coût de l'ordre de 5 000 à 15 000 francs/km en zone rurale (Ministère de l'Environnement, 1985). La restauration de la capacité d'écoulement est plus chère encore puisqu'un déboussaillement (débroussaillage, élagage...) représente un coût voisin de 30 000 à 60 000 francs/ha.

Une estimation financière très simple montre qu'une politique d'entretien largement développée est difficilement préconisable et qu'il est nécessaire de concentrer notre action sur les tronçons sur lesquels les implantations humaines sont les plus vulnérables.

Un coût moyen d'entretien de 10 000 francs/km sur la moitié seulement des rivières du bassin Rhône-Méditerranée-Corse (23,6% de la superficie nationale), nécessite en effet une enveloppe financière, reconduite tous les 10 ans environ, de :

50 000 km \* 10 000 frcs = 500 millions de francs,

soit 50 millions par an ce qui dépasse largement la somme de 5,5 millions de francs sur 10 ans proposée par le gouvernement le 24 janvier 1994 pour mener à bien cette tâche sur l'ensemble du territoire français. Ceci représente en outre 1,2 fois le budget de l'Agence de l'Eau RMC en matière de restauration de rivière alors que celle-ci subventionne actuellement l'entretien à hauteur de 5 millions de francs par an.

### 3.2 Exemple de son application

Le jardinage systématique de la ripisylve tel qu'il est proposé aujourd'hui est donc remis en question au profit d'une gestion plus souple (Piégay *et al.*, 1994a). L'entretien de la végétation doit être sectorisé, spatialisé en fonction du degré d'emprise humaine. Entretenir c'est offrir aux populations riveraines un espace de loisir attrayant, ouvert et "propre", naturel mais humain. Entretenir, c'est aussi préserver une capacité d'écoulement suffisante pour évacuer les crues.

Suite à la crue du Haut Roubion de septembre 1993, une stratégie de gestion spatiale de la végétation a été proposée et trois types de tronçons ont été identifiés :

- Le premier, écologiquement riche et peu soumis à la pression d'aménagement, ne sera pas entretenu. Cette démarche de non intervention contrôlée a également été conduite sur certains tronçons de la rivière Argens.

- Le second est occupé par des ouvrages ou des aménagements à préserver. Un entretien sévère de la végétation sera effectué sur une longueur de 200 m environ à l'amont de chaque ouvrage ce qui permettra d'augmenter localement la section d'écoulement et servira de piège potentiel aux ligneux en transit avant qu'ils ne forment un embâcle au niveau de l'ouvrage lui-même.

- Sur le dernier type de tronçon (l'essentiel du cours), l'intervention sera plus souple. Au fur et à mesure de l'éloignement des zones à risque, la largeur à entretenir sera progressivement réduite et finalement l'entretien se limitera à l'enlèvement des principaux troncs bloquant l'écoulement.

Cette démarche permet de conserver des secteurs en renaturation, écologiquement complexes et diversifiés, de sélectionner les sites où l'intervention est prioritaire afin de lutter plus efficacement contre le risque d'inondation. Cette approche est économiquement et stratégiquement nécessaire lorsque l'on sait que la déprise rurale en cours conduit à un abandon croissant des espaces agricoles riverains voués à terme à un reboisement.

### 3.3 Non entretien contrôlé de la végétation et législation française

Le non entretien, même lorsqu'il est contrôlé, est une politique qui peut paraître en contradiction avec la législation actuelle de lutte contre l'inondation.

En France, cette action a en effet été largement mise en avant car 4% du territoire se situe en zone inondable et le problème touche 7 500 communes, les dégâts annuels étant estimés entre 1 et 2 milliards de francs. A la suite des catastrophes récentes, la promotion de l'entretien et de la restauration de la capacité d'écoulement est devenue un axe directeur de la politique du gouvernement en matière de lutte contre les inondations. La circulaire du 24 janvier 1994 relative à la prévention des inondations et à la gestion des zones inondables a annoncé par exemple une subvention de l'Etat de 10 millions de francs sur 10 ans. 5,5 millions seraient utilisés pour restaurer la capacité d'écoulement et 3,9 millions seraient destinés à la protection des lieux habités. Le gouvernement a annoncé en outre la mise en place prochaine d'une nouvelle procédure plus simple, plus rapide et plus complète de gestion de l'inondation, le Plan de Prévention des Risques (PPR). Fusionnant les

trois procédures qui existent aujourd'hui (GRAIE, inédit), ce plan devrait être plus souple, modulable et donner la priorité aux mesures de prévention.

Par ailleurs, il faut admettre qu'un défaut d'entretien sur de nombreux cours d'eau domestiques non domaniaux est à déplorer. L'obligation faite aux riverains d'entretenir est en effet de moins en moins respectée car l'Etat n'intervient pas pour ordonner son exécution et n'utilise jamais tous les moyens de sanction dont il dispose. Comme le coût de l'entretien ne se trouve plus compensé par un usage particulier et que son produit n'est plus utilisé, le riverain ne comprend pas pourquoi il devrait entretenir un milieu dont la dégradation est due à un ensemble de facteurs qui lui échappent.

Il existe en matière de gestion des inondations un important arsenal juridique destiné à prévenir le risque. L'entretien et la restauration de la capacité d'écoulement reposent ainsi sur une ancienne légitimité juridique. Le bois mort entravant le libre écoulement des eaux a longtemps été perçu comme un risque potentiel.

Le nettoyage systématique, par ailleurs prôné par les services de l'Etat, s'appuie sur l'article 103 du code rural repris de l'article 8 de la Loi de 1898 (Denozière, 1985) et qui précise que sur les cours d'eau non domaniaux :

*"l'autorité administrative prend toutes dispositions pour assurer le libre cours des eaux".*

L'article 103 est aujourd'hui obsolète, son application étant définie par l'article 106 du code rural qui a été abrogé au profit de deux décrets "police des eaux" du 29 mars 1993 pris en application de l'article 10 de la loi sur l'Eau. Or ces décrets font uniquement référence à des "installations, ouvrages, travaux ou activités" c'est-à-dire à des causes d'origine anthropique. Cette observation est bien confirmée par ailleurs par l'article 2 de la loi sur l'eau qui affirme :

*"...Cette gestion équilibrée vise à assurer la préservation des écosystèmes aquatiques... de manière à satisfaire ou à concilier, lors des différents usages, activités ou travaux, les exigences ... de la conservation et du libre écoulement des eaux et de la protection contre les inondations".*

L'article L131-2 du code des communes indique en outre que le maire doit prendre :

*"Le soin de prévenir par des précautions convenables... les accidents et les fléaux calamiteux... tels que les inondations, les ruptures de digues..."*

Le maire est donc également autorisé à entreprendre la restauration d'un cours d'eau dans la mesure où il constitue un risque pour la sécurité publique en cas d'inondation. Néanmoins, ceci est une restriction de liberté et la police est considérée comme l'exception. De telles mesures sont ainsi difficiles à généraliser.

Dans les cours d'eau domaniaux et non domaniaux, le riverain est en outre soumis à une obligation d'entretien régulier du lit et des berges lui appartenant. L'entretien est donc un devoir des propriétaires comme le précise l'article L.232-1 du code rural :

*"Le propriétaire riverain, donc propriétaire du droit de pêche, doit effectuer les travaux d'entretien nécessaire au maintien de la vie aquatique dans le lit et sur les berges".*

Néanmoins cette obligation est fondée sur la nécessité de conserver non pas le libre écoulement des eaux mais le potentiel piscicole. La Loi Pêche du 29 juin 1984 confirme cette obligation faite aux riverains d'entretenir et réaffirme l'importance de l'entretien pour le bon fonctionnement de la vie aquatique. (GRAIE, inédit). Les récents résultats acquis concernant ce fonctionnement imposent pourtant quelques nuances.

Aucune obligation d'entretien ne pèse donc en permanence sur les riverains et l'enlèvement des embâcles ne peut leur être imposé que si :

- il est démontré qu'il est nécessaire à la préservation du patrimoine piscicole et des milieux aquatiques,
- il est nécessaire pour prévenir les inondations.

Laisser le bois mort dans la rivière même s'il entrave le libre écoulement n'est donc pas un problème quand il se situe dans un champ d'inondation. En même temps que la conservation de la capacité d'écoulement, l'Etat préconise d'ailleurs le maintien de bassins de rétention des hautes eaux. Or, chaque année plusieurs dizaines de milliers d'hectares de zones humides et de zones naturelles destinées à l'expansion des crues disparaissent pour être urbanisées (GRAIE, inédit). Dans ce cadre là, il est également possible de préconiser le maintien du bois mort dans certaines zones amont car il contribue avec efficacité à ralentir et à atténuer l'onde de crue aval.

L'ensemble de ces considérations laisse néanmoins penser que l'emploi de telles stratégies de non entretien contrôlé sera difficile à promouvoir car la responsabilité d'une telle décision est souvent lourde alors que la politique d'entretien est légitimée par plusieurs siècles d'histoire. Une telle démarche nécessitera ainsi une évolution des mentalités et une approche consensuelle mais risquera aussi de favoriser un laisser aller qui se révèle déjà aujourd'hui dangereux sur certaines rivières.

## 4. La gestion de l'érosion au contact forêt - rivière

### 4.1 Les principes

Le travail de la rivière, qui érode ses berges et construit des plages de galets, a une importance écologique unanimement reconnue. Les divagations du cours d'eau rendent le paysage complexe dont l'organisation rappelle une mosaïque dans laquelle la faune terrestre, la faune aquatique et les oiseaux trouvent des milieux de vie particulièrement diversifiés et favorables (Amoros et Petts, 1993).

L'érosion des terres par les cours d'eau a toujours été perçue comme une contrainte par les riverains, notamment par les agriculteurs, car elle signifie à la fois une amputation de l'outil de production et une perte de revenus. L'érosion est l'un des processus naturels les plus décriés par les sociétés riveraines. Elle marque les limites de la possession foncière, envenime les relations homme - rivière dans l'appropriation de l'espace. La propriété qui est un droit inaliénable de l'individu et l'espace en tant qu'objet de propriété, ont été sacralisés. La terre, même lorsqu'elle n'a plus de valeur économique, conserve ainsi une valeur patrimoniale. Le fait de la voir disparaître induit donc une incompréhension. Ce mécanisme naturel nous paraît être un dysfonctionnement, une anomalie alors que cette instabilité locale participe à la stabilité globale. Aussi, cette incompréhension séculaire donne une légitimité supplémentaire à la lutte contre l'érosion.

La tentation est grande, compte tenu des moyens techniques considérables dont bénéficie notre société, de corriger les rivières en généralisant la pose d'enrochements dans les secteurs soumis à l'érosion. La prise en compte de l'écologie a d'abord conduit à largement favoriser une protection par une végétalisation des berges jugée plus respectueuse de l'écosystème fluvial. Cette politique dite douce était opposée aux lourdes interventions traditionnelles. Néanmoins, les gestionnaires prennent conscience que cette politique peut être tout aussi dommageable que les mesures antérieures. Lorsque l'érosion est un processus fonctionnel de la rivière, une stabilisation volontaire de la berge ne peut conduire à une bonne gestion écologique. L'érosion de berge ne doit donc plus être gérée systématiquement comme un risque.

La protection n'est pas anodine mais peut essentiellement déporter le problème plus loin et favoriser le déséquilibre du système-rivière. Aussi, avant de décider de se protéger, il convient :

- de prendre conscience que l'érosion est un élément naturel du fonctionnement de certains cours d'eau,

- de savoir que lutter contre elle risque de créer une déstabilisation de l'ensemble de la rivière qui sera à l'origine de conséquences physiques ou humaines dommageables (incision du lit et enfoncement de la nappe d'accompagnement, augmentation du risque d'inondation...) et de coûts induits élevés.

Avant de prendre la décision de se protéger, plusieurs axes d'intervention doivent être prospectés. Il convient de prouver que :

- un enjeu important existe. Cette analyse repose sur une évaluation au plus juste de l'ouvrage et des biens à protéger. Il s'agit de définir l'enjeu et d'estimer le coût économique non seulement de la protection immédiate mais également du déplacement des infrastructures ou du rachat des terrains vulnérables.

- la migration du chenal est inhabituelle et inévitable. Il s'agit de montrer que l'érosion observée est liée à un impact, et de ce fait, est rare sur la rivière étudiée (problème d'un glissement de versant indépendant du fonctionnement de la rivière, battillage, érosion localisée liée à un impact sur une rivière latéralement stable). Il s'agit d'évaluer également à quel terme la protection est nécessaire et d'envisager ainsi une protection à moyen terme en fonction du déplacement observé de la rivière.

La gestion des rivières à dynamique latérale active peut paraître insurmontable dans la mesure où c'est dans ces secteurs que l'opposition entre un fonctionnement naturel et la trame foncière est la plus criante. Néanmoins, quelques éléments encourageants peuvent être formulés :

- l'espace instable des rivières n'est souvent que partiellement soumis à des aménagements,  
 - la multiplication depuis une ou deux décennies de protections ponctuelles sans logique globale a montré ses limites financières,  
 - la grande richesse écologique de ces rivières de plaine alluviale a été reconnue. Le SDAGE du bassin du Rhône devrait d'ailleurs préconiser une politique de conservation de ces espaces.

C'est dans le cadre de cette évolution que les gestionnaires s'efforcent, au niveau opérationnel, de promouvoir la notion de Zones Potentiellement Erodables.

#### 4.2. Définir un zonage érodabilité

En proposant le concept d'espace de liberté, les Assises Nationales de l'Eau ont abordé officiellement en 1991 la question de la coexistence Homme-Nature dans les corridors fluviaux à dynamique latérale active (Bravard, 1991).

Une zonation morphologique basée sur un gradient dynamique devrait permettre de distinguer et de hiérarchiser des unités selon leur sensibilité à la régénération. Malheureusement, la délimitation de telles zones est techniquement et humainement difficile car cette décision peut conduire à terme au gel d'espaces riverains à vocation multiple. Aussi, l'espace concédé à la rivière par les riverains doit être défini au plus juste.

En abordant l'étude de l'évolution spatiale passée du cours d'eau, la perspective historique est d'un grand secours. Elle permet de savoir s'il dispose d'une capacité de migration latérale, s'il est consommateur d'espaces plutôt en rive gauche qu'en rive droite, plutôt vers l'aval... Replacer l'hydrosystème dans une évolution pluridécennale, en faisant référence à une tendance, rend possible l'esquisse d'une typologie de zones selon leur capacité de régénération. La bande active temporairement stable se substitue latéralement à une bande active stabilisée ou inversement potentiellement remaniable, puis à une bande active héritée, végétalisée et stabilisée, seule réellement propice à certaines implantations humaines (Bravard *et al.*, 1990; Piégay *et al.*, 1994b).

##### 4.2.1 Méthodologie issue de l'étude Ain

L'étude interdisciplinaire réalisée en 1990 sur le cours de l'Ain à l'aval de Pont d'Ain a permis de faire progresser la réflexion dans ce domaine. Le volet géomorphologique de l'étude (Bravard *et al.*, 1990) a été décomposé en plusieurs étapes :

- Une carte à l'échelle de 1/10 000° a permis de délimiter le lit majeur pour la crue centennale sur une longueur de 40 km. Cette zone comprend d'une part une plaine caillouteuse "moderne", c'est-à-dire façonnée par la rivière depuis environ deux siècles, et d'autre part, une très basse terrasse fertile et inondable. Ce bas niveau, qui peut porter de bonnes terres agricoles, est perché depuis environ deux siècles à la suite de l'enfoncement de l'Ain.

- Une deuxième carte de même échelle localise l'ensemble des usages actuels du lit majeur, en particulier les terres agricoles situées au contact de la plaine moderne et susceptibles d'être exposées.

- Une troisième carte (fig. 166) présente, au sein de la plaine moderne, une sectorisation de la vallée en tronçons morphodynamiquement homogènes. Sur chacun d'eux, trois classes de mobilité latérale de la rivière (forte, faible, nulle) et trois types d'espaces associés en fonction du risque ou de la possibilité d'une érosion latérale (érosion probable à court et moyen terme, érosion possible, érosion impossible) ont été distingués.

En terme de gestion, ce dernier document, qui définit un "zonage érodabilité", s'est révélé être un outil technique et pédagogique indispensable.

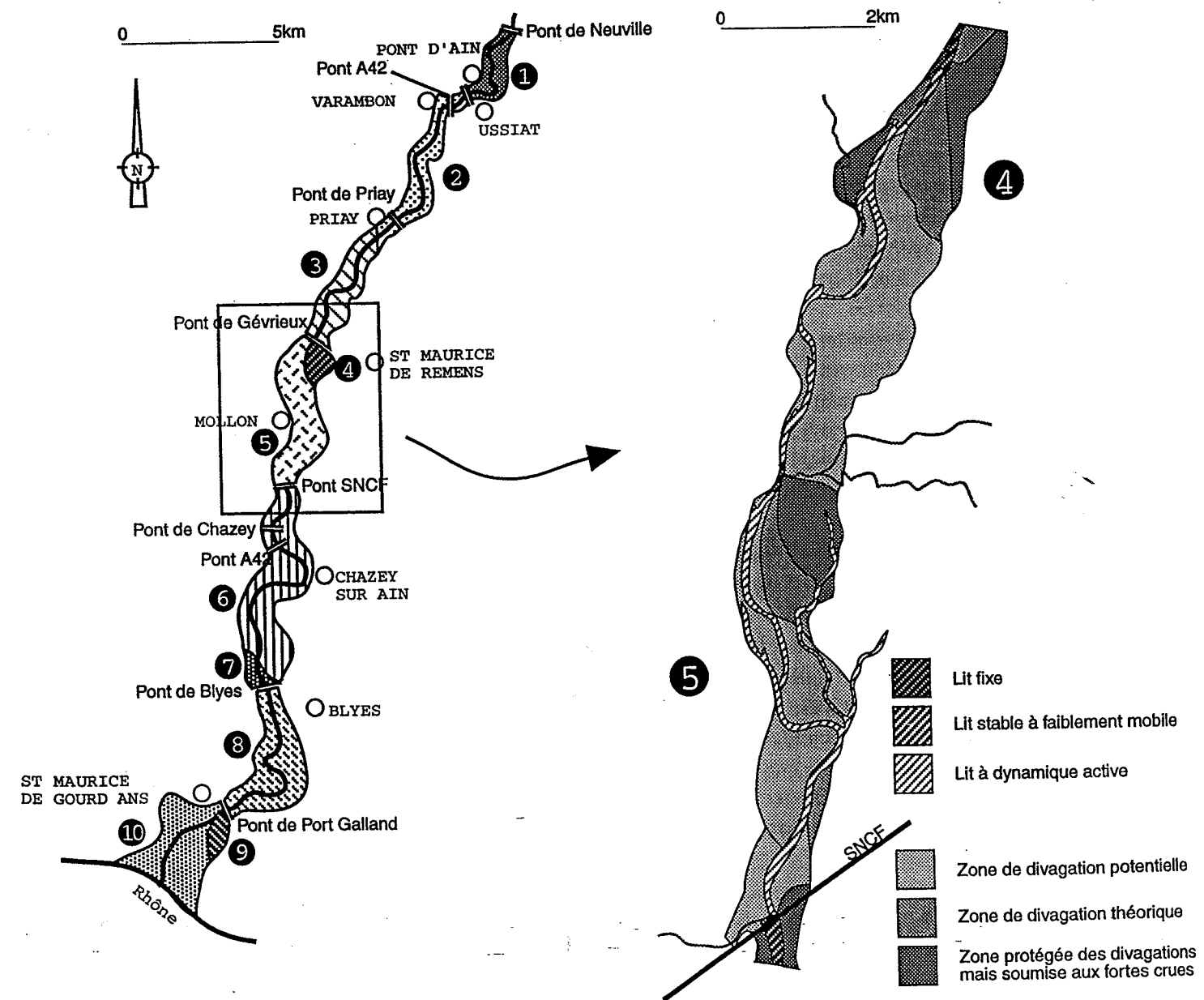


Figure 166 - Sectorisation morphodynamique de la basse vallée de l'Ain (d'après J.P. Bravard *et al.*, modifié, 1990).

#### 4.2.2 La démarche conduite sur le Giffre

L'utilisation d'un SIG en mode *raster* a permis d'aborder la gestion spatiale des écosystèmes fluviaux d'après leur évolution passée et de conforter la démarche initiée précédemment. La méthode envisagée a associé l'exploitation traditionnelle des photographies aériennes représentant un tronçon à plusieurs dates successives et l'étude diachronique infographique élaborée par superposition de ces espaces. Au préalable, les entités spatiales (bande active, forêt alluviale, espaces humanisés) ont été décalquées manuellement, scannées après correction manuelle des distorsions dues aux prises de vue et redessinées informatiquement, chaque année représentant alors un plan d'information superposable. Les opérations *combine* et *recode* de Map II ont permis de construire une typologie zonale, quantitative et évolutive. L'espace d'instabilité d'un tronçon a alors été mis en évidence et son importance relative a été quantifiée.

L'approche méthodologique proposée a été expérimentée dans la moyenne vallée du Giffre et s'est appuyée sur les missions IGN de 1934 (la plus ancienne connue) et de 1984 (la plus récente disposant d'une échelle satisfaisante). L'espace rasterisé représente près de 300 hectares sur lesquels s'étendent la forêt-galerie et la bande active, le pixel étant de 8 m de côté. Seul le secteur de 8 km étudié entre la Rivière-Enverse et Samoëns disposait encore d'une certaine liberté de divagation latérale en 1934. Réfléchie, l'implantation humaine avait privilégié des espaces élevés, protégés des inondations, sur les marges de la plaine. Aucun aménagement n'était observé à moins de 200 m de l'axe du chenal. En 1984, par contre, la bande forestière était démantelée (fig. 167 A).

L'approche dynamique (fig. 167 B) a révélé une étonnante stabilité spatiale de l'axe fluvial sur les tronçons non endigués depuis cinquante ans. La superficie concédée à la bande active est donc restée stable durant cette période (73-74 ha). Le SIG a permis en outre de découper le chenal en transects et de mesurer les évolutions de largeur (fig. 167 C). Cette analyse, conduite sur 758 transects, a montré que la largeur moyenne du chenal était également restée constante entre les deux dates (123,92 m en 1984 contre 123,04 m en 1934).

La bande active transgressive ne représente que 4%, soit 12 ha, du corridor alluvial. Inversement, la forêt n'a remplacé la bande active que sur environ 11 hectares. Cette biodynamique d'érosion-construction est ainsi bien modérée et la tendance démontre que l'espace de régénération est resté stable, les espaces en renouvellement étant sensiblement de même superficie que les espaces recolonisés par des végétaux. La comparaison des histogrammes a montré en outre entre les deux dates:

- une augmentation de la fréquence des secteurs les plus étroits et au contraire une réduction des secteurs les plus larges,
- une homogénéisation des largeurs, la plupart des transects présentant en 1984 une largeur de bande active située entre 110 et 200 m. L'écart-type s'est réduit également de 50,5 à 49 m.

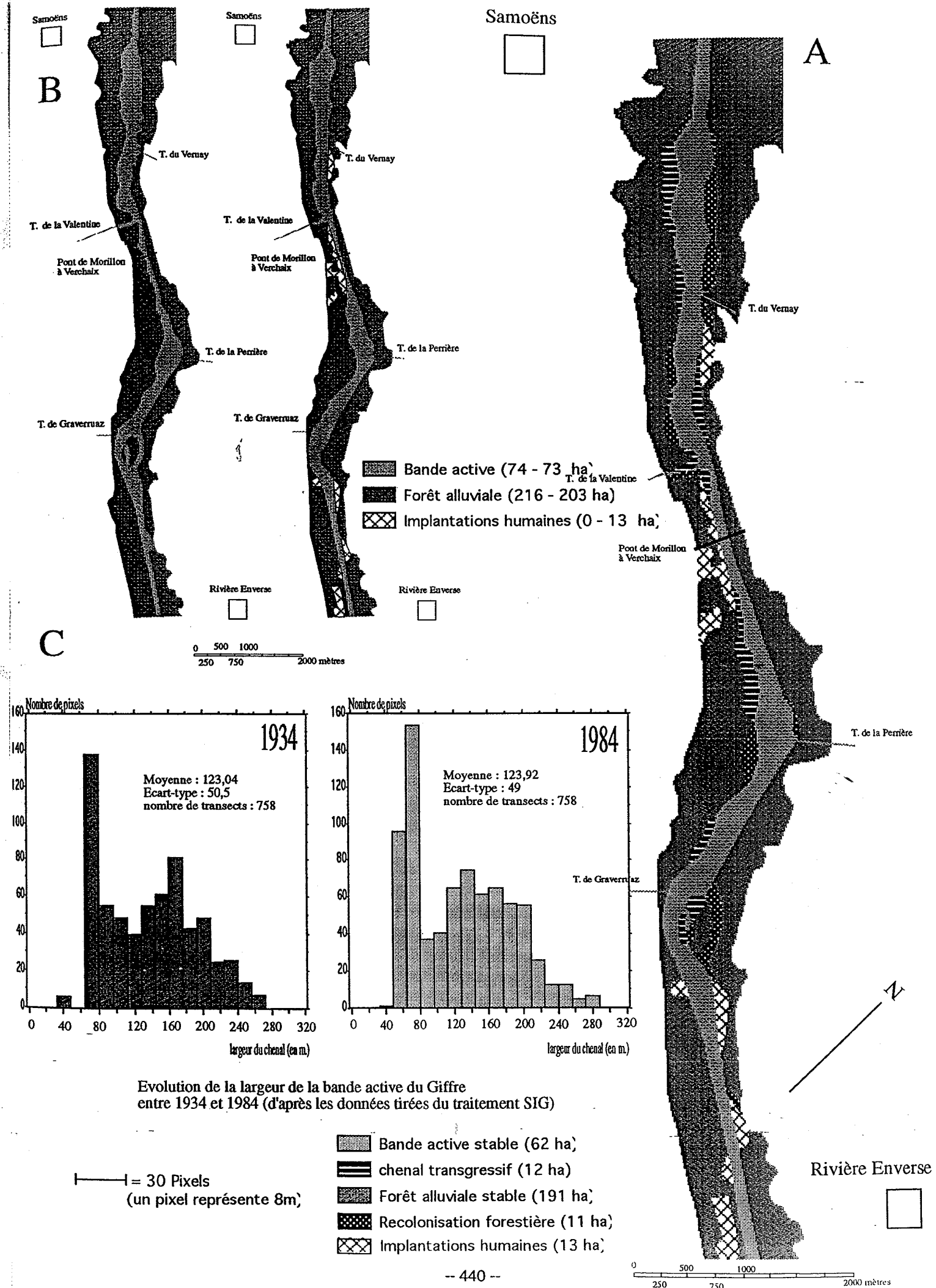
Les espaces redynamisés par le cours d'eau, longitudinalement très linéaires, concernent latéralement des bandes discontinues de faible largeur. La migration du chenal a pu être estimée localement à des largeurs de l'ordre de 40 à 100 m (0,8 à 2 m de recul par an en 50 ans) et à une zone de 12 hectares (0,24 ha/an en 50 ans) ce qui représente une très faible consommation d'espace. Les secteurs de plus forte régénération sont enfin les secteurs les plus naturels et les plus larges comme le tronçon Passerelle de la Rebiolle - Torrent de la Valentine ou les secteurs de confluence des torrents de la Perrière et de Graverruaz.

Cette dynamique est particulièrement intéressante sur le Giffre dans la mesure où elle favorise la diversification d'un écosystème pauvre, trop dual qui associe souvent une bande de galets et une futaie.

Le SIG a permis de mettre en valeur une évolution du tracé en plan de la rivière. Celle-ci montre que cet hydrosystème naturel est finalement peu avide d'espace.

Le document final, cartographique, synthétique et esthétique donne au gestionnaire la possibilité d'ajuster au mieux volontés humaines et volontés naturelles, la possibilité d'aborder le problème dynamique de manière globale et de réduire les actions répétées et ponctuelles de défense.

Les aménageurs qui ressentent aujourd'hui la nécessité de développer des outils de gestion disposent alors d'un document géographique d'aide à la décision. La gestion des systèmes variables sera donc facilitée par le SIG en mode *raster* dont la démarche temporelle concilie passé et futur.



### 4.3 La gestion de l'érosion : expériences actuelles, législation et financement potentiel

La gestion de l'érosion contribue à la conservation de la diversité écologique des rivières à dynamique latérale active. Pour conduire à terme une telle démarche, il convient, après un diagnostic du fonctionnement et une définition de la tendance historique, de bien connaître les possibilités juridiques et financières existantes. La question est de savoir si la conservation de la divagation doit toujours dépendre d'une maîtrise foncière. Le rachat des terrains semble en effet une démarche intéressante mais coûteuse.

Après avoir présenté quelques expériences de rachat de terrains et les principales mesures de protection envisageables, plusieurs questions concernant les possibilités financières, le statut et les devoirs du propriétaire seront discutées.

#### **4.3.1 Les expériences actuelles en matière de rachat de terrains riverains.**

Rares sont encore aujourd'hui les études préalables et les réalisations qui prennent en compte la dimension latérale de la rivière et qui intègrent, dans leurs stratégies de gestion, la possibilité d'un rachat des terrains.

Trois démarches, aux concepts très avancés, conduites sur le Guiers, l'Ain et la Dordogne, seront brièvement exposées. Les phases de l'étude de la Galaure, actuellement en cours de réalisation, seront également présentées.

##### - Le Guiers

Nous nous référons pour cet exemple au scénario 1 d'une proposition d'étude faite par J.R. Malavoi et L. Payen (1991) concernant la restauration écologique d'un tronçon du Guiers Mort de quelques kilomètres. Celui-ci a été rejeté par le syndicat au profit d'une option plus conformiste. Néanmoins la démarche est présentée car la logique spatiale est judicieuse et concerne un projet non de préservation mais de réhabilitation.

Les auteurs ont proposé une palette d'interventions et recherché un compromis entre les usages et la préservation du milieu. La décision de protéger s'est limitée aux secteurs domestiqués, les plus vulnérables. Les techniques de génie biologique ont été utilisées le plus souvent possible afin de pondérer l'impact lié à la décision de stabiliser. Le projet est centré sur la gestion d'un espace et préconise l'achat de terrains forestiers ou agricoles pour restaurer la dynamique latérale de la rivière. 36,3 hectares, soit une bande riveraine moyenne de près de 5 m de large seulement, devraient être rachetés. 80% de ces terrains sont occupés par des bois taillis et 20% seulement sont constitués de terres agricoles de qualité moyenne.

La proposition financière a été estimée à 1,6 MF/km sur un tronçon de 3,5 km. Elle intègre le rachat de terrains (13% seulement du coût total du projet), des travaux de protection de berges notamment par génie biologique et l'enlèvement des enrochements initiaux déstabilisés. L'approche est coûteuse car il s'agit d'un projet de réhabilitation écologique dans une zone relativement domestiquée.

Le syndicat n'a retenu que le second scénario, un aménagement piscicole dont le coût initial était plus faible (2,4 MF). Néanmoins, l'étude montrait qu'il serait à court terme nécessaire de restaurer les seuils et les protections de berges existantes, ce qui induirait un coût final de 6 MF, soit 1,7 MF/km.

##### - L'Ain

L'étude globale de la basse vallée de l'Ain a clairement mis en évidence la nécessité d'une politique de préservation de cet hydrosystème diversifié reposant sur le maintien de zones érodables. Avant d'arriver à une proposition aussi novatrice, une analyse économique a été effectuée (Combe, 1991).

La superficie agricole dans la plaine moderne a été estimée à 190 ha, soit 8% de cet espace. Ceci ne représente que 1% de la surface agricole utile des exploitations des communes riveraines. Sur ces 190 ha,

Figure 167 - Evolution de la largeur de la bande active du Giffre entre Samoëns et la Rivière-Enverse de 1934 à 1984 (fig. ci-contre).

seulement 74 ha sont localisés dans la zone de divagation probable contre 58 et 60 ha en zones de divagation théorique et hors divagation. Le poids économique de l'agriculture dans la zone de divagation possible est de 600 000 frcs/an en produit brut.

Les surfaces forestières et agricoles érodées entre 1945 et 1990 ont été mesurées sur des photographies aériennes. Elles sont passées de 10 ha/an au début de la période à moins de 4 ha/an ces dernières années. 25% seulement des terrains perdus entre 1982 et 1993 sont des terres agricoles, soit 0,5 à 1 hectare/an. Le front agricole menacé a été estimé à 13,6 km de berge, soit 15% du linéaire. Rapportée à un linéaire de berges de 80 km, l'érosion latérale a donc emporté une bande de terrains de faible superficie (en moyenne 5 ares/km/an) et occupée le plus souvent par une forêt de médiocre qualité.

Après une estimation de la valeur des terrains érodés (65 000 frcs/an) et la perte consécutive du produit agricole brut (8 000 frcs/an), il apparaît que le rachat de terrains riverains peut être une démarche intéressante de gestion à long terme. La question est de savoir quelle est la stratégie la plus appropriée, un rachat immédiat de certaines zones, un fond d'indemnisation progressive.... Le problème peut paraître relativement simple car le rachat concerne essentiellement les parcelles agricoles. En effet, la rivière est domaniale et l'essentiel de la superficie forestière est la propriété des communes.

##### - La Dordogne

Sur la Dordogne, le problème a été abordé un peu différemment. L'approche proposée est à la fois économique et écologique. Le rachat des terrains a été perçu comme une solution alternative pour la gestion de l'érosion. Le projet est très avancé et l'approche semble consensuelle. Dans la charte d'EPIDOR, Etablissement Public Inter-départemental de la vallée de la Dordogne (1992), il est inscrit qu'il est nécessaire de préserver chaque fois qu'il est possible un espace de liberté pour la rivière. Dès lors, l'érosion de berges est un processus bénéfique qu'il est nécessaire de préserver dans certains secteurs et dans certaines limites.

Selon les gestionnaires de la rivière, une zone-tampon présente plusieurs avantages tels que l'auto-épuration, le traitement à moindre coût des problèmes d'effondrement des berges, la présence d'un espace potentiel de divagation, la réappropriation collective des rives pour un nouvel accès à la rivière. Or, la réalisation d'une telle zone sur une largeur de 30 m implique nécessairement une maîtrise foncière. Sur la Dordogne, deux objectifs ont donc été définis :

1. promouvoir des protections par génie biologique lorsque la stabilisation in situ est un impératif,
2. créer d'une zone-tampon à laquelle sont associés des activités et des objectifs spécifiques (exploitation forestière, valorisation paysagère du site, développement du tourisme rural) sur certaines sections du linéaire (Roqueplo, 1992).

La démarche repose donc sur une analyse de l'instabilité des berges de la Dordogne (Epidor et Cémagref, 1994). C'est pourquoi, une étude a recensé les berges effondrées et déterminé une tendance évolutive sur quelques années. Par ailleurs, les gestionnaires s'efforcent d'apprécier le risque d'érosion en fonction du type d'occupation des rives. Ainsi, 2% seulement des berges entre Beaulieu et Pessac sont soumises en 1993 à l'érosion, ce qui représente une réduction de 35% du linéaire érodé en 13 ans. Cette tendance s'explique notamment par l'arrêt des extractions en lit mineur. Parmi ces zones d'érosion, 40% seulement menacent directement un ouvrage, une maison ou une route.

Comme le recul a été généralement inférieur à 10 m, il est possible d'évaluer le coût d'un rachat théorique. Le coût d'une bande riveraine de 10 m de large et de 3 km de long en site de falaise ou sur les marges en friche et en prairie, a été estimé à seulement 45 150 francs (sur la base de 15 000 francs/ha) pour l'ensemble de la rivière. Les sommes nécessaires sont donc dérisoires par rapport au coût moyen des protections lourdes.

##### - La Galaure :

Le syndicat de la rivière a pris récemment conscience que la gestion de l'espace de liberté de la rivière impliquait une gestion de l'érosion et le rachat éventuel de certains terrains.

Suite à une visite de terrain consécutive à la crue de 1993, il est apparu que de nombreux enrochements n'avaient pas joué leur rôle et avaient par ailleurs fortement été endommagés. Une brève estimation des sommes investies dans ces protections depuis 1970 a conduit le syndicat de la rivière à s'interroger sur le bien-fondé d'une telle politique. Une étude, qui a débuté au cours de l'été 1994, porte sur la reconnaissance de l'espace de divagation de la rivière et de son occupation par l'homme. Ce document devrait permettre à terme au syndicat de formuler objectivement une gestion spatiale de la rivière.

La Galaure est un affluent de rive gauche du Rhône moyen. C'est une rivière torrentielle à charge de fond grossière et à forte pente (0,7%). Le débit de fréquence 2 ans est estimé à  $35 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Ce type de rivière, au style à méandres et à forte énergie ( $60 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ ) présente des espaces riverains dont la durée de vie est naturellement limitée. Leur gestion, lorsqu'il y a appropriation foncière privée, est donc très difficile.

Pour promouvoir une gestion durable de la rivière tout en conservant ses potentialités écologiques et en réduisant le risque de destruction lié aux inondations, il convient de se doter de documents cartographiques permettant de gérer l'espace-rivière.

Trois étapes seront développées au cours de l'étude :

#### 1. Définir l'espace de la rivière.

Comme il s'agit d'une rivière à méandres, l'espace de la rivière s'apparente à la bande de méandrage. Cette identification s'appuiera sur plusieurs dates successives afin de clairement mettre en évidence l'espace concerné par cette dynamique, les vitesses et les directions de migration des formes (aval, latérale...), la tendance évolutive.

#### 2. Identifier l'occupation de cet espace par l'homme.

Après avoir défini l'espace naturel de la rivière, il conviendra d'identifier clairement sur une carte le type d'occupation de cet espace. Plusieurs classes pourront être retenues telles que les peupleraies, les cultures, les zones aménagées (stations d'épuration, captages, bases de loisirs ...).

L'information sera restituée sur le cadastre afin de bien corréliser la trame d'occupation et la trame foncière. Sur cette carte seront également positionnés les protections de berges et les différents ouvrages existant sur la rivière. Un ensemble de figurés nous informera de leur état, celle-ci étant estimé après une reconnaissance de terrain.

#### 3. Proposer des scénari de gestion de l'espace-rivière.

Plusieurs impératifs devront être retenus dans les scénari. Il conviendra de définir des secteurs où la rivière pourra retrouver une possibilité de méandrer. Les zones conquises par la rivière ne devront donc pas être reconquises par une occupation sylvicole ou agricole. Il conviendra au contraire de laisser se développer une ripisylve naturelle capable de limiter naturellement la migration de la rivière et de protéger les personnes et les biens du risque d'inondation. Cependant, cette politique peut se trouver en contradiction avec les stratégies individuelles d'appropriation foncière de cet espace. Aussi, il conviendra de s'interroger sur les modalités de concertation avec les riverains (politique de rachat, d'indemnisation ...) et la réglementation à mettre en oeuvre.

3 scénari seront proposés. Le premier sera basé sur l'arrêt de la politique de protection. Il estimera les coûts fonciers en fonction de la vitesse de régénération du système. Les deux autres combineront la protection de berges sur certains tronçons et l'érosion contrôlée sur d'autres, en sélectionnant les secteurs selon leur valeur économique, patrimoniale, écologique.

### Conclusion

La politique de rachat de terrains à des fins de protection tend aujourd'hui à se développer sous l'impulsion notamment des départements. En terme de gestion de l'érosion, cette démarche constitue peut être une solution alternative.

Elle présente un grand intérêt économique compte tenu du prix de la terre aujourd'hui (tab. 65). Il est en effet possible de comparer le coût d'une protection lourde à celui du rachat d'une bande riveraine.

Les terrains présents dans cette zone, qui sont le plus souvent boisés ou d'une qualité agronomique moyenne, se négocient actuellement à un prix moyen de l'ordre de 20 000 francs/ha. La largeur qui a été

retenue, est de 30 m. Celle-ci semble souvent appropriée et permet à la ripisylve d'exercer une fonction d'auto-épuration des apports phréatiques latéraux et de filtrage des flux superficiels hydriques et minéraux.

Compte tenu de ces deux indicateurs, le prix au mètre linéaire d'une zone tampon n'est que de 60 francs alors que le prix des protections de berges par enrochements est estimé à environ 1 000 à 2 000 francs/ml. Or, le prix calculé ici ne prend pas en compte la valeur d'autres critères tout aussi importants que sont la capacité auto-épuratrice, le potentiel écologique, le caractère patrimonial ainsi que l'attrait récréatif et paysager d'une ripisylve.

Tableau 65 - Estimation du prix des terrains riverains selon le type d'occupation.

|   | Occupation de la rive   | Prix moyen/ha en Francs |
|---|---|-------------------------|
| D'après Epidor et Cémagref, 1994 (Dordogne)                                   | - taillis et landes   | 9 000                   |
|   | - prairies  | 15 000                  |
|   | - terres labourables  | 25 000                  |
|   | - vergers   | 40 000 - 250 000        |
|   | - vignes (Gironde)  | 110 000 - 450 000       |
| D'après J.R. Malavoi et L. Payen, 1991 (SAFER*, Grenoble) (Guiers)            | - bois taillis  | 10 000 - 15 000         |
|   | - zones agricoles de qualité moyenne                                  | 20 000 - 26 000         |
| D'après P.M. Combe, 1991 (Transactions foncières observées sur 3 ans, SAFER*) | - terrains agricoles de la plaine moderne de la basse vallée de l'Ain | 20 000                  |

\*Société d'Aménagement Foncier et d'Etablissement Rural

La politique de rachat des terrains n'est pas toujours possible ou ne permet pas de mener à bien une gestion écologique pérenne sur un tronçon. Aussi, parallèlement et en complément à une telle démarche, il convient de s'intéresser aux mesures de protection juridique qu'il serait possible d'utiliser dans le cadre de la protection et de la réhabilitation des corridors végétaux les plus intéressants.

### 4.3.2 Le rachat : les outils juridique et financier

La préservation ou la mise en valeur d'un patrimoine naturel constitue un axe important de la gestion des marges des cours d'eau. Il existe un ensemble de moyens destiné à préserver les milieux naturels. Il est possible par exemple de citer :

- les procédures de protection du milieu aquatique (l'obligation de maintenir un débit réservé ou le classement des cours d'eau par décret),
- les procédures de protection des espèces et des espaces naturels. Outre le parc national qui est une procédure longue et centralisée, il est possible de citer les réserves naturelles exigeant l'accord de tous les propriétaires, les arrêtés préfectoraux de conservation de biotopes nécessaires à la préservation d'espèces protégées (Art. 3 et 4 de la loi du 10 juillet 1976) et surtout la politique des espaces naturels sensibles des départements.

Parmi cet ensemble de mesures, celles qui reposent sur le rachat des terrains semblent les mieux adaptées aux milieux concernés. En effet, la préservation écologique nécessite une maîtrise des usages potentiels (sylviculture, pêche...) et un espace étendu et pérenne, à l'échelle d'un ensemble fonctionnel afin que la régénération puisse se dérouler.



La protection des milieux par la maîtrise foncière est un procédé de protection en pleine expansion. Cette procédure ne peut pas concerner des terrains appartenant au domaine public, elle est souvent mise en oeuvre en fonction d'opportunités et le prix de vente est souvent négocié. La maîtrise d'ouvrage peut être détenue par divers organismes, tels qu'un syndicat de rivière, un département, une Société d'Aménagement Foncier et d'Etablissement Rural (SAFER), une association de protection de la nature, un Conservatoire Régional d'Espaces Naturels...

La question essentielle est de savoir quel mode de financement il est possible d'envisager. Trois principaux organismes sont aujourd'hui en mesure de prendre en charge ou d'aider à l'acquisition foncière à des fins de préservation :

- les départements,
- les agences de l'eau,
- les conservatoires régionaux.

#### - L'action des départements et la taxe sur les espaces naturels sensibles

La loi 85-729 du 18 juillet 1985, relative à la définition et à la mise en oeuvre de principes d'aménagement, a été à l'origine de la procédure dite "des espaces naturels sensibles". Celle-ci est destinée à préserver la qualité des sites, des paysages et des milieux naturels.

Il incombe à tous les départements de :

- mettre en place des zones de préemption leur permettant d'acquérir des espaces naturels à protéger ou à ouvrir au public,
- d'instituer une taxe départementale destinée à financer la politique de rachat,
- d'édicter en l'absence de POS, des mesures de protection des espaces boisés, des sites et des paysages.

Cette taxe est prélevée par les conseils généraux qui l'ont votée, sur les permis de construire. Son taux est de 1 à 2% de la totalité du coût de la surface hors-d'oeuvre des bâtiments. Son affectation est limitée à l'acquisition et l'aménagement en espaces verts incorporés au domaine public du département, la protection et l'entretien d'espaces naturels ouverts au public et l'aide aux communes pour l'acquisition de zones naturelles par voie de préemption.

Par sa cohérence géographique et son intérêt intercommunal, une rivière peut devenir un espace opérationnel. Néanmoins, cette démarche n'est pas restreinte au seul milieu aquatique. Pour influencer la politique des départements en la matière, il convient donc de favoriser une approche concertée et ouvrir les responsables aux problèmes spécifiques de la gestion écologique des rivières. De telles actions ont déjà été conduites avec succès dans certains départements. Plusieurs exemples de rachat de milieux annexes peuvent d'ailleurs être signalés :

- les milieux humides de la basse vallée du Vistre en Camargue Gardoise (Gard),
- le Vallon Sourd sur le haut Argens (Var) comprenant notamment la ripisylve.

Néanmoins, nous ne connaissons actuellement aucun exemple de rachat d'une rivière à dynamique latérale active et de son corridor végétal qui ait été décidé afin de préserver l'écosystème. Si la bande active du Fier à l'aval de Thônes ainsi que quelques mètres en lit majeur ont été rachetés par le département de Haute-Savoie, l'objectif était de pouvoir intervenir librement au niveau des berges et de pallier à tout problème juridique qui aurait pu se faire jour lors de travaux avec les propriétaires riverains de ce cours d'eau non domanial.

#### - La politique de financement de l'Agence de l'eau RMC

L'Agence de l'Eau RMC peut, depuis son 6<sup>e</sup> programme d'intervention financière, apporter une aide à des opérations de maîtrise foncière (subvention maximum de 30%). Cette démarche est considérée comme un outil de gestion globale de la ressource. La participation est possible dans le cas d'une

*"acquisition par une collectivité ou par une structure ad hoc d'un espace naturel aquatique sensible dont la préservation et la bonne gestion présentent un intérêt particulier du point de vue patrimonial et écologique : îlônes, forêts alluviales..."*

L'aide est conditionnée par une protection juridique de la zone concernée dans un délai maximum de deux ans après acquisition. Un seul dossier a été actuellement soumis à la commission des aides, en février 1993. Il concerne le bassin inférieur du Vistre en Camargue gardoise.

Dans le cadre de sa politique sur les espaces naturels sensibles, le département du Gard avait souhaité acquérir des terrains agricoles afin de restaurer une zone humide préexistante. L'intérêt était à la fois hydraulique, écologique et culturel. 283 hectares de terres ont été rachetés pour un coût de 9,6 millions de francs, soit 34 000 francs/ha en moyenne. Le financement était réparti comme suit : 47% par le département, 29% par la CEE, 21% par l'Agence de l'Eau et 3% par la région. Cette seule opération a représenté 7% du budget annuel du sous-programme financier consacré à la réhabilitation des milieux aquatiques et actuellement, ce type d'aide paraît difficile à envisager compte tenu de l'enveloppe financière nécessaire. A la suite de ce dossier, la politique de rachat reste donc encore à définir dans le cadre de l'Agence.

En outre, d'autres solutions ont été envisagées. Pour les rivières à dynamique latérale active, un fond d'indemnisation progressive des riverains pourrait être proposé.

L'indemnisation est différente d'un rachat car la propriété de la terre et les droits d'eau qui lui sont associés sont conservés. Cette proposition ne concerne que les terrains agricoles dans la mesure où la procédure n'est viable que si elle présente un coût économique inférieur à celui d'une protection immédiate. Aucune subvention n'est encore prévue à cet effet par l'Agence. Néanmoins, une proposition d'une ligne supplémentaire pourrait être faite pour le 7<sup>e</sup> programme. Cette stratégie présente des avantages importants :

- elle permet de préserver le fonctionnement physique de la rivière,
- elle ne remet pas en question le droit de propriété,
- elle nécessite une enveloppe financière annuelle modeste.

Il s'agit dès lors de préparer cette ligne et d'identifier une grille présentant les maîtres d'ouvrage, les objectifs, le taux d'aide et les conditions. Par ailleurs, dans tous les cas, le maître d'ouvrage devra montrer une réelle volonté de gestion et s'impliquer au moins à hauteur de 20%.

Cette politique exige donc pour réussir sa diffusion auprès des gestionnaires. Par ailleurs, l'appui des départements en tant que partenaire financeur doit également être développé. Ceci peut être envisagé dans le cadre des contrats "RMVMA" Agence - Département. La diffusion pourrait alors se faire au niveau des contrats de rivière et des SAGE.

#### - Les autres organismes financeurs

La CEE peut également apporter une aide en matière de rachat de terrains à des fins de préservation. L'annexe du règlement CEE du 21 mai 1992 (JOCE du 22 juillet 1992) définissant le programme dit LIFE (instrument financier pour l'environnement) précise qu'un fond est destiné à aider des actions de protection et de conservation des eaux douces et de surface.

Depuis la loi du 23 janvier 1990, les Sociétés d'Aménagement Foncier et d'Etablissement Rural peuvent également conduire des opérations destinées à favoriser la protection de la nature et de l'environnement.

Quant aux Conservatoires régionaux d'espaces naturels qui ont pour objectif la préservation des sites naturels, ils exercent également une politique de rachat des terrains. Ce sont des structures récentes, créées progressivement dans chaque région depuis 1976. Ils constituent des interlocuteurs privilégiés de tous les acteurs fonciers concernés par la gestion du patrimoine naturel (collectivités locales, Sociétés d'Aménagement Foncier et d'Etablissement Rural). Des collaborations avec les départements dotés de la taxe départementale des espaces naturels sensibles permettent aux conservatoires d'intervenir en gestionnaire des terrains acquis

dans ce cadre là par les conseils généraux. La maîtrise foncière est par ailleurs un des outils dont disposent ces organismes. Leurs actions dépendent de l'obtention de moyens financiers tels que des subventions publiques, des mécénats d'entreprises ou des souscriptions auprès de particuliers.

La préservation par l'acquisition foncière est une politique de plus en plus active des collectivités locales et de l'Etat. Elle permet par ailleurs d'accroître le patrimoine forestier communal et domanial qui est le plus faible d'Europe après celui du Portugal. Néanmoins, il manque actuellement un véritable instrument de gestion nous permettant d'intervenir rapidement sur le marché comme peut l'être le Conservatoire du littoral. Celui-ci pourrait mener la politique d'acquisition de l'Etat et aider les collectivités locales, appréhender les données du marché foncier forestier, faciliter la constitution de groupements, mener une politique globale et rassembler des moyens financiers aujourd'hui très dispersés.

### 4.3.3 L'approche forestière

La ripisylve peut éventuellement faire l'objet de mesures spécifiques de protection. En outre, au delà de la conservation proprement dite, il est possible de préconiser des mesures destinées à optimiser la gestion du corridor lorsque celui-ci est privé et très parcellisé et concilier ainsi une préservation écologique et une gestion économique rentable. Deux éléments seront successivement abordés dans ce chapitre : une mesure de protection et des mesures de conciliation.

#### - Le régime des forêts de protection

Le régime des forêts de protection date de la loi Chauveau du 28 avril 1922 (Bazire et Gadant, 1991). Ce régime est organisé par les articles L et R 411 et suivants du code forestier. Les forêts figurant sur une liste établie par le préfet peuvent être classées par décret en Conseil d'Etat lorsqu'elles sont nécessaires à la lutte contre l'érosion et l'envahissement des eaux et des sables, la défense contre les érosions. Le classement en "forêt de protection" est d'initiative parlementaire et est venu renforcer la législation existante destinée à conserver les forêts les plus remarquables et les plus menacées.

L'objectif initial était de conserver des forêts indispensables à la protection contre l'érosion des sols et les avalanches en montagne, et à la régularisation du régime des eaux. Cette législation a été peu appliquée car la procédure était laborieuse, exigeant des négociations entre les propriétaires et la commission spéciale, et est tombée en désuétude jusqu'en 1976. La loi sur la protection de la nature l'a alors étendue aux forêts péri-urbaines ou touristiques.

Ce classement soumet la forêt à un régime de gestion approprié au rôle social qui lui est assigné et proscrit tout défrichement. Les propriétaires, compte tenu des servitudes, peuvent réclamer une indemnité ou bien mettre en demeure l'Etat de leur acheter leur parcelle.

Pour réussir, la procédure de classement doit s'accompagner d'un aménagement foncier et d'une organisation collective de la gestion (Couvreur, 1982). Néanmoins, une telle démarche peut parfaitement être développée sur les rivières présentant un corridor végétal intéressant et sur lesquels l'érosion est reconnue comme un risque à gérer. Elle permet alors d'associer la volonté de préservation du fonctionnement écologique et la volonté de gestion d'un risque, de rapprocher dans un même projet des personnes aux objectifs souvent contradictoires.

#### - Les mesures de gestion écologique et économique

Dans la forêt française, 64% des propriétés privées ont moins de 1 hectare. Le morcellement foncier de la forêt alluviale des cours d'eau non domaniaux est ainsi un réel problème de gestion de cet espace. Engager les propriétaires à se regrouper afin de mieux produire, s'équiper et vendre est une stratégie laborieuse qui

nécessite une initiative forte des collectivités notamment et des efforts d'information et de persuasion peut être de la part de l'ONF.

Il existe différentes structures de regroupement (Bazire et Gadant, 1991). Le regroupement des patrimoines par le biais du groupement forestier est sans doute la structure la mieux adaptée à notre propos. Ce groupement, créé par un décret du 30 décembre 1954, repose sur la constitution d'une société civile. Les propriétaires apportent tous leurs terrains et éventuellement des capitaux pour investir, en échange de parts sociales de valeur équivalente. Malgré les avantages de gestion, il est rare que les propriétaires soient enthousiastes car chacun perd la propriété de ses arbres et son indépendance même si toutefois il conserve, à titre personnel, le droit de chasse sur les terrains boisés apportés au groupement.

Cette stratégie a été utilisée pour regrouper des fonds morcelés portant des peuplements homogènes et de faible valeur. Il existe en 1991 en France près de 3 600 groupements, soit 720 000 ha. Seulement 600 sont constitués de petits propriétaires. Cette opération nécessite en effet un long travail destiné à estimer la valeur de chaque parcelle et convaincre l'ensemble des propriétaires.

Il est cependant possible de concevoir, en concertation avec le syndicat de rivière, un tel groupement. Il permettrait d'optimiser la ressource forestière tout en conservant un objectif écologique. Une sylviculture extensive serait alors à mettre en oeuvre.

### Conclusion

La gestion de l'érosion c'est-à-dire la préservation de la connectivité lit majeur - bande active et de la régénération des biotopes, repose sur le rachat des terrains. En effet, sur les rivières à dynamique latérale active, les logiques économique et affective conduisent inévitablement les collectivités locales à promouvoir des protections immédiates.

Plusieurs expériences ont été conduites ou sont en cours. La rentabilité économique est démontrée et des financeurs existent. La conservation de certains corridors forestiers fortement instables peut ainsi être envisageable notamment sur la périphérie des Alpes françaises.

Néanmoins, d'autres mesures doivent également être favorisées comme le groupement forestier à vocation écologique ou un fond d'indemnisation progressive des terrains érodés. Elles exigent des moyens financiers moindres tout en apportant au gestionnaire une panoplie plus large de mesures à préconiser en fonction de la spécificité des rivières et des riverains.

## IV Quelle logique d'intervention et quelle gestion préconiser pour les forêts alluviales?

La gestion des marges boisées dépend de la gestion globale envisagée sur la rivière. Néanmoins, Elle est au coeur de problématiques spécifiques telles que l'entretien, l'érosion de berge, la réhabilitation ou la préservation du fonctionnement physique.

Les résultats acquis lors de la thèse ont permis, dans le cadre de l'Agence de l'eau RMC, de préconiser une logique d'intervention à l'usage des instructeurs polyvalents qui ont en charge les dossiers d'aide.

Après avoir exposé cette logique, des propositions de gestion concernant les rivières étudiées seront développées. Notre implication dans leur gestion pourrait se concrétiser sur le Giffre, l'Ubaye et l'Ouvèze. Cette présentation revêt donc dans ce cadre là un caractère très opérationnel.

### 1. Les logiques d'intervention préconisées dans le cadre de l'Agence de l'Eau RMC

"Il est temps aujourd'hui de trouver des principes de gestion des espaces alluviaux adaptés aux nouveaux concepts développés par la Loi sur l'Eau" (Dupont, 1991) et intégrant les résultats récents de la recherche : comment concilier la préservation du milieu et la pratique des usages? Quels sont les objectifs à retenir (lutte contre les crues, loisirs...), les choix d'aménagements (lourds, légers, ponctuels...), la place du milieu naturel dans un projet de gestion de rivière? Comment gérer à moindre coût et avec un minimum d'intervention, les corridors fluviaux soumis à la déprise rurale?

La décision d'intervenir et le type d'intervention doivent dépendre de l'espace concerné et du degré d'anthropisation de cet espace. La gestion doit être spatialisée et sectorisée (fig. 168). Trois espaces élémentaires et leurs interfaces ont été distingués. Ils peuvent être naturel, rural et urbain. Cette proposition, même si elle est schématique, a l'avantage de replacer les différentes interventions sur une palette de milieux caractérisés par un niveau d'anthropisation.

La décision d'intervenir concerne l'ensemble des milieux par opposition à la décision de stabiliser la régénération latérale. Celle-ci concerne d'abord les milieux naturels et dans une moindre mesure les espaces habités.

En fonction de ces deux principes décisionnels, différents paysages ripicoles sont à envisager :

- Le paysage jardiné préconisé en milieux urbains doit mettre en valeur les atouts paysagers de l'hydrosystème et permettre une nouvelle relation entre l'homme et la rivière.
- Le paysage restauré et entretenu repose sur le maintien d'une capacité d'écoulement donnée et une forêt aménagée extensivement. La gestion du risque et la vocation récréative de cet espace doivent être préférées à la préservation des processus naturels.
- Le paysage réhabilité ou renaturé repose sur une action réfléchie de l'homme destinée à lui permettre de retrouver une valeur écologique compatible avec une demande sociale forte et des risques faibles.
- Le paysage naturel, de plus en plus rare dans les régions de plaines et de piémonts, doit être préservé. Ses dynamiques propres de régénération, d'auto-entretien et de régulation revêtent de multiples avantages.

Quatre grands thèmes d'interventions permettent de structurer cette stratégie :

- **La gestion de l'érosion.** En fonction des enjeux pesant sur le milieu, il sera décidé ou non de stabiliser la berge c'est-à-dire de contrarier ou non le fonctionnement physique de la rivière. Une protection lourde n'est acceptable que dans les milieux urbanisés. En milieu rural, une protection par génie biologique sera

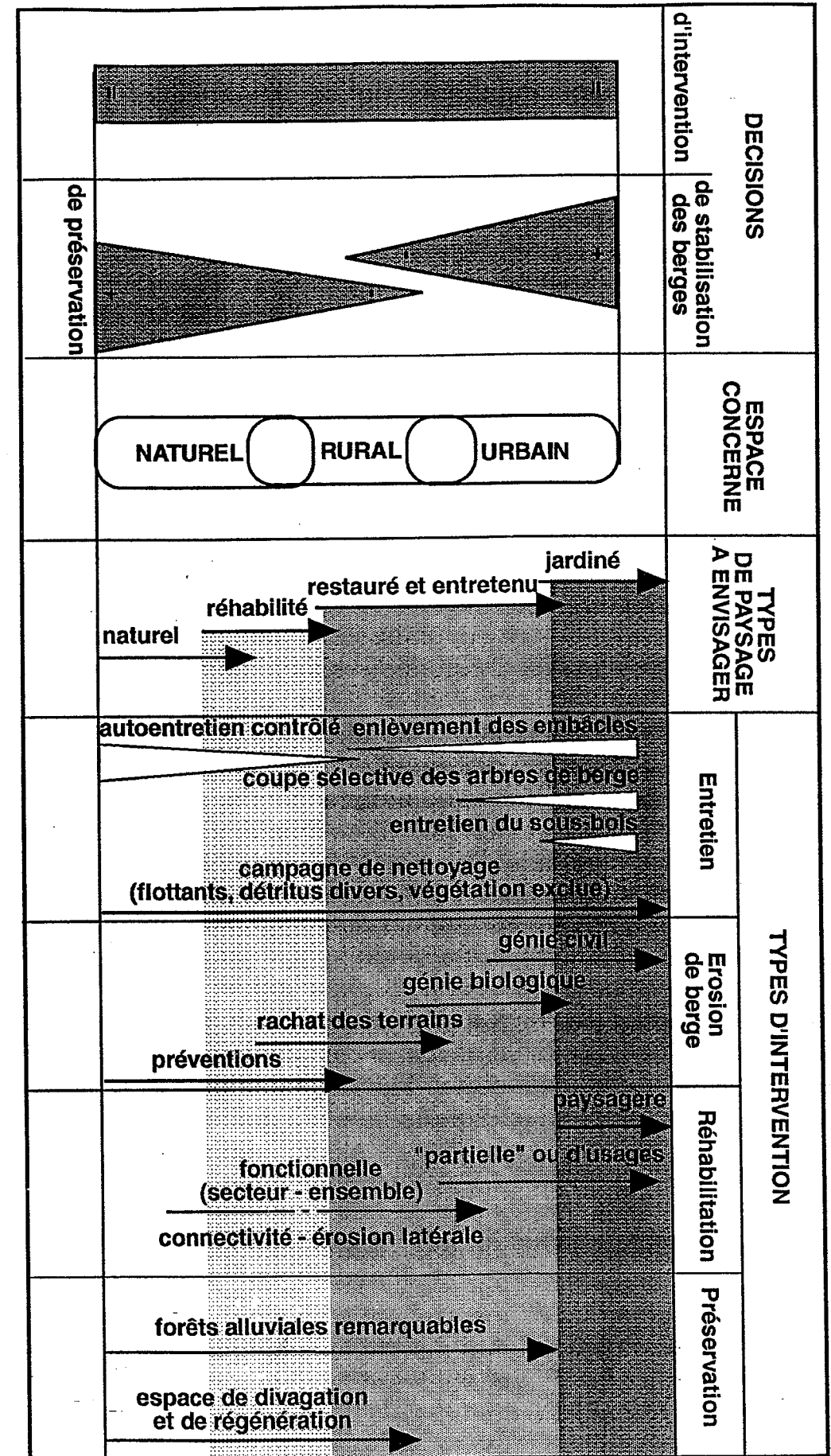


Figure 168 - Les logiques d'intervention pour une gestion écologique des marges boisées.

préférée. Dans les milieux faiblement occupés, toute protection visant à altérer le fonctionnement de la rivière sera à proscrire. Une politique de rachat de terres destinée à préserver la divagation serait également à envisager.

- **L'entretien** de la végétation est organisé selon la même logique. L'ensemble du corridor doit bien sûr faire l'objet de campagnes de nettoyage des flottants et des déchets divers. En revanche, la végétation mérite un entretien graduel, d'autant plus affirmé que le milieu est anthropisé. L'enlèvement des embâcles, la coupe sélective des arbres de berge et l'entretien du sous-bois doivent être conduits avec discernement et reposer sur un espace, défini notamment par sa largeur, et sur une intensité de l'action qui varient en fonction des caractéristiques du lieu. L'entretien n'est donc pas toujours à promouvoir. Dans les milieux naturels et ruraux, notamment dans les zones d'expansion des crues, favoriser un auto-entretien plus ou moins contrôlé de la rivière peut être judicieux. Le déclin à long terme des débris ligneux nécessaires à l'habitat piscicole révèle en effet notre incapacité à gérer la complexité de l'hydrosystème.

- **La politique de réhabilitation** concerne toutes les rivières. Pourtant, les objectifs retenus diffèrent selon le milieu considéré. Une réhabilitation paysagère ou "partielle", reposant sur un usage, est à préconiser dans les milieux habités. Une intervention destinée à augmenter la diversité des habitats en modifiant l'ombrage ou la forme de berge, peut avoir un intérêt piscicole. L'objectif récréatif peut également reposer sur la reconstitution d'un corridor végétal.

Au fur et à mesure de l'éloignement des concentrations humaines, la réhabilitation du fonctionnement devra intégrer sur certaines rivières deux principes fondamentaux : la connectivité bande active - lit majeur et l'érosion latérale. Or, il est évident que favoriser ces deux éléments induit des risques comme des inondations plus fréquentes ou des pertes de terrains.

Conduire une réhabilitation fonctionnelle n'est donc pas toujours possible et il convient de distinguer et de préconiser, selon les cas, la réhabilitation d'ensembles fonctionnels ou de secteurs fonctionnels (Amoros *et al.*, 1988). Toute opération de ce type devra être conduite sur un espace suffisamment important pour permettre la régénération des unités et une stabilité globale du milieu réhabilité.

La question de la réversibilité des impacts sur ces milieux se pose aussi avec acuité. A terme, il conviendra d'améliorer notre savoir-faire en matière de réhabilitation des hydrosystèmes. "Comment inverser le processus d'incision et la déconnexion induite lorsque la rivière a une charge solide amont en réduction?", "le traitement de la forêt alluviale mûre permet-il de réactiver la dynamique latérale de la rivière?", sont des questions qui permettront d'orienter les recherches à venir.

- **La politique de préservation** est également une stratégie essentielle de gestion des corridors végétaux bien que spécifique aux milieux les moins aménagés. Il s'agit de conserver pour leurs propriétés multiples, les derniers ensembles ou secteurs fonctionnels intéressants. Préserver les derniers espaces de divagation et de régénération ainsi que les derniers corridors forestiers continus et connectés à la rivière est une politique à mener de toute urgence.

## 2. Synthèse des actions proposées sur les 5 rivières d'études

Après avoir abordé la philosophie générale de l'intervention, l'objet de ce second point sera de proposer des actions concrètes et spécifiques aux 5 rivières d'étude. Plusieurs types d'action seront préconisés en matière d'entretien, de gestion de la connectivité latérale, de réhabilitation et de préservation du corridor végétal.

Les mesures à promouvoir doivent tenir compte de la diversité des tronçons. Il s'agit en effet de cours d'eau à corridor forestier présentant des tronçons plus ou moins anthropisés, parfois ruraux et plus ou moins vulnérables à l'inondation (Ain, Ouvèze à l'aval de Vaison), parfois urbains (Vaison sur l'Ouvéze, Barcelonnette sur l'Ubaye), souvent très touristiques (Giffre, Ardèche à l'aval de Ruoms, basse Ubaye).

## 2.1 L'entretien

Les cours d'eau étudiés ont des caractéristiques physiques particulières (rang intermédiaire, bande active très large, corridor boisé développé) qui expliquent qu'en matière de gestion de l'inondation, aucun impératif d'entretien ne soit réellement dégagé.

L'enlèvement des embâcles n'est ainsi pas nécessaire. Le risque de formation de bouchons organiques ne peut se manifester ici que modérément; il n'est en effet observé que sur les petits cours d'eau, lorsque la longueur des fûts est supérieure à la largeur du lit de la rivière. Sur l'Ouvéze, lors de la crue d'octobre 1992, le mauvais entretien a été jugé partiellement responsable de la catastrophe. Néanmoins, la dynamique morphogène du bois mort a concerné surtout les petits affluents de la rivière tels que le Lauzon et le Groseau qui avaient un lit étroit et une ripisylve vieillissante.

Par ailleurs, le bois mort présente un tonnage peu important sur les rivières de tressage où il se dépose en éléments isolés dans la bande active. Les embâcles et la formation de lignes de débris sont des phénomènes particuliers que l'on observe seulement sur les rivières à méandres dynamiques ou soumises à une crue exceptionnelle.

Si l'entretien ne doit pas nécessairement se concentrer sur les dépôts de bois en transit, des efforts doivent en revanche porter sur des secteurs précis.

Ainsi, un entretien peut s'imposer sur l'Ouvéze à la suite de la crue dans certains secteurs comme la traversée de Vaison, de Roaix et les abords des campings afin de gommer au plus vite les stigmates de la catastrophe. Un entretien à des fins paysagères peut être conduit également sur la forêt riveraine du Giffre à proximité des zones de loisirs des ponts de Morillon et de Samoëns, de l'Ardèche en rive droite du méandre de Chauzon ou sur le tronçon touristique Ruoms - Vallon.

En revanche, des mesures plus impérieuses doivent être prises afin de stopper le flux de déchets divers. Pour cela, il apparaît nécessaire par exemple de déplacer les décharges présentes dans le lit majeur de l'Ain à Saint-Jean-de-Niost - elle était inondée en octobre 1993 -, de l'Ubaye à Faucon - Enchastrayes, du Giffre à Verdevant sur la commune de Taninges ou encore de l'Ouvéze à Violès et de réhabiliter la ripisylve qui existait auparavant. L'Ardèche semble la plus pourvoyeuse de déchets divers qui déprécient la qualité générale de son paysage. Il apparaît impératif de stopper la politique de nombreux riverains qui utilisent ces déchets afin de gagner sur la rivière. La berge située en rive droite à l'amont du Pont de Saint-Didier-sous-Aubenas, est ainsi très altérée sur une longueur importante, du camping au terrain de football. Les anciennes fosses d'extraction du coude d'Aubenas ont également été comblées par des volumes considérables de déchets ménagés que la crue d'octobre 1993 a très largement remobilisés.

## 2.2 La gestion de la connectivité

L'incision du lit des rivières étudiées est sans doute le problème majeur qui se pose à nous et qui influence grandement la dynamique physique de ces corridors forestiers et leur faculté de régénération et de diversification. L'incision d'un lit mineur conduit à une extension des stades mûres de la forêt et à la disparition progressive des caractères azonaux qui faisaient sa spécificité.

Les mesures préconisées en matière de gestion de la charge solide nous intéressent directement. Elles vont influencer la qualité écologique du corridor forestier en favorisant la stabilisation de l'incision ou l'exhaussement. La question de la réversibilité du phénomène est au cœur des recherches actuelles. Sa réponse sera conditionnée par la capacité d'auto-réhabilitation de la rivière et par les volontés riveraines.

Sur l'ensemble du tronçon étudié du Giffre ou sur quelques sites de l'Ubaye, le phénomène de déconnexion est réversible. Une forte charge alluviale permettant une réhabilitation du tronçon existe en raison

de l'arrêt de l'exploitation des stocks alluviaux locaux et d'une charge solide en transit encore importante. En définitive, sur le seul territoire de la commune de Sixt, il semble que l'on puisse estimer à 30.000 m<sup>3</sup>/an au moins le volume moyen de granulats extraits sur le Giffre et ses affluents (Piégay et Peiry, soumis). Ces prélèvements n'engendrent pas de modifications significatives de la stabilité du chenal, comme l'indique la nécessité périodique de curer le lit pour combattre son exhaussement. En l'état actuel, tout porte à penser que la fourniture sédimentaire du bassin supérieur du Giffre excède largement cette valeur, une partie des sédiments franchissant les gorges du Giffre et alimentant le chenal dans la zone d'étude. Ces observations indiquent qu'un transport solide moyen de 50 000 m<sup>3</sup>/an (106 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>) à Marignier (Céric, 1984) n'est probablement pas surestimé.

La question de la réversibilité se pose par contre sur les rivières Ain et Ardèche marquées par un déficit absolu de sédiments. Les flux semblent s'être taris; une réalimentation par recharge latérale est admise sur l'Ain mais le stock sédimentaire ne pourra se reconstituer. La déconnexion, la stabilisation latérale et le vieillissement des peuplements semblent donc inévitables. Ce problème se pose avec plus d'acuité encore sur l'Ardèche. La recharge dans le tronçon étudié paraît également compromise dans la mesure où le substratum a été atteint en de nombreux endroits et les alluvions du lit majeur se trouvent perchées par rapport au lit mineur.

Sur l'Ouvèze, le problème est encore particulier. L'incision récente du lit, liée aux extractions, est reconnue mais la charge en transit reste abondante et dans certains secteurs, le sommet des bancs de galets est encore plus haut que le lit majeur. Sans altérer la connectivité, il peut paraître souhaitable de conduire ponctuellement des curages. Par ailleurs, la question est de savoir s'il ne sera pas parfois nécessaire sur certaine rivière, malgré les risques d'enchaînement, de favoriser une certaine incision qui peut être une mesure écologique et économique nécessaire :

- pour réduire les risques de défluviation,
- pour favoriser, dans des cas bien précis, une érosion latérale à l'origine d'une régénération forestière plus continue dans le temps. La forêt semble en effet aujourd'hui relativement mûre.

La réhabilitation de la connexion est souvent impossible pour des raisons humaines. C'est le cas de l'Ardèche à l'aval de Ruoms, de l'Ubaye à l'aval de Barcelonnette et de l'ensemble du Giffre moyen. Les extractions massives des années 1970 ont en effet conduit à une incision très importante du lit de ces rivières et à une atténuation induite du risque d'inondation.

La vallée du Giffre s'est ouverte très largement à l'activité touristique et ses besoins en terrains plats et aménageables croissaient au moment de l'incision du lit. En 1984, la bande forestière est ainsi démantelée. Elle est perçue tantôt comme une réserve d'espaces sur lesquels se développent les aménagements les plus récents (bases de loisirs, campings, supermarchés) ou les plus répulsifs (décharges domestiques), tantôt comme un espace-ressource (granulats, bois) que les collectivités locales se refusent à concéder à une rivière toujours plus corsetée. L'incision du chenal, en réduisant la fréquence de submersion du lit majeur, a largement favorisé l'accession à ces nouveaux statuts et fait naître un risque nouveau pour les aménagements construits à proximité du chenal. Tout retour en arrière, à supposer qu'il soit envisageable du point de vue géomorphologique, se heurte donc à de nouveaux usages de l'espace riverain.

Deux types de gestion demeurent envisageables :

- 1) Les communautés riveraines peuvent poursuivre la mise en valeur des terres du lit majeur aux dépens du fonctionnement écosystémique. Cela nécessite une amélioration de la protection contre les inondations qui peut être obtenue en renforçant l'endiguement et en autorisant périodiquement des extractions dans le chenal. La dynamique d'exhaussement peut également être bloquée en limitant l'arrivée de la charge depuis l'amont.
- 2) Les communautés riveraines peuvent aussi s'adapter au changement en cours en stoppant les aménagements lourds aussi bien dans le chenal (seuils, digues insubmersibles...) qu'en lit majeur (constructions, bases de loisir...). Il demeure malgré tout le problème des aménagements datant de la période d'incision qu'il semble difficile de déménager dans le contexte socio-économique actuel.

Les collectivités locales ne semblent pas toujours favorables à un système équilibré, biologiquement et physiquement diversifié qui exigerait un espace de remaniement et nécessiterait une adaptation des hommes et des usages à une période d'inondation dans un secteur où le lit majeur est de plus en plus occupé. Sur l'Ardèche, la vocation au tourisme de masse a conduit à multiplier les campings en bord de rivière. Cette implantation autorisée en lit majeur encourage aujourd'hui certains élus à prôner l'incision. A court terme celle-ci augmente la capacité d'évacuation des crues et réduit donc la submersibilité de zones convoitées. Par ailleurs, elle met à nu les dalles calcaires qui seraient selon un gérant de camping, membre d'un conseil communal, plus confortables que les galets. Cette démarche écologiquement aberrante, peut l'être également d'un point de vue économique; J.P. Bravard (1993) remarque qu'à terme, le déficit de la charge en moyenne Ardèche peut se répercuter dans les gorges et entraîner un "durcissement des conditions de franchissement de certains rapides par les amateurs de descente en canoë".

Une irréversibilité de l'évolution, dommageable pour l'écosystème et l'usage dominant qu'est le tourisme est possible sur l'Ardèche. Les volontés locales et les incidences historiques s'additionnent en effet pour favoriser l'incision mais aussi la banalisation du paysage et de l'écosystème.

### 2.3 Réhabiliter et préserver le corridor forestier

Les corridors forestiers des cours d'eau étudiés présentent des caractéristiques écologiques exceptionnelles qui expliquent que des mesures de réhabilitation et de préservation soient largement préconisées.

Il est ainsi possible de proposer de :

**- Préserver les tronçons remarquables.** Cette perspective concerne de nombreux secteurs fonctionnels tels que la confluence avec le Rhône et les derniers tronçons de méandrage de Mollon, Blyes, Bublaine et Villette-sur-Ain sur l'Ain, la zone de tressage à l'amont de Barcelonnette sur l'Ubaye. Elle concerne aussi des ensembles fonctionnels, tels que les sites de La Borie sur l'Ardèche, des Thèzières sur le Giffre et de Champanastais sur l'Ubaye. L'ensemble du corridor du Giffre peut également faire l'objet de mesures de protection, l'argumentation reposant sur sa valeur écologique, patrimoniale (ancienne forêt de protection) et paysagère... Il s'agit d'une forêt exceptionnelle, identifiée comme une Zone Naturelle d'Intérêt Écologique Faunistique et Floristique (ZNIEFF). Sa préservation est d'autant plus importante que cette forêt-galerie, encore presque continue, est soumise à une vive agression autorisée par les communes. Actuellement, une procédure de classement en forêt de protection est lancée par la Direction Départementale de l'Agriculture.

**- Préserver l'érosion latérale.** Ce processus est le moteur de la diversité des habitats et des groupements floristiques des rivières étudiées. Le ralentir peut favoriser l'incision et dans tous les cas stopper la régénération des formes et réduire la diversité phyto-écologique de l'hydrosystème à deux groupements aux caractères extrêmes : une bande active non végétalisée et un corridor forestier climacique.

La préservation du fonctionnement physique et écologique de ces rivières est conditionnée par la définition d'un espace de liberté. Cette politique est possible et à moindre coût dans la mesure où il s'agit de rivières disposant d'un corridor ripicole large et de faible intérêt économique.

Des mesures juridiques et foncières sont également nécessaires pour pérenniser cette zone-tampon. La politique de rachat des terrains peut être conduite sur l'Ain et le Giffre où la plupart d'entre eux sont domaniaux. Orienter la politique départementale dans ce sens peut aussi s'envisager. Sur l'Ubaye, l'Ouvèze et surtout l'Ardèche, une politique d'indemnisation est préférable car la propriété est privée et l'érosion latérale est faible.

- **Réhabiliter certains ensembles fonctionnels.** Le corridor végétal des cinq rivières a été particulièrement agressé durant les années 1970-80 par les extractions de granulats. C'est pourquoi, une politique de réhabilitation des sites doit aujourd'hui être conduite. La reconnexion des souilles d'extraction avec le chenal principal peut être intéressante et permettre à la rivière de reprendre progressivement possession de ces territoires. Il convient pour cela de redynamiser le fonctionnement de ces marges stabilisées et de diversifier la mosaïque en favorisant des zones humides de différentes profondeurs au sein de la forêt alluviale. Ceci peut être proposé sur le site du Vernays sur le Giffre ou sur le tronçon Hameau de Ville - Vogüé sur l'Ardèche.

Il est également nécessaire de favoriser la reconversion des zones de stockage des déchets ou des matériaux de construction. Leur maintien dans le corridor contribue en effet à le déstructurer et à bloquer la régénération latérale. Ceci est surtout le cas sur le Giffre ou l'Ain. Le secteur situé par exemple à l'amont du Clévioux (Giffre) est un site exceptionnel de tressage qui mériterait une réhabilitation. Celle-ci nécessiterait la fermeture de la zone de stockage de matériaux située en rive droite immédiatement à l'aval du tronçon endigué afin de laisser s'auto-reconstituer un corridor pionnier.

Le problème de la réhabilitation de la qualité floristique des forêts alluviales soumises à déconnexion est également soulevé. Il peut parfois être nécessaire d'améliorer la qualité écologique des peuplements. L'Ardèche, aujourd'hui profondément altérée dans sa biodiversité, est à ce titre un exemple caractéristique. Le lit majeur a été déconnecté du lit mineur et le paysage alluvial s'est simplifié et dégradé. La forêt riveraine de l'Ardèche s'appauvrit en espèces ripicoles, la robineraie devenant une unité majeure de la mosaïque (Descoing, 1992; Céric et Akène, 1992).

- **Réhabiliter la continuité du corridor forestier.** L'intérêt multiple des corridors forestiers a largement été démontré. Mais parmi les cinq rivières étudiées, c'est surtout sur l'Ouvèze que la nécessité de conserver une continuité du corridor est le plus impératif car :

- ce cours d'eau est marqué par une tendance générale à l'exhaussement du lit,
- le lit majeur est largement cultivé et se situe à une altitude parfois inférieure à la bande active de la rivière,
- dans de nombreux secteurs, les parcelles viticoles se situent au contact direct de la bande active. C'est le cas de la rive gauche de l'Ouvèze à l'amont du pont de Sablet et au droit du Château de Saint-André à l'amont du Pont de Violès. C'est aussi le cas de la rive droite à l'amont du pont de la départementale D151bis de Vaison-la-Romaine.

Favoriser un corridor boisé continu d'au moins 30 m de largeur destiné à atténuer l'action des crues sur les cultures est une politique que pourrait accepter et éventuellement adopter progressivement les services de l'Etat sur cette rivière. Une étude du tronçon Vaison - Bédarrides, aidée par l'Agence de l'Eau RMC (commission des aides de juillet 1994), devra ainsi définir l'espace de liberté de la rivière et identifier des zones de réhabilitation du corridor forestier.

## CONCLUSION GÉNÉRALE

L'analyse des dynamiques spatiales et temporelles de la forêt alluviale a été abordée au cours de l'époque contemporaine sur cinq cours d'eau à charge grossière du bassin du Rhône : l'Ain, l'Ardèche, le Giffre, l'Ouvèze vauclusienne et l'Ubaye. Elle a permis de mieux comprendre les relations historiques entre l'Homme et les marges riveraines des cours d'eau ainsi que l'importance fonctionnelle de ces marges et de proposer aux gestionnaires quelques axes de gestion adaptés à la spécificité écologique de ces milieux.

Les marges riveraines ont enregistré les mutations socio-économiques des sociétés rurales contemporaines. Ces milieux sont ainsi aujourd'hui beaucoup moins domestiqués qu'ils ne l'étaient au XIX<sup>e</sup> siècle, voire au début du XX<sup>e</sup> siècle. En fait, la forêt alluviale ne peut être considérée comme une entité homogène et statique dans le temps et l'espace.

Deux ensembles de mouvements ont ainsi pu être identifiés; le premier s'inscrit sur plusieurs décennies et se manifeste par une modification complète de la couverture végétale riveraine. C'est pourquoi parle-t-on de biométamorphose par analogie à la "métamorphose fluviale". Le second correspond à des séquences plus courtes d'une à deux décennies et se caractérise par une fluctuation de la superficie forestière, une progression ou une régression latérale du contact forêt - rivière. On parle alors de bioajustement, la géométrie du lit et notamment sa largeur, s'ajustant à une modification des flux hydriques ou minéraux ou à une modification in situ de l'action anthropique.

Les marges des cinq rivières d'étude ont été soumises à une recolonisation par les formations arborées au cours de la période contemporaine. Dans tous les cas, l'Homme est le principal facteur de cette évolution. Il a favorisé une forêt de protection sur le Giffre au XIX<sup>e</sup> siècle afin de se prémunir des nombreuses inondations provoquées par la rivière qui s'exhausse au moment du Petit Age Glaciaire. En reboisant le bassin versant de l'Ubaye à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, il modifia les flux hydriques et minéraux, l'énergie hydraulique dépensée latéralement et favorisa le développement d'une végétation sur les marges du lit mineur. Sur les rivières de piémont, l'abandon après la seconde guerre mondiale des marges prairiales et paturées, autrefois intégrées au finage communal s'est accompagné d'une explosion des formations arborées en lit majeur, d'une modification de la rugosité et par voie de conséquence, d'une progression de la forêt en lit mineur.

L'homme est également à l'origine de fluctuations modestes du contact bande active - forêt. L'activité extractive dans les lits vifs a par exemple contribué à les élargir artificiellement aux dépens de la forêt, celle-ci ayant tendance à recoloniser après le retrait de l'activité un espace plus important que celui qu'elle avait antérieurement.

La dimension latérale est inégalement développée selon les types de rivières. De ce point de vue, les hydrosystèmes alluviaux de rang intermédiaire des régions intra-montagnarde ou de piémont qui ont été étudiés sont parmi les plus intéressants ce qui explique que le fonctionnement physique de ces marges boisées ait été prospecté.

Ces marges exercent un effet filtre d'une grande efficacité vis-à-vis des flux de débordement. Ceci se manifeste par un ralentissement de l'eau et l'apparition de courants transversaux, l'onde de crue se propageant longitudinalement et latéralement, ainsi que par une réduction latérale de l'épaisseur du dépôt sédimentaire et de sa taille granulométrique. Les stades pionniers exercent un effet de peignage optimal et piègent la plus grande part des sédiments en transit dans la mesure où le nombre de troncs par unité de surface est beaucoup plus important que celui observé dans les forêts matures.

Ces formations ligneuses constituent également une importante source de débris ligneux à l'origine de processus originaux. C'est pourquoi, il est possible d'affirmer que les hydrosystèmes forestiers présentent une certaine spécificité par rapport à d'autres organismes. Néanmoins, les rivières drainant un corridor boisé se distinguent les unes des autres en fonction de leur capacité à migrer horizontalement. Plus la rivière est mobile, plus elle sera apte à mobiliser une charge ligneuse. C'est finalement les rivières à méandres qui présentent ainsi le fonctionnement le plus caractéristique à l'origine d'embâcles localisés en berges de concavité. Ceux-ci

constituent une ligne de débris plus ou moins discontinue et favorisent le développement et la pérennité d'axes de débordement préparant le recouplement.

L'analyse du fonctionnement physique de ces marges a montré qu'il n'existait pas de gradients latéraux simples d'ordre sédimentologique, hydrologique, pédologique ou micromorphologique dans la mesure où la rivière modifiait constamment les conditions d'écoulement dans la plaine à la suite de déplacements horizontaux ou de recouplements. Par conséquent, une mosaïque sédimentaire régie par une mosaïque d'écoulements, d'inégale vitesse et de directions différentes, est à l'origine d'une mosaïque végétale exceptionnelle. Cette dernière dispose selon l'âge des unités, d'une rugosité variable qui intervient rétroactivement sur la mosaïque hydraulique initiale.

Cette boucle interactive a ainsi mis en lumière la nécessité de préserver la connectivité latérale, c'est-à-dire le fonctionnement naturel de l'hydrosystème, car elle seule permet la conservation de la dynamique de régénération des formes et la pérennité de la diversification de la "mosaïque fluviale".

Ces deux axes de recherche ont permis d'obtenir des résultats qui ont pu être rapidement pris en compte dans la gestion des rivières de vallées alluviales. Les gestionnaires ont ainsi pris conscience de la nécessité :

- de protéger, voire de restaurer, les marges boisées riveraines qui constituent des espaces naturels, récents et originaux qui sont une source de diversité et donc de qualité à la fois biologique et paysagère, un contact de sécurité dans la mesure où ces formations végétales filtrent les flux morphogènes de débordement et préservent les cultures et les infrastructures présentes en lit majeur de la destruction. Cette démarche s'inscrit dans une perspective de gestion territoriale et doit prendre en compte deux phénomènes, l'érosion de berge qui est à l'origine de la spécificité de ces espaces, et leur propriété, la parcellisation extrême des zones riveraines des cours d'eau non domaniaux ne permettant de conduire qu'une gestion territoriale ponctuelle, individuelle et finalement contraire à la préservation du fonctionnement écologique optimal d'un ensemble fonctionnel.

- de gérer ces espaces dans la mesure où ils constituent un risque pour les habitants et l'activité économique de la plaine. En effet, en réduisant la largeur du lit lors de son essor ou en l'obstruant par des embâcles à la suite d'une alimentation en débris ligneux grossiers d'autant plus importante que le chenal se déplace horizontalement et que la forêt est mûre, celle-ci peut réduire la capacité d'écoulement de la rivière et augmenter la hauteur de l'inondation et l'espace inondé. Dans ce cadre là, le gestionnaire doit en fonction de la nature et de la pression de l'occupation anthropique, intervenir pour réduire le risque. Ceci se manifeste par la restauration de la capacité d'écoulement et son entretien ainsi que par la limitation de l'érosion latérale.

- de promouvoir une gestion dite "spécialisée", c'est-à-dire intervenant non plus sur un linéaire mais sur un espace et modulant les actions en fonction de la spécificité de chaque tronçon, celle-ci concernant tout autant les aspects écologiques que les aspects humains, économiques et fonciers. Ainsi, il est possible de penser que les Schémas d'Aménagement et de Gestion des Eaux devraient favoriser à moyen terme sur les rivières de plaines alluviales, des études complémentaires et interdépendantes portant sur un zonage "inondabilité", un zonage "érodabilité" et un plan territorialisé et pluri-annuel d'entretien. Ce dernier devra notamment préciser les secteurs à préserver qui seront soumis à l'érosion et à l'inondation. Ils constitueront des secteurs biologiques remarquables dans lesquels la complexité structurale des formations végétales et les mécanismes de régénération des débris ligneux grossiers seront conservés et des secteurs de rétention et de ralentissement dynamique des crues. Ce plan territorialisé devra enfin préciser les secteurs devant faire l'objet d'un entretien, celui-ci étant gradué en fonction de la pression anthropique riveraine.

## BIBLIOGRAPHIE



- Agence Financière de Bassin Seine-Normandie , 1979, - "Influence de la forêt et du déboisement sur le débit des cours d'eau, étude bibliographique", Agence Financière de Bassin Seine-Normandie , Paris, 42 pp.
- Amat J.P. et Hotyat M. , 1988, - "Biogéographie forestière : de la statistique à la cartographie", in : Mélanges offerts à Gabriel Rougerie, "Paysages, aménagement, cadre de vie", Association Française de Géographie Physique, Paris, 195-215.
- Amoros C., M. Richardot - Coulet et G. Pautou, 1982, - "Les ensembles fonctionnels : des entités écologiques qui traduisent l'évolution de l'hydrosystème en intégrant le géomorphologique et l'anthropisation (exemple du Haut-Rhône français)", *Revue de Géographie de Lyon*, 57 : 49-62.
- Amoros C., Bravard J.P., Reygrobellet J.L., Pautou G. et Roux A.L., 1988, - "Les concepts d'hydrosystème et de secteur fonctionnel dans l'analyse des systèmes fluviaux à l'échelle des écosystèmes", *Bull. Ecol.*, 19(4) : 531-546.
- Amoros C. et Roux A.L., 1988. Interaction between water bodies within the floodplains of large rivers: function and development of connectivity. in K.-F. Schreiber (Hrsg): Connectivity in Landscape Ecology Proceedings of the 2nd International Seminar of the International Association for Landscape Ecology, Münstersche Geographische Arbeiten 29, 125-130.
- Amoros C. et Petts G.E. (sous la direction de) , 1993, - "Hydrosystèmes fluviaux", Masson, Coll. d'écologie - 24, 300 pp.
- Anderson N. H., Sedell J. R., Roberts L. M. et Triska F. J., 1978, - "The role of aquatic invertebrates in processing of wood debris in coniferous forest streams", *Am. Midl. Nat.*, 100(1) : 64-82.
- Angemeier P.L. et Karr J.R., 1984, - "Relationships between woody debris and fish habitat in a small warmwater stream", *Transactions of the American Fisheries Society*, 113 : 716-726.
- Arnaud-Fassetta G. , Ballais J.L. , Beghin E. , Jorda M. , Meffre J.C., Provansal M., Roditis J.C. et Suanez S. , 1993, - "La crue de l'Ouvèze à Vaison-la-Romaine (22 septembre 1992)", *Revue de Géomorphologie Dynamique*, XLII (2) : 34-48.
- Arrignon J., Rouyer G. et Chancerel F., 1975, - "La sauvegarde des intérêts piscicoles au cours des travaux d'aménagement des cours d'eau", *La Houille Blanche*, 2-3 : 117-124.
- Avocat C., 1979, - "Montagnes de lumière (Briançonnais, Embrunais, Queyras, Ubaye) : essai sur l'évolution humaine et économique de la haute montagne intra alpine.", Imprimerie Fayolle et Cie, Villeurbanne, 68Q pp.
- Bagnold R.A., 1966 - "Stream power: an approach to the sediment transport problem from general physics" Prof. Paper, US Geol. Surv. 422 I.
- Bardet J.P. et Dupâquier J. (sous la direction de), 1980, - "Paroisses et communes de France (départements de la région Rhône-Alpes)", CNRS, 8 vol.
- Baudrillard M., 1831, - "Mémoire sur le reboisement des montagnes et sur les moyens d'en arrêter les progrès et d'opérer le repeuplement des parties qui en sont susceptibles", Imprimerie de Mme Huzard, Extrait du bulletin de la Sté d'Encouragement pour l'Ind. Nationale, cahiers de janvier et février 1831, Digne, 18 pp.
- Bazire P. et Gadant J., 1991, - "La forêt en France", les études de la documentation française, Paris, 142 pp.
- Behmer D.J. et Hawkins C.P., 1986, - "Effects of overhead canopy on macroinvertebrate production in a Utah stream", *Freshwat. Biol.*, 16, 287-300.
- Benke A.C., Henry R. L., Gillespie D.M. et Hunter R.J., 1985, - "Importance of snag habitat for animal production in southeastern streams", *Fisheries*, 10(5) : 8-13.
- Benner P.A. et Sedell J.R., 1987, - "chronic reduction of large woody debris on beaches at Oregon river mouths", in : Eighth Annual Meeting of the Society of Wetland Scientists, Seattle, Washington, 335-341.
- Benoit S., 1993, - "L'usage énergétique de l'eau : droit et pratiques révolutionnaires" in M.F. Corvol : *La Nature en Révolution*, l'Harmattan, Paris, 46-58.

Berenguer J., 1993, - "Les dommages causés à l'agriculture en Vaucluse et dans le sud de la Drôme le 22 septembre 1992", *Revue de Géographie de Lyon* (Risques naturels dans le couloir rhodanien, les excès pluviométriques), **68 (2-3)** : 171-174.

Bergeron N. et Roy A.G., 1985, - "Le rôle de la végétation sur la morphologie d'un petit cours d'eau", *Géographie Physique et Quaternaire*, **39(1)** : 323-326.

Beroutchavili N. et Bertrand G., 1978, - "Le Géosystème ou Système territorial naturel", *Rev. Géogr. des Pyrénées et du Sud-Ouest*, **42(2)** : 167-180.

Bertrand G., 1968, - "Paysages et géographie physique globale, Esquisse méthodologique", *Rev. Géogr. des Pyrénées et du Sud-Ouest*, 249-272.

Bertrand G., 1978, - "Le paysage entre la Nature et la Société", *Rev. Géogr. des Pyrénées et du Sud-Ouest*, **42(2)** : 239-258.

Beschta R.L., Bilby R.E., Brown G.W., Holtby L.B., Hofstra T.D., 1987, - "Stream temperature and aquatic habitat : Fisheries and forestry interactions", In Salko E.O. et Cundy T.W. (eds), *forestry and fishery interactions*, University of Washington, Institute of forest resources, Seattle, Chapitre 6.

Béthémont J. et Bravard J.P., 1986, - "Gabcikovo : un grand projet et une controverse", *Rev. Géogr. Lyon*, **25** : 19-41.

Bilby R.E., 1979, - "The fonction and distribution of organic debris dams in forest streams ecosystems", Ph. D. Thesis, Cornell University, Ithaca, N. Y., 148 pp.

Bilby R.E. et Likens G.E., 1980, - "Importance of organic debris dams in the structure and function of stream ecosystem", *Ecology*, **61** : 1107-1113.

Bilby R.E., 1981, - "Role of organic debris dams in regulating the export of dissolved and particulate matter from a forested watershed", *Ecology*, **62(5)** : 1234-1243.

Bilby R.E. et Ward J.W., 1989, - "Changes in characteristics and fonction of woody debris with increasing size of streams in Western Washington", *Transactions of the American Fisheries Society*, **118** : 368-378.

Bilby R.E. et Bisson P.A., 1992, - "Allocthonous versus autocthonous organic matter contributions to the trophic support of fish populations in clear-cut and old growth forested streams", *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **49**, 540-551.

Binder W., 1980, - "chap. VII : Ouvrages hydrauliques et entretien des cours d'eau : l'expérience bavaroise", in *Millieux naturels, illustration de quelques réussites*, 87-107.

Binder W., Jürging P. et Karl J., 1983, - "Natural river engineering - characteristics and limitations", *Garten+Landschaft* (Landscape Architecture + Planning), **2** : 91-98.

Bisson P.A., Nielsen J.L., Palmason R.A., Grove L.E., 1981, - "A system of naming habitat types in small streams, with examples of habitat utilization by salmonids during low streamflow", In, Armantrout N.B.(ed.), *Acquisition and utilization of aquatic habitat inventory information*, Portland, Oregon, American fisheries society, 62-73.

Bisson P. A., Bilby R. E., Bryant M.D., Dolloff C.A., Grette G.B., House R.A., Murphy M.L., Koski K.V. et Sedell J.R., 1987, - "Large woody debris in forested streams in the Pacific Northwest: past, present and future", in Salo E. O. et Cundy T. W. (ed.), *Streamside Management: Forestry and Fishery Interactions*, College of Forest Resources, University of Washington, Seattle, 143-190.

Blanc X., Pinteur F. et Sanchis Th., 1989, - "Conséquences de l'enfoncement du lit de l'Arve sur les berges et les ouvrages. Bilan général des transports solides sur le cours d'eau", *la Houille Blanche*, **3-4** : 226-230.

Blanchet G. et Deblaere J.C., 1993, - "L'épisode pluvio-orageux catastrophique de septembre 1992 dans le Sud-Est de la France : analyse pluviométrique et météorologique", *Revue de Géographie de Lyon* (Risques naturels dans le couloir rhodanien, les excès pluviométriques), **68 (2-3)** : 129-138.

Boon P.J., 1992, - "Essential Elements in the Case for River Conservation", in P.J. Boon, P. Calow et G.E. Petts (eds), *River Conservation and Management*, 11-33.

Boussu M. F., 1954, - "Relationship between trout populations and cover on a small stream", *J. Wild. Manag.*, **18(2)** : 229-239.

Bozon P., 1961, - "La vie rurale en Vivarais, étude géographique", Ministère de l'Education Nationale et CNRS, 641 pp.

Braga G. et Gervasoni S., 1989, - "Evolution of the Po river: an example of the application of historic maps", in G. E. Petts (eds.), *Historial Change of Large Alluvial Rivers : Western Europe*, J. Wiley and Sons Ltd, 127-143.

Bravard J.-P., 1981, - "La Chautagne, dynamique de l'environnement d'un pays savoyard", Inst. Et. Rhod., Mémoires et documents 18, Lyon, 182 pp.

Bravard J.-P., 1983, - "Les sédiments fins des plaines d'inondation dans la vallée du Haut-Rhône (Approche qualitative et spatiale)", *Revue de Géographie Alpine*, **LXXI(4)** : 363-379.

Bravard J.-P., 1986a, - "Le Rhône, du Léman à Lyon", la Manufacture, Lyon, 450 pp.

Bravard J.-P., 1986b, - "La basse vallée de l'Ain : dynamique fluviale appliquée à l'écologie", in Roux A.L. (ed.), *Recherches interdisciplinaires sur les écosystèmes de la basse vallée de l'Ain (France) : potentialités évolutives et gestion*, Doc. Carto. Ecol., **XXIX** : 17-43.

Bravard J.-P., 1989, - "La métamorphose des rivières des Alpes françaises à la fin du moyen-âge et à l'époque moderne", *Bull. Soc. Géog. de Liège*, **25** : 145-157.

Bravard J.-P., Franc O., Landon N., Large J.L. et Peiry J.L., 1990, - "La basse vallée de l'Ain : étude géomorphologique", PIREN-CNRS - Agence de l'Eau RMC, 113 pp.

Bravard J.-P., Malavoi J.R. et Amoros C., 1991, - "L'Ain, ou la difficulté de gérer une rivière en cours de métamorphose", in : Université Jean Moulin, Centre de recherche en Géographie et Aménagement, Actes de la journée d'étude du 17 mars 1989 : Rivières en crise, Lyon, 57-71.

Bravard J.-P., 1991, - "La dynamique fluviale à l'épreuve des changements environnementaux: quels enseignements applicables à l'aménagement des rivières?", *La Houille Blanche*, **7-8** : 515-521.

Bravard J.-P., 1993, - "Quelques caractères de la morphodynamique fluviale des gorges de l'Ardèche", In *Géomorphologie et Aménagement de la montagne*, Hommage à P. Gabert, Bull. 42, Centre de Géomorphologie, C.N.R.S, Caen, 23-32.

Bravard J.-P., 1994, - "L'incision des lits fluviaux : du phénomène morphodynamique naturel et réversible aux impacts irréversibles", *Revue de Géographie de Lyon*, **69(1)** : 5-10.

Bravard J.-P., in press, - "Intérêt et limites des cartes anciennes pour l'étude des rivières alpines", Notes de recherche n°11, *Soc. Géogr. de Liège*.

Bravard J.-P., soumis, - "Flood hazard and their management in France", in EMBLETON ed.

Brice J.C., 1964, - "Channel patterns and terraces of the Loup river in Nebraska", U.S. Geological Survey, Prof. Paper, 422-D, 1-41.

Brookes A., 1988, - "Channelized rivers, perspectives for environmental management", J. Wiley and Sons Ltd, 326 pp.

Brookes A., 1989, - "Alternatives for channel modification", in J.A. Gore and G.E. Petts (Eds.), *Alternatives in regulated river management*, CRC Press, Boca Raton, Florida, 139-162.

Brossard T., Joly D. et Pierret P., 1993, - "Déprise agricole et fermeture des paysages", *Mappemonde*, **3** : 17-21.

Brown A.G., 1983, - "An analysis of overbank deposits of a flood of Blandford Forum, Dorset, England", *Rev. de Géomorpho. Dyn.*, **32**, 95-99.

Brun A., 1963, - "Etude géologique des formations quaternaires de la région de Montluel et Saint-Maurice-de-Gourdans (Ain)", Doctorat 3° cycle, Fac. Sciences, Lyon, 141pp.

Brunet R.C., Pinay G., Gazelle F. et Roques L., 1994, - "Role of the floodplain and riparian zone in suspended matter and nitrogen retention in the Adour river, South-West France", *Regulated Rivers Res. Manag.*, **9** : 55-63.

- Brusven M.A., Meehan W.R. et Ward J., 1986, - "Summer use of simulated undercut banks by juvenile chinook salmon in an artificial Idaho channel", *North Am. J. of Fish. Man.*, **6**, 32-37.
- Bryant M. D., 1981, - "Organic debris in salmonid habitat in southeast Alaska : Measurement and effects", in N.B. Armantrout (Ed.), *Acquisition and utilization of aquatic habitat inventory information*, Portland Oregon, 259-265.
- Bryant M.D., 1982, - "Organic debris in salmonid habitat in southeast Alaska: measurement and effects", in N.B. Armantrout (Ed.), *Acquisition and utilization of aquatic habitat inventory information*, American fisheries society, Portland, Oregon, 259-265.
- Bryant M.D., 1983, - "The role and management of woody debris in west coast salmonid nursery streams", *North Am. Journal of Fish. Man.*, **3** : 322-330.
- Bryant M.D., 1985, - "Changes 30 years after logging in large woody debris, and its use by salmonids", in *Riparian Ecosystems and their Management*, Fifth North American Riparian Conference, Tucson, Arizona, 329-334.
- Buer K., Forwalter D., Kissel M. et Stholer B., 1989, - "The middle Sacramento river: human impacts on physical and ecological processes along a meandering river", in Abell D.L. (ed.), *Proceedings of the California Riparian Systems Conference : Protection, Management and Restoration for the 1990's*, 1988 september 22 - 24, U.S.D.A Forest Service, Gen. Tech. Rep. PSW-110, Davis, 22-32.
- Bugert R.M., Bjorn T.C. et Meehan W.R., 1991, - "Summer habitat use by young Salmonids and their responses to cover and predators in a small Southeast Alaska stream", *Trans. Am. Fish. Soc.*, **120** : 474 - 485.
- Bustard D.R. et Narver D.W., 1975a, - "Aspects of the winter ecology of juvenile Coho Salmon and Steelhead Trout", *J. Fish. Res. Board. Can.*, **32** : 667-680.
- Bustard D. R. et Narver D. W., 1975b, - "Preferences of juvenile Coho Salmon and Cutthroat Trout relative to simulated alteration of winter habitat", *J. Fish. Res. Board. Can.*, **32** : 681-687.
- Cacas M., Degoutte M., Dutartre M., Gross M. et Vuillot M., 1986, - "Aménagement des rivières, trois études de cas", Ministère de l'Environnement et Ministère de l'Agriculture , 68 pp.
- Calland V., Dessaix-Jolivet J. et Centofanti M., 1994, - "Analyse typologique du Vidourle, participation au projet d'étude du fonctionnement de l'écosystème aquatique "VIDOURLE" - Phase 1", Rapport, ARALEPBP et DIREN Languedoc - Roussillon, 27p + annexes.
- Campbell I.C. et Doeg T.J., 1989, - "Impact of timber harvesting and production on streams: a review", *Aust. J. Mar. Freshwater Res.*, **40** : 519-539.
- Cancela da Fonseca J. P. , 1993, - "Community composition : complexity versus diversity", *Bulletin d'écologie*, **24(1)** : 31-40.
- Carbiener R., 1970, - "Un exemple de type forestier exceptionnel pour l'Europe occidentale: la forêt du lit majeur du Rhin au niveau du fossé rhénan", *Vegetatio*, **20** : 97-148.
- Cédrat, 1984, - "Opération "Ardèche Claire" (étude préliminaire au contrat de rivière)", Direction Départementale de l'Équipement, 7 volumes et cartes.
- Cémagref (Ministère de l'environnement et Ingénierie des Eaux Continentales de Bordeaux), 1988, - "Gestion des bordures de cours d'eau : Evolutions, Fonctions et Intérêts des ripisylves", en coll. CERR Toulouse et IDF Toulouse, 90 p.
- Cémagref , Algoe et EDF-CNEH , 1993, - "Etude d'aménagement coordonné de la vallée de l'Ubaye", Syndicat mixte de défense contre les crues dans le bassin de l'Ubaye, 5 volumes + annexes.
- Cérec et Akène, 1992, - "Aménagements de la rivière Ardèche , secteur de la boucle d'Aubenas entre le pont de la RN 104 et le hameau de Ville", Synd. Intercom. de la Vallée de l'Ardèche et Direction départementale de l'Agriculture, Rapport, profil en travers et cartes.
- Céric, 1973, - "Vallée du Giffre, études hydrologiques et hydrauliques, prélèvements de graviers, Schéma d'aménagement", Direction départementale de l'agriculture de Haute-Savoie, 42p + profils et cartes.

- Céric, 1984, - "Etude générale d'aménagement hydraulique du Giffre, communes de Sixt-Samoëns-Verchaix-Morillon", Syndicat intercommunal à vocations multiples du haut Giffre.
- Chalemont J., 1989, - "Deux indices prévisionnels de l'évolution démographique des populations de bois tendres (Salix) après abaissement de la nappe phréatique, exemple de l'aménagement de Chautagne (Ain)", Université Joseph Fourier, Grenoble, 74 pp.
- Chamussy H., Dumolard P., Charre J., Durand M.G. et Le Berre M., 1987, - "Initiation aux pratiques statistiques en géographie", Masson, 2è Ed., 179 pp.
- Charlton F.G., Brown P.M., Benson R.W., 1978, - "The hydraulic geometry of some gravel rivers in Britain", Report IT 180, Hydraulic Research Station, Wallingford, U.K..
- Charre J., Miellat P., Waniez P., 1991, - "Pratique des systèmes d'information géographique raster", G.I.P. Reclus, 56 pp.
- Chastan B., Gilard O. et Lavabre J., 1993, - "Les difficultés d'estimation rapide des débits observés en crue : exemple de la crue de l'Ouvèze du 22 septembre 1992", *Revue de Géographie de Lyon* (Risques naturels dans le couloir rhodanien, les excès pluviométriques), **68 (2-3)** : 153-158.
- Chondroyannis P., 1992, - "Ubaye, la forêt reconstruite; le sentier de découverte du Rioux-Bourdoux", Office National des Forêts , Alpes de Haute-Provence VIVRE NATURE, Imprimerie Esmenjaud, Gardanne, 112 pp.
- Chow V.T., 1959, - "Open-channel hydraulics", McGraw-Hill, New-York.
- Clément A.M., 1985, - "Impact des travaux de canalisation sur la faune benthique des cours d'eau en milieu agricole ", Ministère Loisir, Chasse et Pêche, Gouvernement du Québec, 64 pp.
- Clifton C., 1989, - "Effects of vegetation and land use on channel morphology", in R. E. Gresswell (eds.), *Practical approaches to riparian resource management*, an educational workshop, Billings, Montana, 121-129.
- CNR, 1987, - "Etude générale d'avant-projet de travaux d'aménagement de la rivière d'Ain entre le pont de Gévrioux et le Rhône", Syndicat intercommunal pour la protection et la mise en valeur de la rivière d'Ain, notice et cartes.
- CNR, 1989, - "Aménagement de la rivière Ardèche entre Saint-Etienne de Fontbellon et Vogüé, Etude de définition des travaux; DEA n°89-138", Synd. Intercom. de la Vallée de l'Ardèche.
- Combe P.M., 1991, - "Etude préalable à la mise en place d'une gestion intégrée de la basse vallée de l'Ain. Vol. 4 : Enjeux économiques", GRAIE, Conseil Général de l'Ain et Agence de l'Eau RMC, 98 pp.
- Combes F., 1982, - "Un centenaire: le grand barrage Demontzey", *Revue forestière française*, numéro spécial Restauration des Terrains en Montagne, **5** : 80-86.
- Comby J., 1993, - "Bilan social et économique de la séquence orageuse du 22 septembre 1992 dans le sud du couloir rhodanien", *Revue de Géographie de Lyon* (Risques naturels dans le couloir rhodanien, les excès pluviométriques), **68 (2-3)** : 175-192.
- Conseil Général des Ponts et Chaussées, 1992, - "Crues et inondations du 22 septembre 1992 dans les départements de Vaucluse, de la Drôme et de l'Ardèche", rapport, 97 pp.
- Copp G.E., Olivier J.M., Penaz M., Roux A.L., 1992 - "Juvenile fishes as functional descriptors of fluvial ecosystem dynamics: applications on the River Rhône, France", *Reg.Rivers Res. Manag.* , **6** : 135-145.
- Couvreur S., 1982, - "Un statut juridique à revoir: "les forêts de protection"", *Revue forestière française*, numéro spécial Restauration des Terrains en Montagne, **5** : 72-78.
- Crisp D.T., 1989, - "Some impacts of human activities on trout *salmon trutta* populations", *Freshwat.Biol.*, **21**, 21-33.
- Cummins K.W., Sedell J.R. et Swanson F.J., 1983, - "Organic matter budgets for stream ecosystems : problems in their evaluation", *Stream Ecology*, 299-353.
- Dahlskog S., 1966, - "Sedimentation and vegetation in a Lapland mountain delta", *Geographiska Annaler*, **48A** : 86-101.

Dawson F.H. et Kern-Hansen V., 1979, - "The effect of natural and artificial shade on the macrophytes of lowland streams and the use of shade as a management technique", *Int. Revue Ges. Hydrobiol.*, **64** (4), 437-455.

Dawson F.H., Haslam S.M., 1983, - "The management of river vegetation with particular reference to shading effects of marginal vegetation", *Landscape Planning, Biotechnical engineering series*, **10**, 147-169.

Décamps H. et Naiman R.J., 1989, - "L'écologie des fleuves", *La Recherche*, **208** (20), 310-319.

Décamps H., Fortuné M. et Gazelle F., 1989, - "Historical changes of the Garonne river, southern France", in G.E. Petts (ed.), *Historical change of large alluvial rivers : Western Europe*, J. Wiley and Sons Ltd, Chichester, 79-93.

de Mardigny, 1857, - "Etudes relatives aux inondations, rivière de l'Ardèche", rapport de l'ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, 50 pp.

de Mardigny, 1860, - "Mémoire sur les inondations des rivières de l'Ardèche", 63 pp.

Demontzey P., 1882, - "Traité pratique de reboisement et du gazonnement des montagnes", J. Rothschild Ed., Paris, 528 pp.

Denozière P., 1985, - "L'état et les eaux non domaniales", Lavoisier, Paris, 306 pp.

Derruau M., 1974, - "Précis de Géomorphologie", Masson, 451 pp.

de Saint Seine J., 1992, - "Hydraulique et génie civil, un exemple spécifique, les crues de l'Ouvèze en 1992", CETE Méditerranée, Rapport.

Descoings B., 1992, - "La revégétalisation en rivière méditerranéenne (principes et éléments)", Soc. Bot. de l'Ardèche, Synd. Intercom. de la Vallée de l'Ardèche, 52 pp.

Dethioux M. et Van Damme P., 1987, - "Essai de stabilisation de berges au moyen de végétaux ligneux, cas d'un bouturage le long du Geer", notes techniques du centre d'écologie forestière et rurale n° 52, Gembloux, Belgique, 16 pp.

Dethioux M., 1988, - "Végétation et protection des berges", Centre de recherche et de promotion forestières, Gembloux, Belgique, 14 pp.

Direction Départementale de l'Agriculture et Conseil Général de l'Ain, 1990, - "Schéma à vocation piscicole et halieutique de l'Ain".

Direction Départementale de l'Agriculture et Conseil Général des Alpes de Haute Provence, 1987, - "Schéma à vocation piscicole et halieutique des Alpes de Haute Provence, Bassin de l'Ubaye", Propositions au groupe de travail, réunion du 1-12-87, 78 pp.

Direction Départementale de l'Agriculture et Conseil Général de l'Ardèche, 1989, - "Schéma à vocation piscicole et halieutique de l'Ardèche".

Direction Départementale de l'Agriculture et Conseil Général de Haute-Savoie, 1985, - "Schéma à vocation piscicole et halieutique de Haute-Savoie".

Direction Départementale de l'Agriculture et Conseil Général de Vaucluse, 1988, - "Schéma à vocation piscicole et halieutique de Vaucluse".

Direction Départementale de l'Équipement de l'Ain, 1976, - "Étude globale des érosions entre Poncin et Saint-Maurice-de-Gourdans", rapport.

Dister E., 1992, - "La maîtrise des crues par la renaturation des plaines alluviales du Rhin supérieur", *Bull. Soc. Ind. de Mulh.*, Les espaces naturels rhénans, **824-1** : 73-82.

Dolloff C.A., 1986, - "Effects of cleaning on juvenile Coho Salmon and Dolly Varden in Southeast Alaska", *Transactions of the Am. Fish. Society*, **115** : 743-755.

Douguedroit A., 1976, - "Les paysages forestiers de Haute-Provence et des Alpes-Maritimes, géographie - écologie - histoire", Edisud et C.N.R.S., Connaissance du monde méditerranéen, Aix-en-Provence, 550 pp.

Dresch J., 1984, - "Les géographes français et la forêt", *Revue Géographique des Pyrénées et du Sud Ouest*, **55**(2) : 301-308.

Dubois J.J., 1988, - "Les notions phytodynamiques et leur validité pour une étude de biogéographie historique : l'exemple des forêts du Nord de la France", in : *Mélanges offerts à Gabriel Rougerie, "Paysages, aménagement, cadre de vie"*, Association Française de Géographie Physique, Paris, 147-157.

Dujardin J.M., 1994, - "Bassin de l'Ardèche : la crue du 22 septembre 1992", in : Société Hydrotechnique de France, *23èmes Journées de l'Hydraulique : Crues et inondations*, Nîmes (France) 14-15-16 septembre, **1** : 183-189.

Dupont Ph., 1991, - "La gestion intégrée des milieux aquatiques, une démarche nécessaire et incontournable", *La Houille Blanche*, **7-8** : 591-594.

Durocher M. et Roy A.G., 1986, - "Les conséquences du déboisement d'un versant sur la morphologie d'un petit cours d'eau", *Géographie Physique et Quaternaire*, **XL**(1) : 99-104.

EDF, 1990, - "L'hydrologie de la basse vallée de l'Ain", 5p + annexes.

Edouard J.-L. et H. Vivian, 1984, - "Une hydrologie naturelle dans les Alpes du Nord? Les nouveaux paramètres de l'hydrologie alpine, les aménagements hydroélectriques", *Rev. Géogr. Alp.*, **2-3-4** : 165-188.

Elliott S.T., 1986, - "Reduction of a Dolly Varden population and macrobenthos after removal of logging debris", *Trans. Am. Fish. Soc.*, **115** : 392-400.

Epidor et Cémagref, 1994, - "Départements du Lot et de la Corrèze : instabilité des berges de la Dordogne, analyse et propositions d'interventions", 36 pp.

Everest F.H., S.J. R. Reeves G.H., Hohler D.B. et Cain T.C., 1988, - "Changes in habitat and populations of Steelhead Trout, Coho Salmon, and Chinook Salmon in Fish Creek, Oregon, 1983-87, as related to habitat improvement", USDA Forest Service, Annual Report 1987, 115 pp.

Eynard-Machet R., 1993, - "Anciens cadastres et évolution des paysages : cartographie historique de l'occupation des sols dans les Alpes de Savoie, France", *Revue de Géographie Alpine*, **LXXXI**(3) : 51-66.

Fagot P., Gadiolet P., Magne M. et Bravard J.P., 1989, - "Une étude dendrochronologique dans le lit majeur de l'Ain : la forêt alluviale comme descripteur d'une "métamorphose" fluviale", *Revue de Géographie de Lyon*, **64**(4) : 213-223.

Fausch K.D., Northcote T.G., 1992, - "Large woody debris and Salmonid habitat in a small Coastal British Columbia stream", *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **49** : 682-693.

Ferguson R.I., 1981, - "Channel forms and channel changes", in : J. Lewin (eds.), *British rivers*, G. Allen and Unwin, London, 90-125.

Ferguson R.I., 1986, - "Hydraulics and hydraulic geometry", *Progress in Physical Geography*, **10** : 1-31.

Flageollet J.C., de Fraipont P., Gourbesville P., Tholey N. et Trautmann J., 1993, - "La crue de l'Ouvèze de septembre 1992 : origines, effets, enseignements", *Revue de Géomorphologie Dynamique*, **XLII** (2) : 57-72.

Forman R.T.T. et Godron M., 1986, - "Landscape ecology", John Wiley and Sons, 619 pp.

Forward C.D., 1984, - "Organic debris complexity and its effect on small scale distribution and abundance of coho fry populations in Carnation Creek, British Columbia", *B.S.F. Thesis*, Univ. of British Columbia.

Franklin J.F., 1988, - "Structural and functional diversity in temperate forests", in : Wilson E.O., Ed. Biodiversity, National Academy Press, Washington, DC, 166-174.

Frissell C.A., Liss W.J., Warren C.E. et Hurley M.D., 1986, - "A hierarchical framework for stream habitat classification : viewing streams in a watershed context", *Environmental Management*, **10**(3) : 199-214.

Frochot B. (sous la direction de), 1993, - "Diversité et valeur patrimoniale des peuplements d'oiseaux nicheurs de la Loire sur l'ensemble du cours - de l'écologie à la conservation", Ministère de l'environnement et Université de Bourgogne, 60 pp.

Fuller R.L., Fry T.J., 1991, - "The influence of temperature and food quality on the growth of *Hydropsyche betteni* (Trichoptera) and *Simulium vittatum* (Diptera)", *J. of Freshwat. Ecol.*, **6** (1) : 75-86.

Fustec E., 1988, - "Le problème des nitrates dans les plaines alluviales, impact des ripisylves sur l'évolution des teneurs en nitrates dans la nappe et dans le fleuve; exemple de la moyenne vallée de la Garonne", Ministère de l'Équipement, du Logement, de l'Aménagement du Territoire et des Transports, 52 pp.

Gard R., 1961, - "Creation of trout habitat by constructing small dams", *J. Wild. Manag.*, **52**(4) : 384-390.

Gautier E., 1992, - "Recherches sur la morphologie et la dynamique fluviales dans le bassin du Buech (Alpes du sud)", *Thèse de Géographie*, Université de Paris X - Nanterre, 439 pp.

Gautier E., 1993, - "Diguements et colmatages du Buech (Hautes-Alpes)", in : Université Lyon III (textes réunis par F. Piquet), *Le fleuve et ses métamorphoses*, Didier Érudition, Paris, Lyon 13-14-15 mai 1992, 233-243.

Gillard O., Oberlin G. et Chastan B., 1993, - "Inondabilité : une méthode pour gérer rationnellement l'occupation des sols en lit majeur", in : *Réunion de la V<sup>e</sup> section du CGGREF (17-11-93)*, 11 pp.

Gillard O. et Piégay H., 1995 (sous presse), - "Vers une gestion spatialisée et intégrée des zones inondables", numéro spécial de la *revue Eaux de Rhône-Méditerranée-Corse*, Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse, 6p.

G.I.R.E.A., 1987. Aménagement écologique des berges des cours d'eau navigables, la berge interface terre-eau : ses caractéristiques, fonctions et utilisations. Belgique, rapport n°1. Ministère des travaux publics, 68 p.

Girel J., 1986, - "Télé-détection et cartographie à grande échelle de la végétation alluviale : exemple de la basse plaine de l'Ain", *Doc. Carto. Ecol. XXIX*, Univ. Sciences, Grenoble, 45-74.

Girel J., 1993, - "Endiguements et colmatages sardes dans la vallée de l'Isère à l'aval d'Albertville", in : Université Lyon III (textes réunis par F. Piquet), *Le fleuve et ses métamorphoses*, Didier Érudition, Paris, Lyon 13-14-15 mai 1992, 217-232.

Glitz D., 1983, - "Artificial channels - the "ox-bow" lakes at tomorrow : the restoration of the course of the Wandse in Hambourg-Rahlstedt", *Garten+Landschaft (Landscape Architecture + Planning)*, **2** : 109-111.

Gondé R., 1981, - "Les aménagements du lit de la Durance et l'évolution du milieu naturel", Ministère de l'Environnement et du cadre de vie, rapport, 65 pp.

Gorman T.O. et Karr J.R., 1978, - "Habitat structure and stream fish communities", *Ecology*, **59**(3) : 507-515.

Graf W.L., 1982, - "Distance decay and arroyo development in the Henry Mountains, Utah", *American Journal of Science*, **282** : 1541-1554.

GRAIE, en cours, - "Etude, aménagement et gestion des cours d'eau", document annexe au Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux du bassin Rhône-Méditerranée-Corse.

Gregory J.D. et Stokoe J.L., 1981, - "Streambank Management", in : *American Fisheries Society, Warmwater Streams Symposium*, 276-281.

Gregory K.J., Gurnell A.M. et Hill C.T., 1985, - "The permanence of debris dams related to river channel processes", *Hydrological Sciences Journal*, **30**(3) : 371-381.

Gregory K.J. et Gurnell A.M., 1988, - "Vegetation and river channel form and process", in Heather Viles (eds.), *Biogeomorphology*, Oxford, 11-42.

Gregory K.J., 1992, - "Vegetation and river channel process interactions", in : P.J. Boon, P. Calow et G. E. Petts (eds.), *River Conservation and Management*, 255-269.

Gregory K.J. et Davis R.J., 1992, - "Coarse woody debris in stream channels in relation to river channel management in woodland areas", *Regulated Rivers Res. Manag.*, **7** : 117-136.

Gregory S.V., Lamberti G.A., Moore K.M.S., 1989, - "Influence of valley floor landforms on stream ecosystems" *In Proceedings of the California Riparian Systems Conference, Protection, Management*

*and Restoration for the 1990's*; 1988 september 22 -24, Davis, U.S.D.A Forest Service, Gen. Tech. Rep. PSW110, 3-8 .

Grette G.B., 1982, - "The role of large organic debris in juvenile salmonid rearing habitat in small streams", *M.S. Thesis*, Univ. of Washington, Seattle, 105 p.

Gurnell A.M. et Gregory K.J., 1984, - "The influence of vegetation on stream channel processes", in : T.P. Burnt et D.E. Walling (eds.), *Catchment experiments in geomorphology*, 515-535.

Häckl D., 1983, - "The redesign of an urban riverside landscape, flood alleviation at Kötztling", *Garten+Landschaft (Landscape Architecture + Planning)*, **2** : 103-106.

Hadley R.F., 1961, - "Influence of riparian vegetation on channel shape, northeastern Arizona", U.S. Geol. Surv. Prof. Paper 424-C, 30-31.

Hall J.D., Lantz R.L., 1969, - "Effects of logging on the habitat of coho salmon and cutthroat trout in Coastal streams", *In Symposium on salmon and trout in streams*, University of British Columbia, Vancouver, 355-375 .

Harmon M.E., Franklin J.F., Swanson F.J., Sollins P., Gregory S.V., Lattin J.D., Anderson N.H., Cline S.P., Aumen N.G., Sedell J.R., Lienkaemper G.W., Cromack Jr. K., Cummins K.W., 1986, - "Ecology of coarse woody debris in temperate ecosystems", in A. MacFadayan et E.D. Ford (eds.), *Advances in ecological research*, Academic Press, London, 133-302.

Harmon M.E., Cromack K. et Smith B.G., 1987, - "Coarse woody debris in mixed-conifer forests, Sequoia National Park, California", *Can. J. For. Res.*, **17** : 1265-1272.

Harr R.D., 1980, - "Streamflow after patch logging in small drainages within the Bull Run Municipal Watershed, Oregon", Pacific Northwest Forest and Range Experiment Station, USDA Forest Service, Research Paper PNW- 268, 16 pp.

Harr R.D., Levno A. et Mersereau R., 1982, - "Streamflow changes after logging 130-year-old Douglas-fir in two small watersheds", *Water Resources Research*, **18**(3) : 637-644.

Harwood K. et Brown A.G., 1993, - "Short communication : fluvial processes in a forested anastomosing river : flood partitioning and changing flow patterns", *Earth Surface Processes and Landforms*, **18** : 741-748.

Haury J., 1985, - "Etude écologique des macrophytes du Scroff (Bretagne Sud)", *Thèse Docteur Ingénieur*, U.E.R. Sciences de la vie et de l'environnement Rennes I, 239 pp.

Hawkins C.P., Murphy M.L., Anderson N.H., 1982, - "Effects of canopy, substrate composition, and gradient on the structure of macroinvertebrate communities in cascade range streams of Oregon", *Ecology*, **63** (6), 1840-1856.

Hawkins C.P., Murphy M.L., Anderson N.H. et Wilzbach M.A., 1983, - "Density of fish and salamanders in relation to riparian canopy and physical habitat in streams of the Northwestern United States", *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **40** : 1173-1185.

Heede B.H., 1972, - "Influence of a forest on the hydraulic geometry of two mountain streams", *Water Resources Bull.*, **8** : 523-530.

Heede B.H., 1977, - "Influence of forest density on bedload movement in a small mountain stream", *Hydrology and water resources in Arizona and the Southwest*, **7** : 103-107.

Heede B.H., 1985, - "Interactions between streamside vegetation and stream dynamics", U.S.D.A. Forest Service, Gen. Tech. Rep. RM-120, 54-58.

Heifetz J., Murphy M.L. et Kosky K.V., 1986, - "Effects of logging on winter habitat of juvenile salmonids in alaskan streams", *North Am. J. of Fish. Manag.*, **6** : 52-58.

Hey R.D. et Thorne C.R., 1986, - "Stable channels with mobile gravel-bed rivers", *Journal of Hydraulic Engineering*, **8** : 671-689.

Hickin E.J., 1974, - "The development of meanders in natural channels", *Am. J. Sci.*, **274** : 414-442.

Hickin E.J. et Nanson G.C., 1975, - "The character of channel migration on the Beatton river, Northeast British Columbia, Canada", *Géol. Soc. Am. Bull.*, **86** : 487-494.

- Hickin E.J., 1984, - "Vegetation and river channel dynamics", *Canadian Geographer*, 28(2) : 110-126.
- Hickin E.J. et Nanson G.C., 1984, - "Lateral migrations of river bends", *Journal of Hydraulic Engineering*, 110, 11p.
- Hickin E.J., 1993, - "Fluvial facies models : a review of Canadian research", *Progress in Physical Geography*, 17(2) : 205-222.
- Hicks B.J., Hall J.D., Bisson P.A., Sedell J.R., 1991, - "Responses of salmonids to habitat changes", In Meehan W.R. (eds.), *Influence of forest and rangeland management on salmonid fishes and their habitats*, 483-518.
- Holland M.M. (coordinateur), 1988, - "Scope-Mab technical consultations on landscape boundaries", report of Scope-Map workshop on ecotones, Biological International, special issue, 17 : 47-106.
- Holleaux A., Tendron G., Leynaud G. et Lethier H., 1990, - "Assises de l'Eau : rapport du groupe de travail "protection des milieux naturels aquatiques"", Ministre délégué à l'environnement et à la prévention des risques technologiques et naturels majeurs, 41 pp.
- Holman G., Evans W.A., 1964, - "Stream clearance project completion report for Noyo River, Mendocino county", Sacramento, California Department of Fish and Game, report 64-10.
- Holopainen A.L., Huttunen P., Ahtiainen M., 1991, - "Effects of forestry practices on water quality and primary productivity in small forest brooks", *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 24 : 1760-1766.
- Hooke J.M., 1977, - "The distribution and nature of changes in river channel pattern", in Gregory K.J. (eds.), *River channel Changes*, J. Wiley and Sons Ltd, Chichester, 265-280.
- Hooke A.L. et Redmond C.E., 1989, - "Use of cartographic sources for analysis river channel change with examples from Britain", in G.E. Petts (eds.), *Historical change of large alluvial rivers : Western Europe*, J. Wiley and Sons Ltd, Chichester, 79-93.
- House R.A. et Boehne P.L., 1986, - "Effects of instream structures on salmonid habitat and populations in Tobe Creek, Oregon", *North Am. J. of Fish. Manag.*, 6 : 38-46.
- House R.A. et Sangster E.K., 1991, - "Public perception of river-corridor management", in : *IWEM 90 Conference*, 312-317.
- Houzaud G., 1988, - "Une démarche systémique : à quels systèmes se vouer?", in : *Mélanges offerts à Gabriel Rougerie, "Paysages, aménagement, cadre de vie"*, Association Française de Géographie Physique, Paris, 23-31.
- Hupp C.R. et Osterkamp W.R., 1984, - "Geomorphic and Vegetative Characteristics along Three Northern Virginia Streams", *Geological Society of America Bulletin*, 95 : 1093-1101.
- Hupp C.R. et Osterkamp W.R., 1985, - "Bottomland Vegetation Distribution along Passage Creek, Virginia, in Relation to Fluvial Landforms", *Ecology*, 63(6) : 670-681.
- Hunter C.J., 1991 - "Better trout habitat, a guide to stream restoration and management", Palmer T. (eds), *Montana Land Reliance*, 320 p.
- Johnston C.A. et Naiman R.J., 1987, - "Boundary Dynamics at the Aquatic-Terrestrial Interface : the Influence of Beaver and Geomorphology", *Landscape Ecology*, 1 : 47-57.
- Kajak Z., 1991, - "The river Vistula and its floodplain valley (Polland) : its ecology and importance for conservation", in P.J. Boon, P. Calow et G.E. Petts (Eds.), *River conservation and management*, J. Wiley and Sons, Chichester, U.K., Chap. 3 : 35-49.
- Kapfer A., 1993, - "La pluie du 22 septembre 1992 sur le département de Vaucluse, impact sur les bassins versants", RHEA-Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse, 14p + annexes.
- Karpati I. et Karpati V., 1958, - "Elm - ash - oak (*Quercus-Ulmetum hungaricum* Soo) turning into white poplar dominated stands", *Acta Agronomica Ac. Sci. Hung.*, 8 : 267-283.
- Keller E.A. et Swanson F.J., 1979, - "Effects of large organic material on channel form and fluvial processes", *Earth Surface Processes and Landforms*, 4 : 361-380.
- Keller E.A. et Tally T., 1979, - "Effects of large organic debris on channel form and fluvial processes in the coastal redwood environment", in D.D. Rhodes and G.P. Williams (Eds.), *Adjustments of the fluvial system*, Proceedings of the tenth annual geomorphological symposium, 169-197.
- Keller E.A. et Macdonald A., 1983, - "Large organic debris and anadromous fish habitat in the coastal redwood environment : the hydrologic system", Office of the Director California Water Resources Center, Univ. of California, Davis, Technical Completion Report, 48 pp.
- Kellerhals R. et Bray D.I., 1971, - "Sampling Procedures for Coarse Fluvial Sediments", *Journal of the Hydraulics Engineers*, 97(HY8) : 1165-1180.
- Kellerhals R. et Church M., 1986, - "The morphology of large rivers : characterization and management", In D.P. Dodge (eds.), *Proceedings of the International Large River Symposium*, Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences 106, 31-48.
- Kouwen N. et Ruh-Ming L., 1980, - "Biomechanics of vegetative channel linings", *Journal of the hydraulics division*, 106(HY6) : 1085-1103.
- Lachat B., 1991, - "Le cours d'eau, Conservation, Entretien et Aménagement", Conseil de l'Europe, Comité directeur pour la protection et la gestion de l'environnement et du milieu naturel, Strasbourg, 84 pp.
- Lachat B., 1994, - "Guide de protection des berges de cours d'eau en techniques végétales", Ministère de l'Environnement, 143 pp.
- Lalanne-Berdouticq G., 1985, - "Aménagement et entretien des rivières en milieu rural, méthode d'étude et techniques de travaux", Ministère de l'agriculture (Direction de l'aménagement) et Compagnie d'Aménagement des Coteaux de Gascogne, Tarbes, 154 pp.
- Lambert R., 1994, - "De la crue du débit de base des rivières du bassin garonnais d'août à octobre alors que perdure la sécheresse atmosphérique", in : *Potamologie d'hier et d'aujourd'hui : aménagements et cours d'eau* (Actes des Journées Hydrologiques - Centenaire Maurice Paré), Institut de Géographie Alpine, Grenoble, 22-24 septembre 1993, Dossiers de la revue de Géographie Alpine n°12, 117-123.
- Landon N., 1990, - "Géomorphologie de la basse rivière d'Ain de Pont d'Ain au confluent", *mémoire de maîtrise d'aménagement du territoire*, Université Jean Moulin - Lyon III, 129 pp.
- Landon N., 1991, - "Etude méthodologique de la dynamique fluviale d'un bassin versant: le cas de l'Herbasse", *DEA interface Homme-Nature et problèmes d'aménagement*, Université Jean Moulin - Lyon III, 93 pp.
- Landon N., Franc O. et J.P. Bravard, 1993, - "L'Herbasse (Drôme), proposition d'une gestion douce pour une rivière stabilisée", in : *L'Eau, la Terre et les Hommes, Hommage à René Frécaut*, Presses Universitaires de Nancy, Nancy, 383-390.
- Landon N. et Piégay H., 1994, - "L'incision de deux affluents sub-méditerranéens du Rhône : la Drôme et l'Ardèche", *Revue de géographie de Lyon*, 69 (1) : 63-72.
- Lane E.W., 1957, - "A study of the shape of channels formed by natural streams flowing in erodible material" MRD Sediment Series n°9, U.S. Army Engineer Division, Missouri River, 106 pp.
- Langbein W.B. et Leopold L.B., 1964, - "River meanders; theory of minimum variance", Prof. Paper 422H, U.S. Geological Survey, 15 pp.
- Larinier M., 1980, - "Effets mésologiques des extractions de granulats dans le lit mineur des cours d'eau", in *C. Coll. FAO, Vichy*, 192-211.
- Lavauden L., 1933, - "Instruction sommaire sur les reboisements dans les Basses-Alpes".
- Lecarpentier C., 1963, - "La crue de juin 1957 en Ubaye et ses conséquences morphodynamiques", *Thèse de doctorat de 3° cycle*, Faculté de Géographie, Université de Strasbourg.
- Le Fellic A., 1992, - "L'ordination des cours d'eau du bassin versant du Rhône", *Mém. de maîtrise*, Université Jean Moulin - Lyon III.
- Legendre L. et Legendre P., 1979, - "Ecologie numérique : tome 1 - Le traitement multiple des données écologiques", Masson et les Presses de l'Université du Québec, 178 pp.

- Lemée G., 1967, - "Précis de biogéographie", Masson et Cie, 358 pp.
- Leopold L.B. et Wolman M.G., 1957, - "River channel pattern : braided, meandering, and straight", U.S. Geol. Survey, Prof. Paper, 292-B : 39-85.
- Lepart J. et Escarre J., 1983, - "La succession végétale, mécanismes et modèles : analyse bibliographique", *Bulletin d'écologie*, 14(3) : 133-178.
- Le Roy Ladurie E., 1967, - "Histoire du climat depuis l'an mil", Flammarion, 367 pp.
- Lewin J., 1983, - "Changes of channel patterns and floodplains", in K.J. Gregory (eds.), *Background to Palaeohydrology*, 303-319.
- Lienkaemper G.W. et Swanson F.J., 1986, - "Dynamics of large woody debris in streams in old-growth Douglas-fir forests", *Can. J. For. Res.*, 17 : 150-156.
- Lisle T.E., 1981, - "Roughness elements: a key resource to improve anadromous fish habitat", in T.J. Hassler (Eds.), *Proceedings of the Propagation, Enhancement and Rehabilitation of Anadromous Salmonid Populations and Habitat in the Pacific Northwest Symposium*, Humboldt State University, Arcata, CA, 93-98.
- Lisle T.E., 1989, - "Channel-dynamic control on the establishment of riparian trees after large floods in northwestern California", in : D.L. Abell (eds.), *Proceedings of the California Riparian Systems Conference : Protection, Management and Restoration for the 1990's*, U.S.D.A Forest Service, Gen. Tech. Rep. PSW-110, Davis, 9-13.
- Lyll C., 1969, - "Principles of Geology", The Sources of Science N° 84, Vol. 2, New York.
- Lynch J.A., Corbett E.S. et Hoopes R., 1977, - "Implications of forest management practices on the aquatic environment", *Fisheries*, 2(2) : 16-22.
- Macklin M.G., Rumsby B.T. et Newson M.D., in press, - "Historic flood and vertical accretion of fine-grained alluvium in the lower Tyne valley, North East England", in : Billi P., Hey R., Tacconi P et Thome C. (eds.), *Dynamics of gravel bed rivers*, J. Wiley and Sons, 21 pp.
- Maillard P., 1981, - "Observations sur l'enfoncement du lit de la Loire", in *L'écologie et l'aménagement de la Loire*, Ministère de l'Environnement, Missions des études et recherches, Paris, France.
- Malanson G.P., 1993, - "Riparian landscapes", Cambridge University Press, Cambridge studies in ecology, Cambridge, 296 pp.
- Malavoi J.R., 1985, - "La basse vallée de l'Ain, étude hydrologique et morphodynamique", *Mémoire de maîtrise*, Université Jean Moulin - Lyon III, 156 pp.
- Malavoi J.R. et Payen L., 1991, - "Scénarios de restauration écologique du Guiers Mort entre Saint-Laurent du Pont et Entre-Deux-Guiers", CIPEA et SRAE Rhône-Alpes, rapport, Syndicat Intercommunal de la Vallée du Guiers, 70 pp.
- Malye F., Barba S., et Genès B., 1993, - "Dossier spécial : villes inondables", *50 millions de consommateurs*, 265 : 8-42.
- Mandier P., 1988, - "Le relief de la moyenne vallée du Rhône au Tertiaire et au Quaternaire, essai de synthèse paléogéographique", document BRGM n°151, 3 vol..
- Marston R.A., 1982, - "The geomorphic significance of log steps in forest streams", *Annals of Association of American Geographers*, 72(1) : 99-108.
- Marston R.A. et al., 1992, - "Changes in geomorphic processes in the Snake river following impoundment of Jackson lake and potential changes due to 1988 fires in the watershed", Final Report prepared for National Park Service, Rocky Mountain Regional Office, Denver, Colorado, 103 pp.
- Maser C., Tarrant R.F., Trappe J.M. et Franklin J.F., 1988, - "From the forest to the sea : a story of fallen trees", Pacific Northwest Research Station, USDA Forest Service, General Technical Report PNW-GTR-229, Portland, Or., 153 pp.
- Maurin A., 1992, - "Le cadastre en France", CNRS, Marseille, 427 pp.

- Meehan W.R., Swanson F.J. et Sedell J.R., 1977, - "Influence of riparian vegetation on aquatic ecosystems with particular references to salmonid fishes and their food supply", in USDA Forest Service, Gen. Tech. Rep. RM-43, *Importance, preservation and management of riparian habitat*, 137-145.
- Meehan W.R., Brusven M.E. et Ward J.F., 1987, - "Effects of artificial shading on distribution and abundance of juvenile chinook salmon", *Great Basin Naturalist*, 47(1) : 22-31.
- Mergoïl G. et Roudie P., 1991, - "Friches et recensements de l'agriculture", *Revue de Géographie de Lyon*, 66(1) : 5-10.
- Merlin (cabinet d'étude), 1989, - "Schéma d'aménagement hydraulique de l'Ouvèze", Conseil Général de Vaucluse et Conseil Général de la Drôme, Lyon, 97 pp +138 pp + annexes.
- Mermet L. (sous la direction de), 1993, - "Innover pour une gestion plus écologique des fleuves : rapport du groupe de travail sur l'innovation en matière d'aménagement et de gestion de l'espace fluvial. Rapport de synthèse", Direction de l'Eau, Ministère de l'Environnement, 105 pp.
- Merrell T.R., 1951, - "Stream improvement as conducted in Oregon on the Clatskanie River and tributaries", *Fish Comm. Oregon Res. Briefs*, 3 : 41-47.
- Meyzenc C., 1984, - "Hautes-Alpes : Ubaye, Haut-Drac, Préalpes drômoises : pays de transition entre Alpes du Nord et Alpes du Sud", Ophrys, 954 pp.
- Michelot J.L., 1990a, - "La basse vallée de l'Ain, étude préalable à la mise en place d'une gestion intégrée. Etude sur la faune terrestre", Rapport à l'Agence de l'Eau RMC, Lyon, 67 pp.
- Michelot J.L., 1990b, - "Les conflits pour l'aménagement de l'espace au confluent Ain-Rhône", *An. de Géogr.*, 555 : 513-530.
- Ministère de l'environnement, 1985, - "L'entretien des cours d'eau", cahier technique de la direction de la prévention des pollutions, 100 pp.
- Ministère de l'Environnement, 1990, - "La gestion des rivières", cahier de l'environnement n°1, 256 pp.
- Ministère des affaires internes de l'état de Bavière, 1990, - "Rivières et fleuves : maintenir, développer, adapter", Agence de l'Eau RMC (traduction), 162 pp.
- Moore M.S. et Gregory S.V., 1989, - "Geomorphic and riparian influences on the distribution and abundance of salmonids in a cascade mountain stream", in : Abell D.L. (eds.), *Proceedings of the California Riparian Systems Conference : Protection, Management and Restoration for the 1990's* ; 1988 september 22 - 24, Gen. Tech. Rep. PSW-110, U.S.D.A Forest Service, Davis, 256-261.
- Moring J.R., Garman G.C. et Mullen D.M., 1985, - "The value of riparian zones for protecting aquatic systems : general concerns and recent studies in Maine", in : *Riparian Ecosystems and their Management*, Fifth North American Riparian Conference, Tucson, Arizona, 315-319.
- Morisawa M., 1985, - "Rivers", Longman, Londres, 222 pp.
- Mortensen E., 1977, - "Density-dependant mortality of trout fry and its relationship to the management of small streams", *J. Fish. Biolo.*, 11 : 613-617.
- Mosley P., 1981, - "The influence of organic debris on channel morphology and bedload transport in a New Zealand forest stream", *Earth Surface Processes and Landforms*, 6 : 571-579.
- Mougin P., 1914, - "Les torrents de la Savoie", Société d'Histoire Naturelle de Savoie, Grenoble, 1251 pp.
- Mougin P., 1931, - "La restauration des Alpes", Paris, Imprimerie Nationale.
- Möller H.M. et Wefers K., 1983, - "The restoration of cut-off river channels as illustrated by the lower reaches of the Krückau in the District of Pinneberg", *Garten+Landschaft (Landscape Architecture + Planning)*, 2 : 107-108.
- Murphy M.L., Hawkins C.P., Anderson N.H., 1981, - "Effects of canopy modification and accumulated sediment on stream communities", *Trans. Am. Fish.Soc.*, 110, 469-478.
- Murphy M.L., Kosky K.V., Heifetz J., Johnson S.W., Kirchofer D., Thedinga J.F., 1984, - "Role of large organic debris as winter habitat of juvenile salmonids in alaskan streams", in *Proceedings Western Association of Fish and Wildlife Agencies*, 251-262.

- Naiman R.J., Décamps H., Pastor J. et Johnston C.A., 1988, - "The potential importance of boundaries to fluvial ecosystems", *Journal of the North American Benthological Society*, 7 : 289-306.
- Naiman R.J., Johnston C.A. et Kelley J.C., 1988, - "Alteration of North American streams by beaver. the structure and dynamics of streams are changing as beaver recolonize their historic habitat", *Bioscience*, 38(11) : 753-762.
- Naiman R.J., Décamps H., 1990, - "The ecology and management of aquatic-terrestrial ecotones", Paris, Man and the Biosphere series, Unesco, 4, 316 pp.
- Nanson G.C., 1977, - "Channel migration, floodplain formation and vegetation succession on a meandering -river floodplain in Northeastern British Columbia, Canada", *Ph. D. Thesis*, Simon Fraser Univ., Burnaby, British Columbia, 349 pp.
- Nanson G.C. et Beach H.F., 1977, - "Forest succession and sedimentation on a meandering-river floodplain, Northeastern British Columbia, Canada", *Journal of Biogeography*, 4 : 229-251.
- Nanson G.C., 1980, - "Point bar and floodplain formation of the meandering Beatton river, Northeastern British Columbia, Canada", *Sedimentology*, 27 : 3-29.
- Néboit R., 1983, - "L'homme et l'érosion", Faculté des Lettres et Sciences Humaines de l'Université de Clermont-Ferrand II, Nouvelle Série, Fascicule 17, 183 pp.
- Nègre R., 1980, - "Dynamisme végétal de l'Ouvèze", in *Colloques phytosociologiques*, IX, les forêts alluviales, Strasbourg, 171-190.
- Nicod J., 1993, - "Effets de l'événement torrentiel du 22 septembre 1992 dans la combe diapirique de Suzette (Vaucluse)", *Etudes de géographie physique - Travaux 1993*, XXII - URA 903 CNRS - Université Aix-Marseille I, 19-29.
- O'Connor M.D. et Ziemer R.R., 1989, - "Coarse woody debris ecology in a second-growth sequoia sempervirens forest stream", in Abell D.L. (eds.), *Proceedings of the California Riparian Systems Conference : Protection, Management and Restoration for the 1990's*, 1988 september 22 - 24, U.S.D.A Forest Service, Gen. Tech. Rep. PSW-110, Davis, 165-171.
- O'Connor N.A., 1992, - "Quantification of submerged wood in a lowland Australian stream system", *Freshwat.Biol.*, 27 : 387-395.
- Ollero-Ojeda A., 1993, - "L'aménagement de l'Ebre moyen à méandres libres : la progression des activités humaines sur le système lit-berges et ses conséquences", in : Université Lyon III (textes réunis par F. Piquet), *Le fleuve et ses métamorphoses*, Didier Erudition, Paris, Lyon 13-14-15 mai 1992, 263-270.
- Ollero-Ojeda A., 1994, - "Aménagement et gestion de l'Ebre dans la région de Saragosse : un projet de récupération écologique et sociale du système fluvial", in : Actes du colloque publiés sous la direction de J. Riser, *Aménagement et gestion des grandes rivières méditerranéennes*, n° spécial des Etudes Vauclusiennes, N°5, Avignon (8, 9 et 10 septembre 1993), 79-89.
- Osborne L.L., Kovacic D.A., 1991, - "Riparian vegetated buffer strips in stream restoration and management", in *International Workshop on Lowland Stream Restoration*, Lund, 19 p.
- Pagny P., 1988, - "Climats et cours d'eau de France", Masson, Paris, 243 pp.
- Pardé M., 1925, - "Le régime du Rhône, étude hydrologique", *Etudes Rhodaniennes*, Lyon, 883 et 440 pp.
- Passega R., 1963, - "Analyses granulométriques, outil géologique pratique", *Revue de l'Institut Français du Pétrole*, 18(11) : 1489-1498.
- Passega R. et Byramjee R., 1969, - "Grain-size image of clastic deposits", *Sedimentology*, 13 : 233-252.
- Pautou G., Girel J., Lachet B. et Aïn G., 1979, - "Recherches écologiques dans le Haut-Rhône français", *Doc. Carto. Ecol.*, XXII, 1-63.
- Pautou G. et Bravard J.P., 1982, - "L'incidence des activités humaines sur la dynamique de l'eau et l'évolution de la végétation dans la vallée du Haut-Rhône français", *Revue de Géographie de Lyon*, 1 : 63-79.
- Pautou G., 1984, - "L'organisation des forêts alluviales dans l'axe rhodanien entre Genève et Lyon; comparaison avec d'autres systèmes fluviaux", *Documents de cartographie écologique*, 43-64.
- Pautou G. et Décamps H., 1985, - "Ecological interactions between the alluvial forests and hydrology of the upper Rhône", *Arch. Hydrobiol.*, 104(1) : 13-37.
- Pautou G., Décamps H., Amoros C. et Bravard J.P., 1985a, - "Successions végétales dans les couloirs fluviaux : l'exemple de la plaine alluviale du Haut-Rhône français", *Bull. Ecol.*, 16(3) : 203-212.
- Pautou G., Girel J. et Maman L., 1985b, - "Le rôle des processus allogéniques dans le déroulement des successions végétales : l'exemple de la plaine alluviale du Rhône entre Genève et Lyon", in : Colloques phytosociologiques, XIII, *Végétation et Géomorphologie*, Bailleul, 655-663.
- Pautou G. et Wuillot J., 1989, - "La diversité spatiale des forêts alluviales dans les files du Haut-Rhône français", *Bull. Ecol.*, 20(3) : 211-230.
- Pautou G., Peiry J.L., Girel J., Borel J.L., Long A., Foussadier R. et Girard G., 1993, - "L'évolution d'une vallée alpine au contact d'une grande agglomération : la basse vallée du Drac à l'amont de Grenoble", Rapport préliminaire n°1, Université J. Fourier, Conseil Général de l'Isère et Comité Drac Vivant.
- Pautou G. et Girel J., 1994, - "Interventions humaines et changements de la végétation alluviale dans la vallée de l'Isère (de Montmélian au Port de Saint-Gervais)", *Rev. Géogr. Alp.*, 2 : 127-146.
- Peiry J.L., 1987a, - "Channel degradation in the middle river, France", *Reg. Riv. Res. Manag.*, 1/2 : 183-188.
- Peiry J.L., 1987b, - "Dynamique fluviale historique de l'Arve dans le bassin de Cluses (Haute-Savoie)", in *112° Congrès national des Sociétés savantes*, Lyon, 95-108.
- Peiry J.L., 1988, - "Approche géographique de la dynamique spatio-temporelle des sédiments d'un cours d'eau intra-montagnard : l'exemple de la plaine alluviale de l'Arve (Haute-Savoie)", *Thèse de Géographie et Aménagement*, Université J. Moulin - Lyon III, 378 pp.
- Peiry J.L., 1989, - "L'utilisation du cadastre sarde de 1730 pour l'étude des rivières savoyardes : l'exemple de la vallée de l'Arve (Haute-Savoie)", *Revue de Géographie de Lyon*, 64(4) : 197-203.
- Peiry J.L., 1993, - "L'ingénieur et la rivière dans la vallée de l'Arve (Haute-Savoie) et ses conséquences sur la dynamique fluviale contemporaine", in : Université Lyon III (textes réunis par F. Piquet), *Le fleuve et ses métamorphoses*, Didier Erudition, Paris, Lyon 13-14-15 mai 1992, 245-255.
- Peiry J.L. et Pupier N., 1994, - "La notion de lit fluvial sur les rivières alpines et méditerranéennes et ses implications pour la gestion du chenal", in : Actes du colloque publiés sous la direction de J. Riser, *Aménagement et gestion des grandes rivières méditerranéennes*, N° spécial des Etudes Vauclusiennes, n°5, Avignon (8, 9 et 10 septembre 1993), 51-57.
- Peiry J.L. et Vivian H., 1994, - "Dynamique des crues et réduction de la capacité du chenal consécutive à la construction d'un barrage hydroélectrique : l'exemple du Drac inférieur en amont de Grenoble", in : Société Hydrotechnique de France, *23èmes Journées de l'Hydraulique : Crues et inondations*, Nîmes (France) 14-15-16 septembre, 1 : 321-329.
- Penka M., Vyskot M., Klimo E. et Vasicek F., 1985, - "Floodplain forest ecosystem 1. Before water management measures", *Academia*, Praha, 466 pp.
- Peterjohn W.T., Correl D.L., 1984, - "Nutrient dynamics in an agricultural watershed, observations on the role of a riparian forest", *Ecology*, 65 (5) : 1466-1475.
- Petersen R.C., Petersen L.B. et Laçoursière J., 1992, - "A building block model for stream restoration", in P.J. Boon, P. Calow et G.E. Petts (eds.), *River Conservation and Management*, 13p.
- Petit F., 1991, - "L'influence des plantations de résineux en fond de vallée sur l'évolution géomorphologique de rivières de Haute-Belgique.", in : Colloque international : *Impacts liés aux travaux d'aménagement sur les cours d'eau. Evaluation, méthodes, aide à la gestion*, Ministère de la Région Wallonne, Wépion, Belgique (10-11-12 septembre), 341-352.
- Petts G. E., 1989, - "Historical analysis of fluvial hydrosystems", in G.E. Petts, Möller H. and A.L. Roux (eds.), *Historical Change of Large Alluvial Rivers, Western Europe*, Great Britain, 1-19.



- Petts G.E., Möller H. et Roux A.L. (eds.), 1989, - "Historical change of large alluvial rivers, Western Europe", J. Wiley and Sons, Paris, 355 pp.
- Petts G.E., 1990, - "The role of ecotones in aquatic landscape management", in R.J. Naiman et H. Décamps (eds.), *The ecology and management of aquatic - terrestrial ecotones*, Man and Biosphere series, Unesco, Paris, 227-261.
- Piégay H., 1991, - "Processus morphodynamiques et structures fonctionnelles de la forêt alluviale de l'Ain (secteur de Mollon)", *Mémoire de DEA*, Université Jean Moulin - Lyon III, 2 Vol., 80 pp et 156 pp.
- Piégay H. et Bravard J.P., 1993, - "Processus biomorphodynamiques et métamorphose fluviale: exemple du secteur de Mollon dans la plaine alluviale de la basse vallée de l'Ain", *Revue de Géomorphologie Dynamique*, XLII(4) : 123-138.
- Piégay H., 1993, - "Nature, mass and preferential sites of coarse woody debris deposits in the lower Ain valley (Mollon reach), France", *Regulated Rivers Res. Manag.*, 8(4) : 359-372.
- Piégay H., 1993, - "Impact de la crue de l'Ouvèze du 22 septembre 1992 sur la forêt alluviale", *Mappemonde* (n° spécial, facettes de SIG), 4 : 3.
- Piégay H., Bravard J.P. et Dupont P., 1994a, - "Les ripisylves et les crues dans la France du sud-est : de l'histoire à la gestion contemporaine", in : *Société Hydrotechnique de France*, 23ème Journées de l'Hydraulique : *Crues et inondations*, Nîmes (France) 14-15-16 septembre, 1 : 277-289.
- Piégay H., Bravard J.P. et Dupont P., 1994b, - "The French water Law : a new approach for alluvial hydrosystem management, French alpin et perialpin stream exemples)", in : R.A. Marston et V.R. Hasfurther, Annual summer symposium of the American Water Resources Association, *Effects of human-induced changes on hydrologic systems*, American Water Resources Association, Jackson Hole, Wyoming, USA, 371-383.
- Piégay H., 1994, - "Le rôle des héritages morphologiques et des structures biologiques dans la genèse, la capacité de migration et la préparation du recoupement d'un pédoncule de méandre, le cas de Mollon, basse vallée de l'Ain", in : *Journées de la commission "Hydrosystèmes continentaux"* du Comité national de Géographie, Livret-guide de l'excursion Ain et Haut-Rhône, 21-22-23 septembre 1994, 6 pp.
- Piégay H., sous presse (1995), - "Quelques modes de représentation infocartographique de la biodynamique fluviale : analyse diachronique et synchronique de la forêt alluviale de la moyenne Ardèche", sous la direction de M. Hotyat, Commission de biogéographie du Comité national de Géographie, 7 pp.
- Piégay H. et Maridet L., sous presse (1995), - "Formations végétales arborées riveraines des cours d'eau et potentialités piscicoles (revue bibliographique)", *Bull. Franç. de Pêche et Piscicult.*, 1 : sous presse, 15 pp.
- Piégay H. et Lama E., sous presse (1995), - "L'intégration des stratégies foncières individuelles dans la gestion des lits majeurs boisés (exemple de quatre rivières de rang intermédiaire du bassin du Rhône", *Rev. Géogr. Alp.*, 1.
- Piégay H. et Peiry J.L., soumis, - "Water level evolution of a mountain river and gravel management : example of the middle valley of the Giffre river (Haute-Savoie, France)", *Environmental Manag.*
- Piégay H. et Bravard J.P., soumis, - "The reactions of a mediterranean riparian forest to a major hydrological event, the 1 in 400 year flood (22.09.1992) in the Ouvèze river, Drôme-Vaucluse, France", *Earth Surface Processes and Landforms*.
- Pinay G., 1986, - "Impact of a riparian forest on the nitrogen content of phreatic water in the Garonne basin", in Lauga J., Décamps H., Holländ M.M. (eds.), *Land use impacts on aquatic ecosystems.*, MAB.UNESCO, PIREN-CNRS, 303-317.
- Pinay G., Décamps H., 1988, - "The role of riparian woods in regulating nitrogen fluxes between the alluvial aquifer and surface water, A conceptual model", *Reg. Rivers Res. Manag.*, 2 : 507-516.

- Pinay G., Décamps H., Chauvet E. et Fustec E., 1990, - "Chap. 8 : Fonctions of ecotones in fluvial system", in R.J. Naiman et H. Décamps (Eds.), *The ecology and management of aquatic - terrestrial ecotones*, Man and Biosphere series, Unesco, Paris, 141-170.
- Platts W.S., Magahan W.F. et Minshall G.W., 1983, - "Methods for evaluating stream, riparian and biotic conditions", O. Gen. Tech. Rep. Int. 138 U.T., USDA Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station, 70 pp.
- Platts W.S., Armour C., Gordon D., Bryant M., Bufford J.L., Cuplin P., Sherman J., Lienkaemper G.W., Monsen G.W., Nelson R.L., Sedell J.R., Tuhy J.S., 1987, - "Methods for evaluating riparian habitats with applications to management", Gen. Tech. Rep. Int. 221, Ogden, U.T., USDA Forest Service, Intermountain Research Station, 177 pp.
- Platts W.S. et Nelson R.L., 1989, - "Characteristics of riparian plant communities and streambanks with respect to grazing in northeastern Utah", in R.E. Gresswell (eds.), *Practical approaches to riparian resource management*, an educational workshop, Billings, Montana, 73-81.
- Platts W.S., 1991, - "Livestock grazing", in MEEHAN W.R. (eds.), *Influences of forest and rangeland management on salmonid fishes and their habitats*, 389-423.
- Poinsart D. et Salvador P.G., 1993, - "Histoire de l'endiguement du Rhône à l'aval de Lyon (XIXè siècle)", in : Université Lyon III (textes réunis par F. Piquet), *Le fleuve et ses métamorphoses*, Didier Erudition, Paris, Lyon 13-14-15 mai 1992, 299-313.
- Poujardieu A., 1988, - "Gestion de la ripisylve des cours d'eau", Mém. ENITA, CEMAGREF - QEPP, Bordeaux, 2 tomes, 94 pp + annexes.
- Pringle C.M., Naiman R.J., Bretschko G., Karr J.R., Oswald M.W., Webster J.R., Welcomme R.L., Winterbourn M.J., 1988, - "Patch dynamics in lotic systems : the stream as a mosaic", *Journal of the North American Benthological Society*, 7 : 503-524.
- Probst J.-L., 1989, - "Chap. 3 : Hydroclimatic fluctuations of some European rivers since 1800", in Petts G.E., Möller H. et Roux A.L., *Historical change of large alluvial rivers : Western Europe*, J. Wiley and Sons, 41-55.
- Prochazka K., Stewart B.A., 1991, - "Leaf litter retention and its implications for shredder distribution in two headwater streams", *Arch. Hydrobiol.*, 120 (3), 315-325.
- Quinn J.M., Williamson R.B., Smith R.K., Vickers M.L., 1992, - "Effects of riparian grazing and channelisation on streams in Southland, New Zealand. 2. Benthic invertebrates", *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 26 : 259-273.
- Ramez P. et Gilard O., 1992, - "Impact des extractions sur la dynamique du lit d'une rivière", in : Société Hydrotechnique de France, *L'avenir de l'eau, 22èmes journées de l'hydraulique*, Paris, 15-16-17/09/1993, 14 pp.
- Reich M., 1994, - "L'impact de l'incision des rivières bavaroises sur les communautés terrestres de leur lit majeur", *Revue de Géographie de Lyon*, 69(1) : 25-30.
- Reineck H.C. et Singh I.B., 1980, - "Depositional sedimentary environments", Springer-Verlag, Berlin, 549 pp.
- René D., 1992, - "Etude transdisciplinaire d'un écosystème torrentiel (Haute-Vallée du Giffre, Haute-Savoie)", *Travail de Diplôme (5ème année)*, sous la direction de P. Hainard, Université de Genève, laboratoire de Biogéographie, 90 pp.
- Rhodes J., Skau C.M., Greenlee D., Brown D.L., 1985, - "Quantification of nitrate uptake by riparian forests and wetlands in an undisturbed headwaters watershed", in *Riparian Ecosystems and their Management*, Fifth North American Riparian Conference, Tucson, Arizona, 175-179.
- Ribas Palom A., Roset Pages D., Sorribas Ribas E., Sauri Pujol D. et Breton Renard F., 1994, - "Les changements dans l'occupation et la gestion des aires inondables : l'exemple de la basse vallée du Ter (Géronne, Espagne)", in : Actes du colloque publiés sous la direction de J. Riser, *Aménagement et*

- gestion des grandes rivières méditerranéennes*, n° spécial des Etudes Vauclusiennes, n°5, Avignon (8, 9 et 10 septembre 1993), 141-146.
- Richards K., 1982, - "Rivers, form and process in alluvial channels", Methuen, London, 346 pp.
- Robison G.E., 1987, - "Large woody debris and channel morphology of undisturbed streams in southeast Alaska", *Master of Science in Forest Engineering*, Oregon State University, 125 pp.
- Robison G.E. et Beschta R.L., 1990, - "Coarse woody debris and channel morphology interactions for undisturbed streams in southeast Alaska, U.S.A.", *Earth Surface Processes and Landforms*, 15 : 149-156.
- Roditis J.C., 1993, - "Caractérisation de la charge solide en suspension et alluvionnement du Rhône dans le secteur Beaucaire-Arles. Crues et modalités de transfert sédimentaire; bilan actuel et évolution récente", *Mémoire de DEA de géographie physique option "Géosystèmes anthropisés"*, Université de Provence Aix-Marseille I, 135 pp.
- Roqueplo C., 1992, - "Protection des berges de la Dordogne dans les zones à risque et aménagement d'une zone tampon", Cémagref Bordeaux, Syndicat intercommunal d'étude et de travaux de protections des berges de la Dordogne, Le Buisson, Le Coux, Siorac, Urval, 39 pp.
- Rotnicki K., 1983, - "Modelling past discharges of meandering rivers", in Gregory K.S. (Eds.), *Background to palaeohydrology*, Chichester, Wiley and Sons, 321-341.
- Rougerie G. 1988, - "Géographie de la Biosphère", Masson, 290 pp.
- Rousset-Mestrallet M., 1985, - "La maîtrise des eaux torrentielles dans la vallée du Giffre (Régions de Samöens, Haute-Savoie)", *Le monde alpin et rhodanien*, 4 : 15-39.
- Rousset-Mestrallet M., 1986, - "Des torrents et des Hommes, trois siècles d'histoire à Samöens", 150 pp.
- Roux A.L. (coord. tech.), 1986, - "Recherches interdisciplinaires sur les écosystèmes de la basse plaine de l'Ain (France) : potentialités évolutives et gestion", *Doc. Carto. Ecol.*, X, 166 pp.
- Salvador P.G., 1991, - "Le thème de la métamorphose fluviale dans les plaines alluviales du Rhône et de l'Isère (Bassin de Malville et Ombilic de Moirans, Bas-Dauphiné)", *thèse de géographie*, Université Lyon III, 498 pp.
- Scher S. et Schwarzschild B., 1989, - "Pacific yew: a facultative riparian conifer with an uncertain future", in Abell D.L. (eds.), *Proceedings of the California Riparian Systems Conference : Protection, Management and Restoration for the 1990's*, 1988 september 22 - 24, U.S.D.A Forest Service, Gen. Tech. Rep. PSW-110, Davis, 172-175.
- Schnitzler-Lenoble A. et Carbiener R., 1993, - "Les forêts galeries d'Europe", *La Recherche*, 24 : 694-701.
- Schuler A., 1994, - "L'expérience et l'évolution de la pratique forestière en Suisse", in : Association Internationale des Entretiens Ecologiques, Aided, Journées d'étude "L'eau et l'utilisation des sols", Dijon, 14-16 mars 1994, 7p.
- Schumm S.A., 1968, - "Speculation concerning paleohydrological control of terrestrial sedimentation", *Bulletin of Geological Society of America* ; 79 : 1573-1588.
- Schumm S.A., 1977, - "The fluvial system", J. Wiley and Sons, New-York, 338 pp.
- Sclafert T., 1933a, - "A propos du déboisement des Alpes du Sud (premier article)", *Annales de Géographie*, 42 (236) : 266-277.
- Sclafert T., 1933b, - "A propos du déboisement des Alpes du Sud (deuxième article)", *Annales de Géographie*, 42 (237) : 350-360.
- Sclafert T., 1934, - "A propos du déboisement des Alpes du Sud, le rôle des troupeaux", *Annales de Géographie*, 43(242) : 126-145.
- Sedell J.R. et Luchessa K.J., 1982, - "Using the historical record as an aid to salmonid habitat enhancement", in E. Neil B. Armantrout (eds.), *Proc. of a Symp. on Acquisition and Utilization of Aquatic Habitat Inventory Information Held*, Portland, Or., 210-223.
- Sedell J.R. et Froggatt J.L., 1984, - "Importance of streamside forests to large rivers : the isolation of the Willamette River, Oregon, USA, from its floodplain by snagging and streamside forest removal", *Verhandlungen Inter. Vereinigung Limnologie*, 22 : 1828-1834.
- Sedell J.R., Yuska J.E., Speaker R.W., 1984, - "Habitats and salmonid distribution in pristine, sedimentrich river valley systems: South Fork Hoh and Queets River, Olympic National Park", In *Fish and Wildlife relationships in oldgrowth forests*, American Institute of Fishery Research Biologists, 33-46.
- Sedell J.R., Swanson F.J. et Gregory S.V., 1985, - "Evaluating fish response to woody debris", in T.J. Hassler (eds), *Proceedings, Pacific northwest stream habitat management workshop*, Humboldt State University, Arcata, California, 222-245.
- Sedell J.R., Everest F.H. et Gibbons D.R., 1987, - "Streamside vegetation management for aquatic habitat", in *Proc. of the National Silviculture Workshop*, USDA Forest Service, Sacramento, California, 115-125.
- Sedell J.R., Bisson P.A., Swanson F.J., Gregory S.V., 1988, - "What we know about large trees that fall into streams and rivers?", In Maser C., Tarrant R.F., Trappe J.M., Franklin J.F. (eds.), *From the forest to the sea, a story of fallen trees.*, Pacific Northwest Research Station, USDA Forest Service, General Technical Report PNWGTR 229, Portland, Or., Chap. 3, 47-81.
- Sigafoos R.J., 1964, - "Botanical evidence of floods and floodplain deposition", U.S. Geol. Surv. Prof. Paper, 485 (a) : 1-35.
- Sioli H., 1982, - "Tropische Flüsse in ihren Beziehungen zur terrestrischen umgebung und im hinblick auf menschliche eingriffe", *Arch. Hydrobiol.*, 95 : 463-485.
- Sironneau J., 1992, - "La nouvelle Loi sur l'eau ou la recherche d'une gestion équilibrée", *Revue Juridique de l'Environnement*, 2 : 137-233.
- Smith C.M., 1987, - "Sediment, phosphorus, and nitrogen in channelized surface run off from a New Zealand pastoral catchment", *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 21 : 627-639.
- Smith C.M., 1989, - "Riparian pasture retirement effects on sediment, phosphorus and nitrogen in channelized surface run off from pastures", *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 23 : 139-146.
- Smith G.D., 1976, - "Effect of vegetation on lateral migration of anastomosed channels of a glacier meltwater river", *Geological Society of American Bulletin*, 87 : 857-860.
- SOGREAH, 1976, - "Etude hydraulique de diagnostic de la rivière d'Ain entre Poncin et Saint-Maurice-de-Gourdans", rapport dactilo., 12 pp + annexes.
- SOGREAH, 1988, - "Schéma d'aménagement du haut Giffre, étude de la révision du schéma", Syndicat intercommunal à vocations multiples du haut Giffre, 3 volumes.
- SOGREAH, 1990, - "Etude hydraulique des zones inondables de la rivière Ardèche entre le Pont d'Aubenas et le Pont d'Arc", Direction Départementale de l'Équipement de l'Ardèche, 19 pp + cartes.
- SOGREAH, CEMAGREF et SIEE, 1994, - "Etude préalable à l'élaboration d'un "SAGE" sur le bassin de l'Ouvèze (étude géomorphologique)", Ministère de l'Environnement, Ministère de l'Agriculture et de la Pêche, Synd. Intercom. d'Am. du Bas. de l'Ouv., Vaucluse, 37 pp + Cartes.
- Sormail L., 1991, - "La demande sociale d'aménagement des cours d'eau - Recensement des principaux objectifs - Priorités. I. Les besoins et les priorités en pays développés", *La Houille Blanche*, 7-8 : 529-532.
- Spotts R., 1989, - "Conflicts in river management : a conservationist's perspective on Sacramento river riparian habitats impacts, threats, remedies, opportunities, and consensus", In *Proceedings of the California Riparian Systems Conference, Protection, Management and Restoration for the 1990's*; Gen. Tech. Rep. PSW 110, Davis, U.S.D.A. Forest Service, 521-525.
- SRAERA, 1985, - "Schéma directeur d'aménagement hydraulique du bassin de l'Herbasse", Synd. Intercom. Am. Bas. Herbasse, 2 vol., 70 pp + annexes.

Starkel L., 1983, - "The reflection of hydrologic changes in the fluvial environment of the temperate zone during the last 15000 years", in K.J. Gregory (Eds.), *Background to paleahydrology*, J. Wiley and Sons, Chichester, 213-235.

Steinman A.D., Mcintire C.D., Lowry R.R., 1988, - "Effects of irradiance and age chemical constituents of algal assemblages in laboratory streams", *Arch. Hydrobiol.*, **114 (1)** : 45-61.

Strahler A.N., 1957, - "Quantitative analysis of watershed geomorphology", *Trans. Am. Geophys. Union*, **38(6)** : 913-920.

Sud - Aménagement, 1984, - "Schéma d'aménagement de la vallée de l'Ubaye", Direction Départementale de l'Agriculture des Alpes de Haute-Provence, 60 pp + fiches.

Surell A., 1870, - "Etude sur les torrents des Hautes-Alpes", Paris, Dunod (2° ed.), 2 vol., 317 et 386 pp.

Swanson F.J., Lienkaemper G.W. et Sedell J.R., 1976, - "History, physical effects and management implications of large organic debris in Western Oregon streams", U.S.D.A. Forest Service, Gen. Tech. Rep. PNW-56, Portland, Oregon, 15 pp.

Swanson F.J. et Lienkaemper G.W., 1978, - "Physical consequences of large organic debris in pacific northwest streams", U.S.D.A. Forest Service, Portland, Or., 12 pp.

Swanson F.J. et Lienkaemper G.W., 1979, - "Interactions among fluvial processes forest vegetation and aquatic ecosystem, South Fork Hoh River, Olympic National Park", in Starkey E.E., Franklin J.F. et Matthews J.W. (eds.), *Ecological Research in National Parks of the Pacific Northwest*, Proceedings, Second Conf. on Scientific Research in the National Parks, San Francisco.

Swanson F.J. et Lienkaemper G.W., 1982, - "Interactions among fluvial processes, forest vegetation and aquatic ecosystems, South Fork Hoh River, Olympic National Park", in J.F. Franklin E.E., Starkey et J.E. Matthews (eds.), *Ecological Research in National Parks of the Pacific Northwest*, Oregon State Univ., 30-34.

Swanson F.J. et Lienkaemper G.W., 1987, - "Dynamics of large woody debris in streams in old-growth Douglas-fir forests", *Can. J. For. Res.*, **17** : 150-156.

Toews D.A.A. et Moore M.K., 1982, - "The effects of streamside logging on large organic debris in Carnation Creek", Ministry of Forest, Province of British Columbia, 30 pp.

Trémolières M., Carbiener R., 1982, - "Aspects de l'impact de litières forestières sur des écosystèmes aquatiques. II. Evolution à moyen et long terme de l'activité de désoxygénation. De quelques propriétés des phytomélanines formées", *Acta Oecologica / Oecologia Generalis*, **3 (2)** : 241-257.

Tricart J., 1958, - "La crue de la mi-juin sur le Guil, l'Ubaye et la Cerveyrette", *Revue de Géographie Alpine*, **XLVI(4)** : 565-627.

Tricart J., 1959, - "Etude granulométrique de la fraction sableuse des alluvions de la crue de juin 1957 sur le Guil (Hautes-Alpes)", *Bull. Soc. Geol. de France*, **I(6)** : 614-624.

Triska F.J. et Cromack K., 1979, - "The role of wood debris in forests and streams", in R.H. Waring (eds.), Or. State Univ. Press, Forests : Fresh Perspectives from Ecosystem Analysis, Proceedings of the 40th Annual Biology Colloquium, Corvallis, Or., 171-187.

Triska F.J., Sedell J.R. et Gregory S.V., 1982, - "Coniferous forest streams", in R.L. Edmonds (eds.), *Analysis of Coniferous Forest Ecosystems in the Western United States*, Hutchinson Ross Publishing Company, Pennsylvania, 292-332.

Triska F.J., 1984, - "Role of wood debris in modifying channel geomorphology and riparian areas of a large lowland river under pristine conditions : a historical case study", *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, Stuttgart, **22** : 1876-1892.

Tschaplinski P.J. et Hartman G.F., 1983, - "Winter distribution of juvenile Coho Salmon before and after logging in Carnation Creek, British Columbia, and some implications for overwintering survival", *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **40** : 452-461.

Turner R.M., 1974, - "Quantitative and historical evidence of vegetation changes along the Upper Gila River, Arizona", 6.-H. Geol. Survey Prof. Paper, 19 pp.

Vannote R.L., Minshall G.W., Cummins K.W., Sedell J.R., Cushing C.E., 1980, - "The river continuum concept", *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*, **37** : 130-137.

van Urk G. et Smit H., 1989, - "The lower Rhine geomorphological changes", in G.E. Petts (eds.), *Historical Change of Large Alluvial Rivers : Western Europe*, J. Wiley and Sons Ltd, 167-182.

Wallace J.B. et Benke A.C., 1984, - "Quantification of wood habitat in subtropical coastal plain streams", *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **41** : 1643-1652.

Walter J. M., 1976, - "La forêt, sa genèse cyclique", *Bull. Soc. Ind. Mulhouse*, **765** : 17-30.

Walter J. M., 1979, - "Etude des structures spatiales en forêt alluviale rhénane; 1- Problèmes structuraux et données expérimentales", *OEcol. Plant.*, **14(3)** : 345-359.

Waniez P., 1990, - "Système d'information géographique, initiation pratique sur Macintosh", Eyrolles, 150 pp.

Ward G.M., Cummins K.W., Gregory S.V., Speaker R.W., Dudley T.L., Ward A.K., 1982, - "Habitat and food resources for invertebrate communities in South Fork Hoh River, Olympic National Park, Washington", *In Proceedings of the Second Conference on Scientific Research in National Parks*, Washington, 35-46 .

Welcomme R.L., 1989, - "Floodplain fisheries management", in J.A. Gore et G.E. Petts (Eds.), *Alternatives in regulated river management*, CRC Press, Boca Raton, Florida, 209-234.

Wentz F., 1983, - "The creation of a new wetland habitat", *Garten+Landschaft (Landscape Architecture + Planning)*, **2** : 112-113.

Wieber J.-C., 1988, - "La forêt dans le paysage", in Mélanges offerts à Gabriel Rougerie, "Paysages, aménagement, cadre de vie", Association Française de Géographie Physique, Paris, 109-120.

Wilzbach M.A., 1985, - "Relative roles of food abundance and cover in determining the habitat distribution of stream Dwelling Cutthroat trout (*Salmo clarki*)", *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **42** : 1668-1672.

Wilzbach M.A., Hall J.D., 1985, - "Prey availability and foraging behavior of cutthroat trout in an open and forested section of stream", *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, **22** : 2516-2522.

Wilzbach M.A., Cummins K.W., Hall J.D., 1986, - "Influence of habitat manipulations on interactions between cutthroat trout and invertebrate drift", *Ecology*, **64 (4)** : 898-911.

Witt A., 1985, - "Vegetational influences on intrachannel deposition: evidence from the Konczak stream , greater poland lowlands, Western Poland", *Quaestiones geographicae*, **9** : 145-160.

Wolff J.C., 1991, - "Enseignements à tirer des échecs des aménagements non intégrés et des absences de gestion. Cas du bassin de la Marne", *La Houille Blanche*, **7-8** : 539-542.

Wolman M.G., 1954, - "A method of sampling coarse river bed material", *Transactions Am. Geophys. Union*, **35(6)**.

Yanosky T.M., 1983, - "Evidence of floods on the Potomac River from anatomical abnormalities in the wood of floodplain trees", Geol. Survey Prof. Paper, n°1296, 42 pp.

Yon T., 1980, - "Evolution des forêts alluviales en Europe; facteurs de destruction et éléments stratégiques de conservation", in Colloques phytosociologiques, IX, *les forêts alluviales*, Strasbourg, 1-17.

Yon D. et Tendron G., 1981, - "Les forêts alluviales en Europe, élément du patrimoine naturel international", Conseil de l'Europe, Collection sauvegarde de la Nature n°22, Strasbourg, 76 pp.

Zamuth M.E., 1989, - "Recensement des droits d'eau et définition des dispositions pour leur mise en conformité avec la réglementation (Ardèche, Chassezac, Beaume)", Synd. Intercom. de la Vallée de l'Ardèche et Soc. Fran. pour le Droit de l'Env., rapport.

Zimmerman R.C., Goodlett J.C. et Comer G.H., 1967, - "Influence of vegetation on channel form of small streams", in *Symposium on river morphology*, International Association of Scientific Hydrology, Publication 75, Wallingford England, 255-275.

**LISTE DES FIGURES**

|  | Pages : |
|--|---------|
| Figure 1 - Les niveaux de perception de l'espace (d'après C. Amoros et G.E. Petts, 1993).  | 23      |
| Figure 2 - Variation latérale des "unités fonctionnelles" selon la position du transect sur le continuum (cours amont, A, médian, B, aval, C,...) (d'après Naiman, Johnston et Kelley, 1988).  | 30      |
| Figure 3 - Classification et caractères hydrogéomorphologiques des écotones terre-eau (d'après Petts, in Naiman et Décamps, 1990).   | 31      |
| Figure 4 - Localisation des rivières étudiées.   | 37      |
| Figure 5 - Environnement morphostructural de la basse plaine de l'Ain (d'après P. Mandier, 1984; modifié).   | 41      |
| Figure 6 - Environnement morphostructural de la moyenne vallée de l'Ardèche (d'après la carte géologique de Valence au 1/250 000°, BRGM, 1980).  | 42      |
| Figure 7 - Environnement morphostructural de la moyenne vallée du Giffre (d'après la carte géologique de Thonon-les-Bains au 1/250 000°, BRGM, 1985).  | 42      |
| Figure 8 - Environnement morphostructural de la moyenne vallée de l'Ouvèze (d'après la Carte géologique de Valence au 1/250 000°, BRGM, 1980).   | 43      |
| Figure 9 - Environnement morphostructural de la moyenne vallée de l'Ubaye (d'après la Carte géologique de Barcelonnette au 1/ 50 000°, BRGM, 1972).  | 43      |
| Figure 10 - Débit moyen mensuel des cinq rivières étudiées (d'après les données de la Banque Hydro).   | 46      |
| Figure 11 - Fréquence mensuelle du débit maximal journalier (d'après la Banque Hydro).   | 47      |
| Figure 12 - Hydrogrammes observés durant la crue du 14-02 au 18-02 1990 sur le bassin de l'Ain (d'après EDF, 1990).  | 47      |
| Figure 13 - Fréquence de retour des pics de crue des cinq rivières d'étude (droites d'ajustement à la Loi de Gumbel, d'après la Banque Hydro).   | 49      |
| Figure 14 - Le style fluvial potentiel des rivières d'étude, (d'après quelques modèles descriptifs).   | 51      |
| Figure 15 - Sectorisation morphodynamique esquissée à partir de la distribution longitudinale de la puissance spécifique.  | 54      |
| Figure 16 - Localisation géographique des secteurs d'étude.  | 63      |
| Figure 17 : Evolution des principales unités de la mosaïque fluviale (moyenne de largeurs estimées sur des photographies aériennes tous les 250m).   | 76      |
| Figure 18 - canevas cartographique, légende et position des transects (exemple du tronçon de l'Ardèche).   | 77      |
| Figure 19 - De l'espace pâturé à la forêt : 1827 - 1990 (d'après les cadastres ancien et actuel de la commune de Saint-Maurice-de-Remens, Archives Départementales de l'Ain, Bourg-en-Bresse et Service du Cadastre, Trévoux).                         | 79      |
| Figure 20 - Le lit majeur de l'Ain sur la commune de Blyes : 1864, 1933 et 1993 (d'après les cadastres ancien, rénové et actuel, Archives Départementales de l'Ain, Bourg-en-Bresse et Service du Cadastre, Trévoux).                                  | 80      |
| Figure 21 - Evolution de la superficie boisée de la bande naturelle de la rivière d'Ain entre Gévrieux et le Rhône au cours des périodes 1947-1971 et 1971-1991 (largeurs estimées sur des photographies aériennes tous les 250m).                     | 82      |
| Figure 22 - Evolution de la superficie de la bande naturelle de la rivière d'Ain occupée par les stades pionniers et la pelouse sèche entre Gévrieux et le Rhône entre 1947 et 1991 (largeurs estimées sur des photographies aériennes tous les 250m). | 83      |
| Figure 23 - Evolution de la superficie de la bande active de la rivière d'Ain entre Gévrieux et le Rhône au cours des périodes 1947-1971 et 1971-1991 (largeurs estimées sur des photographies aériennes tous les 250m).                               | 84      |

|  |     |   |     |
|--|-----|---|-----|
| Figure 24 - Evolution de l'usage du sol dans le lit majeur de l'Ardèche, exemple de la commune de Chauzon en 1833, 1933 et 1993 (d'après les plans cadastraux, Service du Cadastre, Privas).   | 86  | Figure 39 - Evolution de la largeur de la bande active, de la forêt et des stades pionniers de la bande naturelle de l'Ubaye moyenne entre 1948 et 1991 (largeurs estimées tous les 250m sur des photographies aériennes).                      | 103 |
| Figure 25 - La bande naturelle du méandre de Chauzon entre 1947 et 1991, évolution de la superficie occupée par différentes unités de végétation (d'après des photographies aériennes et une analyse spatio-quantitative par SIG).   | 87  | Figure 40 - Evolution de la largeur de la forêt alluviale de l'Ubaye moyenne durant les périodes 1948-1956, 1956-1973, 1973-1982 et 1982-1990 (largeurs estimées tous les 250m sur des photographies aériennes).                                | 104 |
| Figure 26 - Evolution de la superficie de la forêt (A), des stades pionniers (B) et de la pelouse sèche (C) dans la bande naturelle de l'Ardèche entre Aubenas et le Pont d'Arc entre 1947 et 1989 (largeurs estimées sur des photographies aériennes tous les 250m).  | 88  | Figure 41 - Recolonisation forestière de la bande active de l'Ubaye moyenne durant les périodes 1948-1956, 1956-1973, 1973-1982 et 1982-1990 (largeurs estimées tous les 250m sur des photographies aériennes).                                 | 105 |
| Figure 27 - Evolution de la colonisation forestière de la bande active de l'Ardèche entre Aubenas et le Pont d'Arc durant les périodes 1947-1969 et 1969-1989 (largeurs estimées tous les 250m sur des photographies aériennes).   | 89  | Figure 42 - La biométamorphose et ses causes, esquisse d'un modèle théorique de synthèse.   | 112 |
| Figure 28 - Relevé qualitatif de l'occupation des sols de parcelles cadastrées situées dans le lit majeur du Giffre en 1734, 1921 et 1993, commune de Morillon.(d'après les plans cadastraux, Archives Départementales de Haute-Savoie, Annecy et Service du Cadastre, Bonneville).                          | 90  | Figure 43 - Deux siècles d'évolution de la population (exemple de quelques communes des tronçons d'étude et des bassins versants, 1790-1990).   | 116 |
| Figure 29 - Le Giffre et la bande naturelle concédée au cours d'eau par les riverains à la fin du XIX <sup>e</sup> siècle (d'après le cadastre ancien, Service du Cadastre, Bonneville).   | 91  | Figure 44 : La forêt a-t-elle toujours existé?  | 119 |
| Figure 30 - Evolution de la bande active, de la forêt et des stades pionniers du Giffre moyen entre 1934 et 1984 (largeurs estimées tous les 250m sur des photographies aériennes).  | 92  | Figure 45 - Effet de la stabilité de berge par végétalisation pour des rivières à fond graveleux de Grande Bretagne (d'après Charlton <i>et al.</i> , 1978).  | 124 |
| Figure 31 - Evolution des stades pionniers (a) et de la bande active (b) du Giffre moyen durant les périodes 1934-1954, 1954-1974 et 1974-1984 (largeurs estimées tous les 250m sur des photographies aériennes).  | 93  | Figure 46 - Relation entre la valeur moyenne de la pente et la valeur moyenne de "a" sur les cinq rivières d'études.  | 125 |
| Figure 32 - L'occupation des parcelles riveraines du lit mineur de l'Ouvèze entre la confluence avec le Toulourenc et la commune de Violès au milieu du XIX <sup>e</sup> siècle (d'après les plans d'assemblage de l'ancien cadastre , Service du Cadastre, Orange).   | 94  | Figure 47 - Largeur moyenne de la bande active et part de la superficie du lit majeur occupée par les formations arborées, une relation étroite sur les rivières de piémont soumises à une biométamorphose récente.                             | 125 |
| Figure 33 - L'occupation des parcelles riveraines de la bande active de l'Ouvèze dans le canton de Vaison en 1857 (d'après la carte topographique de l'Atlas cadastral de Vaucluse dressée sous les Auspices du Conseil Général et de Mr O. de Bréville" , échelle 1/ 40 000°, Service du Cadastre, Orange). | 95  | Figure 48 - Évolution diachronique de trois descripteurs du style géomorphologique de l'Ain (1760-1990) (d'après les données complétées de J.P. Bravard <i>et al.</i> , 1990).  | 134 |
| Figure 34 - Relevé qualitatif de l'occupation des sols de parcelles cadastrées situées dans le lit majeur de l'Ouvèze en 1836, commune de Mollans-sur-Ouvèze (d'après les sections cadastrales, Archives Départementales de la Drôme, Valence).  | 96  | Figure 49 - Évolution synchronique et diachronique de l'incision de l'Ain au cours des périodes 1857-1920 et 1920-1976 (d'après la ligne d'eau d'étiage) (A) et 1976-1986 (d'après la ligne d'eau d'étiage et le fond du lit)(B).               | 135 |
| Figure 35 - Evolution de la largeur de la forêt alluviale de l'Ouvèze moyenne durant les périodes 1947-1973 et 1973-1991 (largeurs estimées tous les 250m sur des photographies aériennes).  | 97  | Figure 50 - Variabilité synchronique de la puissance brute (1857, 1920, 1976 et 1987) (A) et unitaire (1976 et 1987) (B) de l'Ain sur le tronçon Pont de Gévrieux - confluence avec le Rhône (1857, 1920, 1976 et 1987).                        | 136 |
| Figure 36 - Evolution de la largeur des stades pionniers et de la pelouse sèche de la bande naturelle de l'Ouvèze moyenne entre 1947 et 1991 (largeurs estimées tous les 250m sur des photographies aériennes).  | 98  | Figure 51 - Évolution diachronique de trois descripteurs du style géomorphologique : le taux de sinuosité, le nombre moyen de chenaux par transect et le nombre d'îlots de végétation, Ardèche moyenne (1947-1989).                             | 137 |
| Figure 37 - Recolonisation forestière de la bande active de l'Ouvèze moyenne durant les périodes 1947-1973 et 1973-1991 (largeurs estimées tous les 250m sur des photographies aériennes).   | 99  | Figure 52 - Évolution diachronique du taux de sinuosité sur quatre tronçons de l'Ardèche moyenne (1947-1989).   | 137 |
| Figure 38 - L'occupation des parcelles riveraines de la bande active de l'Ubaye entre Les Thuiles et le torrent du Rioclar en 1833 (d'après les plans de sections de l'ancien cadastre, Service du Cadastre, Digne).   | 101 | Figure 53 - Évolution synchronique et diachronique de la largeur moyenne des unités de la bande active (chenal en eau et bancs de galets) de l'Ardèche moyenne entre 1947 et 1989 (à partir de transects établis sur photographies aériennes ). | 138 |
|  |     | Figure 54 - Histogrammes des fréquences du rapport largeur du chenal / largeur de la bande active calculé sur les transects de l'Ardèche moyenne en 1947, 1969, 1979 et 1989.   | 139 |
|  |     | Figure 55 - Évolution du profil en long de l'Ardèche moyenne au cours du XX <sup>e</sup> siècle (d'Aubenas au Pont d'Arc entre 1922 et 1984, dans le coude d'Aubenas entre 1984 et 1991).   | 140 |
|  |     | Figure 56 - Variabilité synchronique de la puissance brute (1857, 1922, 1984 et 1989) (A) et unitaire (1984 et 1989) (B) de l'Ardèche entre Aubenas et Vallon - Pont d'Arc.   | 141 |
|  |     | Figure 57 - Évolution diachronique de trois descripteurs du style géomorphologique : le taux de sinuosité, le nombre moyen de chenaux par transect et le nombre d'îlots de végétation, Giffre moyen (1934-1984).                                | 143 |
|  |     | Figure 58 - Évolution diachronique et synchronique du rapport largeur du chenal - largeur de la bande active, exemple du Giffre moyen entre 1934 et 1984.   | 143 |

|   |     |
|---|-----|
| Figure 59 : Cartographie diachronique de l'enfoncement du Giffre moyen entre 1922 et 1993.  | 144 |
| Figure 60 : Étude statistique de la distribution des pentes du Giffre moyen en 1912 et 1988.  | 145 |
| Figure 61 - Variabilité longitudinale de la puissance brute du Giffre moyen en 1912, 1973 et 1983.  | 145 |
| Figure 62 - Évolution diachronique de trois descripteurs du style géomorphologique : le taux de sinuosité, le nombre moyen de chenaux par transect et le nombre d'îlots de végétation, Ouvèze moyenne (1947-1991).  | 146 |
| Figure 63 - Évolution diachronique du taux de sinuosité sur cinq tronçons de l'Ouvèze moyenne (1947-1991).  | 146 |
| Figure 64 : Cartographie de l'évolution diachronique et synchronique de la ligne d'eau d'étiage de l'Ouvèze moyenne (1986-1993).  | 147 |
| Figure 65 - Évolution diachronique de trois descripteurs du style géomorphologique : le taux de sinuosité, le nombre moyen de chenaux par transect et le nombre d'îlots de végétation, moyenne Ubaye (1948-1990).   | 149 |
| Figure 66 - Évolution diachronique du taux de sinuosité sur six tronçons de la moyenne Ubaye (1948-1990).   | 149 |
| Figure 67 : Cartographie de l'évolution diachronique et synchronique de la ligne d'eau d'étiage de l'Ubaye entre Jausiers et le torrent de Riou Bourdoux au cours des périodes 1908-1986 et 1986-1991 (A) et entre Jausiers et le seuil de Barcelonnette entre 1908 et 1991 (B).                        | 150 |
| Figure 68 - Les extractions dans la bande active de la moyenne vallée de l'Ardèche : localisation, chronologie et volumes prélevés (d'après Cédric, 1984).  | 154 |
| Figure 69 - Le Giffre moyen à l'époque contemporaine, une rivière progressivement stabilisée et canalisée.  | 157 |
| Figure 70 - Évolution du linéaire de berges protégées sur le Giffre moyen depuis la fin du XIX <sup>e</sup> siècle (en % du linéaire total).  | 158 |
| Figure 71 - Aménagements et exploitation des ressources de l'Ouvèze moyenne.  | 160 |
| Figure 72 - Aménagements et exploitation des ressources de la moyenne Ubaye.  | 161 |
| Figure 73 - La relation entre l'incision de la bande active et la recolonisation arborée latérale : exemples de l'Ain (A) et de l'Ubaye (B), deux rivières soumises à un mouvement opposé.  | 166 |
| Figure 74 - Les pics de crue annuels naturels reconstitués de l'Ain à Pont-de-Chazey (1920-1987) (d'après P. Fagot <i>et al.</i> , 1987).   | 170 |
| Figure 75 - Localisation des principaux barrages sur le cours supérieur de l'Ain.   | 171 |
| Figure 76 - Les débits maxima annuels des stations de la banque HYDRO.  | 172 |
| Figure 77 - Hauteur d'eau des plus fortes crues annuelles connues, l'Ardèche au Pont d'Arc, 1644-1992 (d'après des données de M. Pardé, 1925, de la DDE de l'Ardèche et de la CNR).   | 173 |
| Figure 78 - Evolution contemporaine des superficies boisées cadastrées, communes du bassin versant de la moyenne Ardèche, XIX <sup>e</sup> et XX <sup>e</sup> siècles (d'après le cadastre napoléonien, les statistiques agricoles annuelles des années 1919 et 1940 et l'Inventaire Communal de 1988). | 181 |
| Figure 79 - Evolution des superficies boisées cadastrées au cours du XX <sup>e</sup> siècle, communes du bassin versant du Giffre moyen (d'après le cadastre ancien et l'Inventaire Communal de 1988).  | 183 |
| Figure 80 - Evolution des superficies boisées cadastrées au cours des XIX <sup>e</sup> et XX <sup>e</sup> siècles sur les communes du bassin versant de la moyenne Ouvèze (d'après le cadastre ancien et l'Inventaire Communal de 1988).  | 185 |

|   |     |
|---|-----|
| Figure 81 - Evolution des superficies boisées cadastrées au cours des XIX <sup>e</sup> et XX <sup>e</sup> siècles, communes du bassin versant de l'Ubaye (d'après le cadastre ancien et l'Inventaire Communal de 1988).   | 188 |
| Figure 82 - Evolution de la largeur moyenne de la bande active et des pics de crue annuels entre 1945 et 1990 sur la moyenne vallée de l'Ubaye (d'après les données de la banque Hydro et des photographies aériennes).   | 194 |
| Figure 83 - Modèles explicatifs élémentaires de la dynamique spatiale et temporelle des marges boisées des cinq rivières d'étude.   | 198 |
| Figure 84 - La métamorphose de l'Ain, facteurs naturels et anthropiques (d'après P. Fagot <i>et al.</i> , 1988).  | 201 |
| Figure 85 - Modèle d'équilibre dynamique des facteurs structurants, physiques et biologiques des hydrosystèmes anthropisés.   | 214 |
| Figure 86 - Localisation des sites d'étude.   | 222 |
| Figure 87 - Les changements du cours de l'Ain dans le secteur de Mollon entre 1945 et aujourd'hui, d'après les photographies aériennes de l'IGN.  | 224 |
| Figure 88 - Les groupements végétaux élémentaires observés dans le pédoncule de méandre de Mollon (basse vallée de l'Ain).  | 226 |
| Figure 89 - Les changements du cours de l'Ain dans le secteur de Blyes depuis 1933, d'après les photographies aériennes de l'IGN.   | 229 |
| Figure 90 - Les groupements végétaux du méandre de Blyes (d'après la carte de végétation de J. Girel, G. Pautou et A. Païs, in A.L. Roux <i>et al.</i> , 1986).   | 231 |
| Figure 91 - Les unités végétales des îles de la Borie dans le méandre de Chauzon (rive gauche de l'Ardèche).  | 231 |
| Figure 92 - Chronologie des changements de tracé du Giffre et de la recolonisation végétale de ses marges dans les secteurs des Millières (A) et des Thézières (B) entre 1934 et 1984, d'après les photographies aériennes de l'IGN.  | 234 |
| Figure 93 - Chronologie de la mobilité en plan du cours de l'Ouvèze et de la recolonisation végétale de ses marges dans le secteur de Violès entre 1947 et 1991, d'après les photographies aériennes de l'IGN.  | 236 |
| Figure 94 - Chronologie de la mobilité en plan du cours de l'Ubaye et de la recolonisation végétale de ses marges dans les secteurs d'Enchastrayes (A), de Méolans-Le Rioclar (B) et de Champanastais (C) entre 1948 et 1990, d'après les photographies aériennes de l'IGN. | 239 |
| Figure 95 - Précipitations cumulées (en mm) du 21 septembre à 6 h UTC au 23 septembre à 6 h UTC dans le sud du couloir rhodanien (d'après G. Blanchet et J.C. Deblaere, 1993).  | 241 |
| Figure 96 - La distribution des précipitations du 22 septembre 1992 dans le bassin versant de l'Ouvèze d'après les pluviographes (A) et l'imagerie radar (B).   | 243 |
| Figure 97 - Limnigramme de la crue du 22 septembre 1992 à la station de Vogüé (Ardèche moyenne).  | 244 |
| Figure 98 - Crue du 22 septembre 1992 et variabilité de la superficie des principales unités de la mosaïque fluviale de l'Ouvèze.   | 246 |
| Figure 99 - Le calibrage de la largeur de la bande active de l'Ouvèze par la crue du 22 septembre 1992.   | 247 |
| Figure 100 - La largeur des unités de bois couchés, une variable indépendante de la largeur de la bande active de l'Ouvèze avant la crue du 22 septembre 1992.  | 247 |
| Figure 101 - Croquis biomorphologique du secteur de Violès sur la moyenne Ouvèze après la crue de septembre 1992.   | 249 |

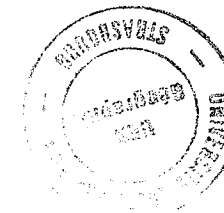
|   |     |
|---|-----|
| Figure 102 - Exemple de complexes de processus biomorphologiques relais dans les axes de débordement de la ripisylve du secteur de Violès situé sur la moyenne Ouvèze.  | 252 |
| Figure 103 - Variabilité de l'inclinaison des arbres et arbustes selon les transects et la distance au chenal dans la ripisylve de l'Ardèche située en rive gauche à la hauteur de Lanas.   | 254 |
| Figure 104 - Table de contingence associant les classes d'inclinaison et la nature du substrat (A) ou l'état du système racinaire (B).  | 256 |
| Figure 105 - Relations linéaires entre l'inclinaison (Y) et le diamètre (X) (transect 1)(A) et entre l'inclinaison (Y) et la distance au chenal (X) (transects 2 et 3) (B).   | 258 |
| Figure 106 - Interprétation de la succession amont - aval des mécanismes de dissipation de l'énergie sur une marge boisée de la moyenne Ardèche (Lanas).  | 259 |
| Figure 107 - Unités végétales et variabilité latérale des indicateurs biodynamiques et morphodynamiques observés sur les transects phyto-morphologiques de Mollon (A) et de Blyes (B) (basse vallée de l'Ain)                               | 269 |
| Figure 108 - Relation linéaire entre l'altitude maximale de la ligne d'eau de la crue de l'automne 1992 (Y) et la distance au chenal (X) dans le secteur de Mollon sur l'Ain.   | 275 |
| Figure 109 - Relation linéaire "hauteur de la lame d'eau de la crue de l'automne 1992 - altitude de la topographie" (A) et distribution spatiale des résidus (B), site de Mollon, Ain.  | 276 |
| Figure 110 - Distribution spatiale des résidus de la relation linéaire "hauteur de la lame d'eau de la crue de l'automne 1992 - altitude de la topographie" sur les sites de l'Ardèche.   | 277 |
| Figure 111 - Distribution spatiale des résidus de la relation linéaire "hauteur de la lame d'eau de la crue de l'automne 1992 - altitude de la topographie" sur les sites de l'Ouvèze.  | 277 |
| Figure 112 : Variabilité de la médiane des sédiments présents dans la bande active (charge de fond) et sur les marges boisées (charge en suspension) des cinq rivières d'étude.   | 280 |
| Figure 113 - La médiane des sédiments, une variable dépendant de l'altitude relative (A) et de la distance au chenal (B). Exemples de l'Ardèche, du Giffre, de l'Ouvèze et de l'Ubaye.  | 282 |
| Figure 114 - Variabilité latérale de la médiane des sédiments (A) et modèles linéaires de la relation entre la médiane des sédiments fins (Y) et la distance au chenal (X)(B) sur les marges forestières et viticoles de la moyenne Ouvèze. | 284 |
| Figure 115 - Les images C-M des sédiments prélevés sur différents secteurs des rivières étudiées.   | 286 |
| Figure 116 - Répartition des classes de l'image C-M selon la distance au chenal (A), l'altitude relative (B) et les unités végétales (C)(analyse effectuée dans des unités végétales naturelles).   | 287 |
| Figure 117 - L'épaisseur des formations sablo-limoneuses de la plaine d'inondation de l'Ain, une variable en relation avec l'âge des surfaces (A) et le type d'unité végétale (B).  | 291 |
| Figure 118 - L'épaisseur des formations sablo-limoneuses de la plaine d'inondation du Giffre, de l'Ouvèze et de l'Ubaye, une variable en relation avec le type d'unité végétale.  | 291 |
| Figure 119 - Taux annuel moyen de sédimentation et âge des unités (le cas des sites de Blyes et de Mollon sur l'Ain).   | 293 |
| Figure 120 - Histogramme des valeurs propres (A) et cercles des corrélations (B) de l'Analyse en Composantes principales portant sur les facteurs biomorphologiques.  | 297 |
| Figure 121 - Distribution latérale de la valeur des facteurs biomorphologiques F <sub>1</sub> et F <sub>2</sub> et des indices H et F <sub>1</sub> -F <sub>2</sub> sur les transects de Blyes (A) et de Mollon (B).                         | 298 |
| Figure 122 - Plan factoriel F <sub>1</sub> -F <sub>2</sub> de l'Analyse en Composantes Principales concernant les variables biomorphologiques de l'ensemble des sites (A), de Blyes (B) et de Mollon (C).                                   | 299 |
| Figure 123 - Histogramme des valeurs propres (A) et cercles des corrélations (B) de l'Analyse en Composantes principales portant sur les facteurs phyto-écologiques.  | 300 |

|  |     |
|--|-----|
| Figure 124 - Relations linéaires entre le facteur phyto-sociologique F <sub>1</sub> et la médiane des sédiments de surface (A) et entre le facteur phyto-sociologique F <sub>3</sub> et le nombre d'espèces présentes dans chacune des stations (B). | 301 |
| Figure 125 - Relation linéaire entre le facteur phyto-sociologique F <sub>1</sub> et les facteurs biomorphologique F <sub>1</sub> (A) et F <sub>2</sub> (B).   | 301 |
| Figure 126 - Relation entre l'indice de Shannon et le facteur phyto-sociologique F <sub>3</sub> (A)(Sites de Mollon et de Blyes), le facteur biomorphologique F <sub>1</sub> (B) ou l'altitude de la surface (C)(site de Blyes).                     | 304 |
| Figure 127 - Unités fonctionnelles et points d'échantillonnage dans le pédoncule de Mollon, basse vallée de l'Ain.   | 306 |
| Figure 128 - Le remaniement, le dépôt et l'affouillement, trois descripteurs de la régénération de la surface ripicole.  | 312 |
| Figure 129 - Variabilité spatiale des sédiments de débordement selon la médiane (A), la fraction fine (B) et le coefficient de variation (C) des échantillons.   | 313 |
| Figure 130 - Le pourcentage de calcaire (A) et le taux de matière organique (B) dans l'horizon pédologique de surface.   | 316 |
| Figure 131 - Hypsométrie, type de surface et médiane des sédiments récents des parcelles de terrain étudiées dans la forêt de concavité du méandre de Mollon sur l'Ain en 1992, 1993 et 1994.  | 321 |
| Figure 132 - Profils topographiques transversaux levés sur les parcelles amont et aval à partir des données numériques issues de l'analyse <i>Raster</i> .   | 322 |
| Figure 133 - Variabilité amont-aval des volumes de sédiments en transit dans la parcelle forestière de Mollon (Ain) au cours des périodes 1992-1993 et 1993-1994.  | 324 |
| Figure 134 - Nature et masse des débris ligneux grossiers sur les stations d'échantillonnage du secteur de Mollon, basse vallée de l'Ain.  | 340 |
| Figure 135 - Masse des débris ligneux grossiers et type d'unité végétale dans le secteur de Mollon, basse vallée de l'Ain.   | 341 |
| Figure 136 - Localisation et masse des embâcles de bois sur les sites de concavités de Mollon (Ain) et de Chauzon (Ardèche).   | 342 |
| Figure 137 - Localisation des trois concavités d'étude, Blyes, Mollon et Bublanne dans la basse vallée de l'Ain.   | 346 |
| Figure 138 - Variabilité spatiale de la masse des débris ligneux sur la marge de concavité de trois méandres de l'Ain : Blyes, Bublanne et Mollon.   | 349 |
| Figure 139 - Variabilité spatiale de la hauteur de berge (A) et du type de végétation (B) sur la marge de concavité de trois méandres de l'Ain : Blyes, Bublanne et Mollon.  | 351 |
| Figure 140 - Modèles linéaires de la relation masses de débris - angle d'impact des flux selon le type de végétation.  | 353 |
| Figure 141 - Relations entre la masse de débris et la hauteur de berge, l'angle d'impact des flux ou le type de végétation à Blyes, Bublanne et Mollon, basse vallée de l'Ain.   | 354 |
| Figure 142 - Variabilité spatiale du pourcentage de bois mort en berge sur la marge de concavité de trois méandres de l'Ain : Blyes, Bublanne et Mollon.   | 355 |
| Figure 143 - Relation entre la masse de débris de chaque concavité et trois variables explicatives; le pourcentage de berges érodées à l'amont du site, le rapport r/l et le taux de sinuosité.  | 357 |
| Figure 144 - Localisation, forme, orientation et surface occupée par les embâcles de bois sur la parcelle de Mollon au cours des trois campagnes d'observation.  | 359 |



|   |     |
|---|-----|
| Figure 145 - Répartition amont - aval de la surface occupée par les embâcles de bois sur la parcelle de Mollon en 1992, 1993 et 1994 (d'après une analyse <i>Raster</i> ).  | 360 |
| Figure 146 - Évolution des installations humaines permanentes dans la bande naturelle concédée au cours d'eau par les riverains en 1945, exemple des cinq cours d'eau étudiés (exprimée en % de la surface naturelle de référence). | 373 |
| Figure 147 - Évolution de la largeur de la bande naturelle concédée aux rivières Ardèche (A) et Ouvèze (B) entre 1947 et aujourd'hui.   | 374 |
| Figure 148 - La ripisylve, une structure créatrice d'habitats.  | 378 |
| Figure 149 - Les relations entre la ripisylve et le réseau trophique.   | 379 |
| Figure 150 - Indice de rareté des peuplements d'oiseaux (A) et nombre d'espèces nicheuses (B) dans 9 milieux d'observation sur la basse vallée de l'Ain (D'après J.L. Michelot, 1990a).   | 381 |
| Figure 151 - Sommes cumulées investies dans les protections de berge des rivières Herbasse et Galaure depuis plus de vingt ans (source : syndicats intercommunaux).   | 392 |
| Figure 152 - Potentialités écologiques des débris ligneux grossiers dans les hydrosystèmes forestiers (d'après H. Piégay et L. Maridet, sous presse).   | 398 |
| Figure 153 - Evolution de la diversité des unités élémentaires de la mosaïque fluviale des cinq rivières d'étude entre les années 1940-1950 et aujourd'hui (d'après l'indice de Shannon).   | 416 |
| Figure 154 - Distribution longitudinale de la différence entre les indices de Shannon calculés dans les années 1970 et 1980 sur les transects du Giffre (A) et de l'Ubaye (B).  | 417 |
| Figure 155 - Evolution de la diversité de la mosaïque fluviale de la moyenne Ardèche entre 1947 et 1989 (d'après l'indice de Shannon).  | 418 |
| Figure 156 - Evolution comparée de la diversité des transects soumis et non soumis à anthropisation entre 1947 et 1989 sur la moyenne Ardèche.  | 419 |
| Figure 157 - Sectorisation de la mosaïque de la moyenne Ubaye en 1948 et 1991 en fonction de sa diversité (d'après une Analyse en Composantes Principales normée).  | 421 |
| Figure 158 - Lieux d'habitation des propriétaires recensés sur le cadastre (A) ou interrogés lors de l'enquête (B).   | 423 |
| Figure 159 - Classes d'âge de la population interrogée.   | 423 |
| Figure 160 - Catégories socio-professionnelles de la population interrogée.   | 423 |
| Figure 161 - Valeur accordée par les propriétaires à leur parcelle.   | 425 |
| Figure 162 - L'érosion, un phénomène perçu négativement par les riverains.  | 426 |
| Figure 163 - Attitude des propriétaires riverains si leur parcelle se situait dans un périmètre "zones potentiellement érodables".  | 426 |
| Figure 164 - Un lit mineur d'abord perçu comme un espace privé.   | 428 |
| Figure 165 - L'entretien de la berge au droit des parcelles est perçu comme un devoir du riverain.  | 428 |
| Figure 166 - Sectorisation morphodynamique de la basse vallée de l'Ain (d'après J.P. Bravard et al., modifié, 1990).  | 438 |
| Figure 167 - Evolution de la largeur de la bande active du Giffre entre Samoëns et la Rivière-Enverse de 1934 à 1984.   | 440 |
| Figure 168 - Les logiques d'intervention pour une gestion écologique des marges boisées.  | 450 |

## LISTE DES TABLEAUX



4021905

|   | Pages : |
|---|---------|
| Tableau 1 - Quelques critères généraux des cours d'eau étudiés.   | 38      |
| Tableau 2 - Principaux critères physiques des tronçons étudiés.   | 41      |
| Tableau 3 - Caractères hydrologiques généraux, stations de mesure et périodes d'enregistrement.   | 44      |
| Tableau 4 - Nombre de propriétaires et de responsables interrogés lors de la pré-enquête.   | 62      |
| Tableau 5 - La densité d'habitants au km <sup>2</sup> .   | 115     |
| Tableau 6 - Quel type de bétail était sur ces espaces?  | 119     |
| Tableau 7 - Tableaux de contingence N et N' associant les variables "quel est l'état actuel de votre parcelle?" et "quel est l'état passé de votre parcelle?".  | 120     |
| Tableau 8 - Variation diachronique de la valeur "a" sur les cinq rivières étudiées.   | 123     |
| Tableau 9 - Profils en long et sources disponibles (moyenne vallée du Giffre).  | 128     |
| Tableau 10 - Superficie des sous-bassins et débits estimés sur le tronçon étudié de l'Ardèche.  | 131     |
| Tableau 11 - Superficie des sous-bassins et débits estimés sur le tronçon étudié du Giffre.   | 131     |
| Tableau 12 - Superficie des sous-bassins et débits estimés sur le tronçon étudié de l'Ouvèze.   | 131     |
| Tableau 13 - Superficie des sous-bassins et débits estimés sur le tronçon étudié de l'Ubaye.  | 132     |
| Tableau 14 - Valeurs moyennes de l'incision du Giffre moyen entre 1912 et 1993.   | 142     |
| Tableau 15 - Les syndicats d'endiguement de la moyenne vallée de l'Ouvèze au XIX <sup>e</sup> siècle.   | 159     |
| Tableau 16 - Relation linéaire entre l'enfoncement et l'évolution de la largeur de la bande active, périodes de référence retenues, résultats et validité statistiques :  | 165     |
| Tableau 17 - Les barrages sur le bassin versant du Chassezac  | 173     |
| Tableau 18 - Les inondations du Giffre dans la plaine de Samoëns-Taninges : nombre d'événement par siècle (d'après P. Mougin, 1914).  | 174     |
| Tableau 19 - Variation de la couverture forestière du bassin versant de la moyenne Ardèche au cours des XIX <sup>e</sup> et XX <sup>e</sup> siècles (d'après le cadastre napoléonien, les statistiques agricoles annuelles des années 1919 et 1940 et l'Inventaire Communal de 1988).                         | 180     |
| Tableau 20 - Analyse de l'évolution positive (+) ou négative (-) du boisement communal entre différents recensements forestiers : fréquence des communes par type d'évolution (d'après le cadastre napoléonien, les statistiques agricoles annuelles des années 1919 et 1940, l'Inventaire Communal de 1988). | 180     |
| Tableau 21 - Variation de la couverture forestière du bassin versant du Giffre au cours du XX <sup>e</sup> siècle (d'après le cadastre ancien et l'Inventaire Communal de 1988).  | 184     |
| Tableau 22 - Variation de la couverture forestière du bassin versant de l'Ouvèze au cours des XIX <sup>e</sup> et XX <sup>e</sup> siècles (d'après le cadastre napoléonien et l'Inventaire Communal de 1988).   | 184     |
| Tableau 23 - Variation de la couverture forestière du bassin versant de l'Ubaye au cours des XIX <sup>e</sup> et XX <sup>e</sup> siècles (d'après le cadastre ancien et l'Inventaire Communal de 1988).   | 187     |
| Tableau 24 - Récapitulatif par communes des surfaces boisées (d'après de multiples sources).  | 187     |
| Tableau 25 - Caractéristiques morphodynamiques des sites de l'Ardèche.  | 232     |
| Tableau 26 - Caractéristiques morphodynamiques des sites du Giffre.   | 233     |
| Tableau 27 - Caractéristiques morphodynamiques des sites de l'Ouvèze.   | 236     |
| Tableau 28 - Caractéristiques morphodynamiques des sites de l'Ubaye.  | 238     |
| Tableau 29 - Estimation du débit maximal en lit mineur d'après des mesures effectuées sur les sites de Violès et de Saint-Michel.   | 243     |
| Tableau 30 - Résultats statistiques de la variabilité de la superficie des principales unités de la mosaïque fluviale de l'Ouvèze à la suite de la crue du 22 septembre 1992.   | 248     |
| Tableau 31 - Caractéristiques générales des variables collectées.   | 254     |
| Tableau 32 - Caractéristiques générales des transects.  | 255     |
| Tableau 33 - Résultats de la régression multiple.   | 256     |
| Tableau 34 - Relations bivariées entre Y (les classes d'inclinaison) et les variables explicatives "diamètre" et "distance au chenal".  | 256     |

|   |     |
|---|-----|
| Tableau 35 - Régression multiple entre l'inclinaison et cinq variables explicatives, approche transect par transect.  | 258 |
| Tableau 36 - Régression multiple entre l'inclinaison et cinq variables explicatives, approche par milieux sédimentaires.                                      | 258 |
| Tableau 37 - Critères retenus sur les différents sites d'étude.   | 264 |
| Tableau 38 - Types de débris observés sur les sites de l'Ain.   | 265 |
| Tableau 39 - Code numérique attribué aux périodes de colonisation des points d'échantillonnage par la végétation (d'après les photographies aériennes).       | 267 |
| Tableau 40 - Les variables de la régression multiple associant Y, la médiane des sédiments et quatre variables explicatives.                                  | 281 |
| Tableau 41 - Résultats de la régression multiple associant Y, la médiane des sédiments et 4 régresseurs.  | 282 |
| Tableau 42 - Caractéristiques des stations d'échantillonnage.   | 289 |
| Tableau 43 - Résultats de la régression multiple entre Y, l'épaisseur des sédiments de débordement du lit majeur, et 4 régresseurs.                           | 291 |
| Tableau 44 - Type de sédiments de surface d'après une classification des valeurs médianes (cité par Platts <i>et al.</i> , 1983).                             | 295 |
| Tableau 45 - Contributions absolues des variables biomorphologiques aux facteurs F1, F2 et F3 (en %).   | 297 |
| Tableau 46 - Contribution des cases a posteriori (test de contingence associant le facteur phyto-écologique F1 discrétisé et l'indice biomorphologique F1F2). | 302 |
| Tableau 47 - Valeur moyenne de l'indice H selon la classe déterminée sur le plan factoriel F1F2.  | 304 |
| Tableau 48 - Les critères hydromorphologiques et leurs modalités.   | 307 |
| Tableau 49 - Caractères généraux de la zone observée.   | 320 |
| Tableau 50 - Caractéristiques des parcelles étudiées au moment du levé.   | 320 |
| Tableau 51 - Evolution de la superficie absolue et relative des différentes surfaces.   | 323 |
| Tableau 52 - Budget sédimentaire de la zone d'étude de Mollon durant les deux périodes séparant les campagnes d'observation 1992, 1993 et 1994.               | 325 |
| Tableau 53 - Classes de taille utilisées pour l'estimation des volumes de débris dans les cours d'eau.(d'après Platts <i>et al.</i> , 1987).                  | 332 |
| Tableau 54 - Les masses de débris ligneux grossiers observées sur les sites du Giffre et de l'Ubaye.  | 335 |
| Tableau 55 - Les masses de débris ligneux grossiers observées sur les deux sites de l'Ouvèze.   | 336 |
| Tableau 56 - Les masses de débris ligneux grossiers observées sur les sites de l'Ain et de l'Ardèche.   | 341 |
| Tableau 57 - Caractères généraux des méandres étudiés.  | 346 |
| Tableau 58 - Variabilité de la masse des débris ligneux de chacune des concavités.  | 348 |
| Tableau 59 - Présentation des variables expliquant la distribution du bois mort au sein de chaque concavité.  | 351 |
| Tableau 60 - Résultats de la régression multiple entre Y, la masse des débris ligneux par parcelle, et 3 régresseurs.   | 353 |
| Tableau 61 - Estimation du linéaire de berges érodées à l'amont de chacun des sites.  | 356 |
| Tableau 62 - Tonnages des débris ligneux grossiers de la parcelle de Mollon au cours des trois campagnes d'observation.                                       | 358 |
| Tableau 63 - Les volets thématiques de l'Etude globale de la basse vallée de l'Ain.   | 394 |
| Tableau 64 - Accepter ou refuser la définition de zones potentiellement érodables est une attitude complexe (Test du $\chi^2$ ).                              | 426 |
| Tableau 65 - Estimation du prix des terrains riverains selon le type d'occupation.  | 444 |

## LISTE DES PHOTOGRAPHIES

|  | Pages : |
|--|---------|
| Photographie 1 - Vue générale de la rivière d'Ain et de son corridor forestier {prise de vue hélicoptère, octobre 1993}.   | 35      |
| Photographie 2 - Le corridor forestier de la rivière Ardèche dans le coude d'Aubenas {prise de vue depuis le sommet de la cuesta}.   | 35      |
| Photographie 3 - La forêt alluviale du Giffre à l'aval de la Rivière-Enverse {prise de vue depuis la rive droite}.   | 36      |
| Photographie 4 - Les principaux stades de succession écologique de la forêt alluviale du Giffre (au premier plan une unité végétalisée puis se succèdent des formations herbacée, pionnière et post-pionnière et enfin l'unité arborée à épicéa) {prise de vue en rive droite de la rivière, amont du site des Thézières}. | 36      |
| Photographie 5 - La bande active de l'Ouvèze à l'amont du pont de Sablet.  | 52      |
| Photographie 6 - La bande active de l'Ubaye à l'amont de la confluence avec le torrent du Rioclar {prise de vue depuis la rive droite}.  | 52      |
| Photographie 7 - Le lit majeur de l'Ain en 1810 à l'aval du Pont de Neuville-sur-Ain (d'après le plan d'un projet d'enrochement, Archives Départementales de l'Ain, Bourg-en-Bresse).  | 109     |
| Photographie 8 - Les "vorginés" du lit majeur de l'Ain en 1839, exemple d'un pédoncule de méandre situé sur la commune de St-Jean-de-Niost (d'après le plan cadastral, Service du Cadastre, Trévoux).  | 109     |
| Photographie 9 - La végétation pionnière du lit majeur du Giffre en 1734 : exemple de parcelles situées en rive droite de la rivière à hauteur de Jutteninges sur la commune de la Rivière-Enverse (d'après la Mappede sarde, Archives Départementales de Haute-Savoie, Annecy).   | 109     |
| Photographie 10 - L'affleurement du substratum calcaire dans le lit mineur de l'Ardèche au niveau du coude d'Aubenas (vue vers l'amont).   | 163     |
| Photographie 11 - La digue construite à la fin du XIX <sup>e</sup> siècle, un témoin de la progression de la forêt en lit mineur sur le Giffre, exemple de la rive droite du secteur de Vallon à l'amont de la confluence avec le Clévieux.  | 163     |
| Photographie 12 - La digue de Barcelonnette construite au début du XIX <sup>e</sup> siècle, un délabrement en partie lié à l'incision consécutive aux extractions aval (vue vers l'amont).   | 163     |
| Photographie 13 - Les barrages en pierres sèches et boisages préconisés par le service RTM en Ubaye au XIX <sup>e</sup> siècle (Archives Départementales des Alpes de Haute-Provence).   | 189     |
| Photographie 14 - Fascines et chevalet préconisés par le service RTM en Ubaye au XIX <sup>e</sup> siècle (Archives Départementales des Alpes de Haute-Provence).   | 189     |
| Photographie 15 - Extrait de la carte départementale des bois et terrains susceptibles d'être replantés en 1860 par le service RTM, exemple du bassin versant du Riou Bourdoux (Archives Départementales des Alpes de Haute-Provence).   | 189     |
| Photographie 16 - La végétation alluviale à la confluence de l'Ubaye et du torrent de la Gimette au droit du village des Thuiles, une formation basse et discontinue en 1895 {source : service RTM de Digne}.  | 209     |
| Photographie 17 - La végétation alluviale à la confluence de l'Ubaye et du torrent de la Gimette au droit du village des Thuiles, une formation arborée mûre en 1993.  | 209     |
| Photographie 18 - La forêt alluviale étudiée dans le pédoncule de méandre de Mollon sur l'Ain; la concavité du méandre et le chevelu des chenaux de débordement sont parfaitement marqués {prise de vue hélicoptère depuis la rive droite}.  | 227     |
| Photographie 19 - La forêt alluviale étudiée dans le pédoncule de méandre de Blyes sur l'Ain; le banc de convexité se situe au premier plan {prise de vue hélicoptère depuis la rive droite}.  | 227     |

|  |     |
|--|-----|
| Photographie n° 20 : Le tronc exhumé, un témoin du rajeunissement d'une unité forestière riveraine du chenal secondaire situé à l'ouest dans le pédoncule de méandre de Mollon sur l'Ain.  | 309 |
| Photographie n° 21 : La nappe de galets transgressive de la lône orientale dans le pédoncule de méandre de Mollon sur l'Ain (vue depuis la rive droite).   | 309 |
| Photographie n° 22 : La nappe de galets transgressive de la lône ouest dans le pédoncule de méandre de Mollon sur l'Ain (vue vers l'amont).  | 309 |
| Photographie 23 - Les débris de bois flottés dans la bande de tressage du Giffre au niveau du secteur de Verchaix (vue vers l'amont).  | 337 |
| Photographie 24 - La ligne de débris de la berge de concavité du secteur de Saint-Michel sur l'Ouvèze après la crue du 22 septembre 1992 (prise de vue depuis la rive gauche).   | 337 |
| Photographies 25 et 26 - La canalisation de l'écoulement par la ligne de débris, exemple des parties amont des lônes occidentale (27) et médiane (28) de Mollon sur l'Ain lors de la crue de l'automne 1993.                     | 343 |
| Photographie 27 - La ligne de débris de l'actuelle berge de concavité de Mollon sur l'Ain (vue vers l'amont).  | 344 |
| Photographie 28 - L'embâcle majeur de la concavité de l'Ain qui était active en 1971, partie orientale du pédoncule de méandre de Mollon sur l'Ain.  | 344 |
| Photographie 29 - Une zone d'extraction de matériau à l'intérieur du corridor végétal de rive gauche de l'Ain à l'aval du Pont de Port-Galland.  | 375 |
| Photographie 30 - Un corridor forestier domestiqué et plus étroit au niveau de la zone de loisir de la commune de Villieu-Loyes-Mollon en rive droite l'Ain.   | 375 |
| Photographie 31 - La décharge de Saint-Jean-de-Niost à l'intérieur du corridor végétal de rive droite de l'Ain, des déchets en étroite relation avec la nappe phéatique et les écoulements superficiels de l'Ain lors des crues. | 375 |
| Photographie 32 - La forêt alluviale de l'Ain à la confluence avec le Rhône lors de la crue de l'automne 1993, une zone naturelle permettant un écrêtement des crues.  | 385 |
| Photographie 33 - La ripisylve d'un petit affluent de la Liamone en Corse. Ses essences à feuilles caduques forment un étonnant contraste avec les formations méditerranéennes sempervirentes des versants.                      | 385 |
| Photographie 34 - Perception du réseau hydrographique grâce au linéaire des formations arborées riveraines (prise de vue aérienne de la région située à l'est de Aix-en-Provence).   | 385 |
| Photographie 35 - La forêt alluviale du Giffre, un corridor original dans le fond de vallée (prise de vue depuis la rive droite).  | 385 |
| Photographie 36 - L'enrochement de Taffanelles, une protection de berge coûteuse et en cours d'affouillement (commune de Saint-Jean-de-Niost, rive droite de l'Ain).   | 392 |
| Photographie 37 - Le chenal de crue de l'Isar dans la traversée de la ville de Landshut en Bavière (vue du tronçon n'ayant pas été soumis à une restauration paysagère).   | 405 |
| Photographie 38 - Le chenal de crue de l'Isar dans la traversée de la ville de Landshut en Bavière (vue du tronçon ayant subi une restauration paysagère).   | 405 |
| Photographie 39 - Extrait d'un plan de restauration de méandre de la rivière Zusam, un affluent de rive droite du Danube au niveau de Donauwörth en Bavière (vue de l'ancien chenal rectifié et du chenal récemment restauré).   | 405 |
| Photographie 40 - Zone humide reconstituée artificiellement sur les marges de la Kössnach, affluent du Danube à Kirchchrott en Bavière.  | 405 |

## ANNEXES

## Annexe I. Cartes et photographies aériennes utilisées au cours de ce travail.

### 1. Année et échelle des photographies aériennes de l'IGN utilisées sur chacune des rivières

#### **Ain :**

1947 (échelle voisine de 1 / 26 000°),  
1971 (échelle voisine de 1 / 15 000°),  
1991 (échelle voisine de 1 / 30 000°).

#### **Ardèche :**

1947 (échelle voisine de 1 / 28 000°),  
1969 (échelle voisine de 1 / 17 000°),  
1989 (échelle voisine de 1 / 30 000°).

#### **Giffre :**

1934 (échelle voisine de 1 / 19 000°),  
1954 (échelle voisine de 1 / 20 000°),  
1974 (échelle voisine de 1 / 23 000°),  
1984 (échelle voisine de 1 / 20 000°),

NB : Des photographies plus récentes existaient mais leur échelle était trop petite.

#### **Ouvèze :**

1947 (échelle voisine de 1 / 27 000°),  
1973 (échelle voisine de 1 / 15 500°),  
1991 (échelle voisine de 1 / 21 000°).

#### **Ubaye :**

1948 (échelle voisine de 1 / 35 000°),  
1956 (échelle voisine de 1 / 37 000°),  
1973 (échelle voisine de 1 / 21 000°),  
1982 (échelle voisine de 1 / 24 500°),  
1990 (échelle voisine de 1 / 37 500°).

### 2. Les cartes topographiques

#### **Ain :**

n° 44, Lyon/Genève, (série 1/100 000°), 1988,  
n° 3130 est, Ambérieu-en-Bugey (série 1/25 000°), révision de 1984,  
n° 3131 ouest, Meyzieu/Montluel (série 1/25 000°), révision de 1985,  
n° 3131 est, Crémieu (série 1/25 000°), révision de 1985.

**Ardèche :**

n° 59, Privas/Alès, (série 1/100 000°), 1987,  
n° 2938 ouest, Aubenas (série 1/25 000°), révision de 1990,  
n° 2939 ouest, Vallon-Pont-d'Arc (série 1/25 000°), révision de 1982.

**Giffre :**

n° 45, Annecy/Lausanne, (série 1/100 000°), 1986,  
n° 3529 ouest, Taninges (série 1/25 000°), révision de 1982.  
n° 3530 et Top 25, Samoëns Haut-Giffre (série 1/25 000°), révision de 1989.  
n° 3530 est, Passy et désert de Platé, (série 1/25 000°), révision de 1982,  
n° 3630 ouest, Chamonix / Mont Blanc, (série 1/25 000°), révision de 1980.

**Ouvèze :**

n° 60, Cavaillon/Digne-les-Bains, (série 1/100 000°), 1989,  
n° 66, Avignon/Montpellier, (série 1/100 000°), 1986,  
n° 3040 est, Beaumes-de-Venise (série 1/25 000°), révision de 1981,  
n° 3140 est, Buis-les-Baronnies (série 1/25 000°), révision de 1980,  
n° 3140 ouest, Vaison-la-Romaine (série 1/25 000°), révision de 1980.

**Ubaye :**

n° 54, Gap/Grenoble, (série 1/100 000°), 1985,  
n° 61, Nice/Barcelonnette, (série 1/100 000°), 1985,  
n° 3539, Barcelonnette (série 1/50 000°), révision de 1980,  
n° 3439 est, Seyne (série 1/25 000°), révision de 1985,  
n° 3539 ouest, Barcelonnette / Pra-loup (série 1/25 000°), révision de 1989,  
n° 3539 est, Jausiers / le Sauze 3539 (série 1/25 000°), révision de 1989.

**3. Les cartes géologiques**

Barcelonnette (1/ 50 000°), BRGM, 1972,  
Vaison-la-Romaine (1/50 000°), BRGM, 1987,  
Largentière (1/80 000°), n°197, 1933,  
Privas (1/80 000°), n°198, 1933,  
Gap (1/250 000°), n°35, BRGM, 1979,  
Lyon (1/250 000°), n°29, BRGM, 1979,  
Thonon-les-Bains (1/250 000°), n°25, BRGM, 1985,  
Feuille de Valence (1/250 000°), n°34, BRGM, 1980.

**Annexe II. Questionnaire de l'enquête effectuée auprès des propriétaires de bois riverains de cours d'eau en août 1993 pour le compte de l'Agence de l'Eau RMC et du GRAIE.**

Questionnaire n°..... passé le .....

Attention : Ce questionnaire est à remplir dans l'ordre du texte, sans lecture préalable !

**1. Perception de la rivière.**

**1.1. Introduction**

1.1.1 - Depuis combien de temps êtes-vous propriétaire de votre parcelle?

.....

1.1.2 - Selon vous, la rivière bordant votre parcelle, est-elle belle?

- 1. oui
- 2. non

1.1.3 - Pourquoi?

- 1.
- 2.
- 3.
- 4.

**1.2 Les changements : réponse spontanée**

Depuis que vous connaissez la rivière, quels changements avez vous perçus:

1.2.1 - sur la rivière?

.....  
.....  
.....

1.2.2 - sur les rives?

.....  
.....  
.....

1.2.3 - concernant les utilisations de la rivière et des rives?

.....  
.....  
.....

**1.3 Les changements : réponse plus réfléchie**

Vous venez d'exprimer un certain nombre de changements sur la rivière et ses berges, pouvez-vous maintenant nous donner quelques précisions, explications et dates concernant ces changements sur :

1.3.1 - la rivière en matière de :

- qualité de l'eau ..
- richesse en poissons ..
- ampleur et fréquence des crues ..
- débits ..
- largeur du lit ..
- enfoncement du lit ..
- divagation du chenal ..
- autres, précisez ..

1.3.2 - les rives en matière de :

- inondation ..
- érosion ..
- pollution ..
- croissance ou diminution de la forêt ..
- endiguement ..
- faune ..
- flore ..
- accès à la rivière ..
- fréquentation des berges ..
- autres, précisez ..

1.3.3 - les utilisations passées et présentes de la rivière et des rives:

|                                     | PASSEES | PRESENTEES |
|-------------------------------------|---------|------------|
| - extraction de graviers ..         | ..      | .....      |
| - hydroélectricité ..               | ..      | .....      |
| - tourisme ..                       | ..      | .....      |
| - alimentation des lacs latéraux .. | ..      | .....      |
| - irrigation ..                     | ..      | .....      |
| - autres, précisez ..               | ..      | .....      |

1.4 Les changements de la forêt

- 1.4.1 - La forêt a-t-elle toujours existé? oui - non - ne sait pas
- 1.4.2 - Si non, qu'y avait-il auparavant (à quoi servaient ces espaces)?  
.....  
.....
- 1.4.3 - Pouvez vous préciser la date du changement?  
.....
- 1.4.4 - Pourquoi ces changements?  
.....  
.....

Selon votre réponse 1.4.2, pouvez-vous préciser :

- 1.4.5 - A quelle période le bétail était-il sur ces espaces?  
.....
- 1.4.6 - Quel type de bétail était-ce?  
.....
- 1.4.7 - A quelle période avaient lieu les coupes de bois?  
.....
- 1.4.8 - Quelles espèces de bois étaient utilisées?  
.....

1.5 Evaluation globale

Pouvez-vous, pour finir, nous donner trois adjectifs qualifiant globalement votre rivière :

- 
- 
- 

Vous venez de nous parler de votre rivière et de son environnement, abordons maintenant les problèmes de gestion.

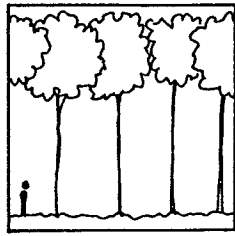
II. La gestion de la parcelle.

2.1 Connaissance de la parcelle

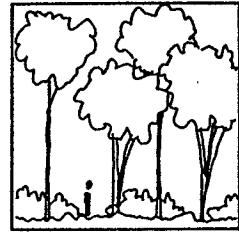
- 2.1.1 - Quel est le type de forêt?



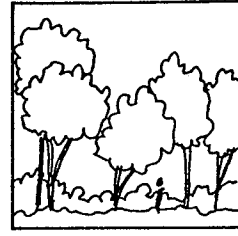
2.1.1.1 Choisissez le croquis décrivant au mieux votre forêt :



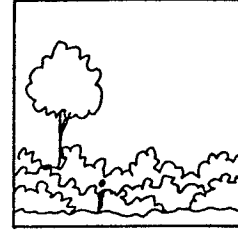
Futaie



Taillis sous futaie



Taillis



Lande

2.1.1.2 Quelles sont les espèces d'arbres présentes?

.....  
 .....

2.1.2 - Dans quel état est votre parcelle?

2.1.2.1 - Votre parcelle est plutôt :

.....

- naturelle et entretenue*
- naturelle et abandonnée*
- exploitée (coupe blanche)*
- exploitée de manière extensive*

2.1.2.2 - Quelle est la fréquence des coupes :

.....

2.1.3 - Depuis combien de temps la parcelle est-elle ainsi gérée?

.....

2.1.4 - Quelle était la gestion antérieure de votre parcelle?

.....  
 .....

2.1.5 - Que prévoyez-vous pour l'avenir?

.....  
 .....

2.1.6 - Quelle valeur accordez-vous à la parcelle?

.....

- *patrimoine familial*
- *financière*
- *écologique*
- *aucune valeur*
- *autres, précisez*  .....

**2.2 Influence de la rivière sur la parcelle**

2.2.1 - La rivière joue-t-elle un rôle pour l'usage que vous avez de la parcelle?

**oui - non**

2.2.2 - Si oui lequel?

.....

- *sentimental*
- *irrigation - arrosage*
- *loisirs - détente (à titre personnel)*
- *exploitation touristique*
- *autres, précisez*  .....

2.2.3 - Y a-t-il un risque de perdre votre parcelle sous l'action érosive de la rivière?

**oui - non**

2.2.4 - Acceptez-vous ce risque?

**oui - non**

2.2.5 - Souhaiteriez-vous échanger votre parcelle avec une autre de même valeur plus éloignée du cours d'eau ou la vendre?

**oui - non (échanger)  
 oui - non (vendre)**

2.2.6 - Si votre parcelle est régulièrement inondée:

2.2.6.1 - Acceptez-vous ce risque?

**oui - non**

2.2.6.2 - Souhaiteriez-vous l'échanger ou la vendre?

**oui - non (échanger)  
 oui - non (vendre)**

Nous venons de parler de la gestion de votre parcelle, abordons maintenant la gestion de la rivière dans son ensemble.

Vous savez peut-être qu'il y a divers statuts de propriété des cours d'eau en France : les rivières domaniales et les rivières non domaniales.

### 3. Les gestionnaires et le droit de l'eau

3.1 - Votre rivière est :

- Domaniale
- Non domaniale
- Ne sait pas

3.2 - Savez-vous qui est propriétaire de l'eau?

.....  
.....

3.3 - Savez-vous qui est propriétaire du lit et des berges de votre rivière?

.....  
.....

3.4 - Qui sont les organismes qui assurent la gestion de la rivière?

.....  
.....  
.....

3.5 - Quel est leur rôle?

.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....

3.6 - Qui est chargé d'entretenir la berge au droit de votre parcelle?

.....  
.....  
.....

3.7 - Pour vous, que signifie gérer un patrimoine fluvial?

.....  
.....  
.....

Nous venons de vous interroger sur les responsables de la gestion de la rivière. Mais comment vit cette rivière si on la considère dans sa globalité?

Abordons les problèmes du fonctionnement naturel de la rivière.

### 4. Le fonctionnement naturel de la rivière

4.1 - Pouvez-vous nous dire jusqu'où s'étend l'espace naturel d'une rivière?

- uniquement le lit où coule l'eau
- le lit où coule l'eau et les bancs de galet
- le lit où coule l'eau, les bancs de galet et la forêt de rives

4.2 - Quels sont, à votre avis, les avantages d'une forêt de rive?

- paysager
- limiter l'étalement des crues
- limiter les destructions liées aux crues
- limiter les dépôts de sédiments liés aux crues
- écosystème diversifié (abri pour la faune)
- ombrage
- autres, précisez .....

4.3 - L'érosion est-elle pour vous un phénomène :

4.3.1 - toujours négatif?

**oui - non - ne sait pas**

4.3.2 - si non, à quelles conditions est-elle positive?

.....  
.....  
.....

Maintenant que nous connaissons mieux la rivière, abordons les nouvelles orientations de sa gestion.

### 5. Opinion des propriétaires sur les nouvelles orientations de gestion des rivières.

5.1 - Connaissez-vous la dernière Loi sur l'Eau?

**oui - non**

5.2 - Sa date? .....

5.3 - Comment avez-vous appris l'existence de cette Loi?

.....

Les nouvelles directives de la Loi sur l'Eau entraînent de nouveaux principes de gestion tenant compte du milieu naturel et de son fonctionnement .

L'érosion de berges est un élément clef du fonctionnement de certaines rivières. Elle peut être conservée dans une certaine mesure. La nouvelle loi permet de définir des zones potentiellement érodables.

5.4 - Les zones potentiellement érodables

Le respect de la vie de la rivière risque d'entraîner, après érosion, la disparition sous les eaux, de certaines parcelles.

5.4.0 - Etes-vous d'accord avec le principe de définition de ZPE ? **oui - non - NSP**

5.4.1 - A quel(s) organisme(s) souhaiteriez-vous que soit confiée la définition d'une telle zone et sa gestion?

- Direction Départementale de l'Agriculture
- Direction Départementale de l'Équipement
- Syndicat intercommunal existant
- Syndicat à créer
- Structure propre prévue par la loi sur l'eau
- Autres, précisez.....

5.4.2 - Si vos parcelles se trouvaient dans cette zone, et pouvaient éventuellement disparaître, quelle serait votre attitude?

- laisser faire (le risque a toujours été présent)
- refuser :
  - et protéger les berges
  - et négocier un rachat par un syndicat ou autre organisme
  - et demander une indemnisation en échange de la réduction de l'usage de la propriété (limitation des coupes...)
- autres, précisez.....

### 5.5 - Les orientations touristiques potentielles

5.5.1 - Pour le développement du tourisme, accepteriez-vous de voir tracer sur vos parcelles des itinéraires de randonnée pédestre, cycliste, équestre?

5.5.1.1 **oui - non**

5.5.1.2 - A quelles conditions?

.....  
.....  
.....

5.5.2 - Accepteriez-vous de céder votre terrain pour des aménagements touristiques?

5.5.2.1 **oui - non**

5.5.2.2 - Quels types d'aménagements?

.....  
.....  
.....

5.5.2.3 - A quelles conditions?

.....  
.....

5.5.3 - A quel(s) organisme(s) pourrait être confiée cette gestion touristique?

.....  
.....

## 6. Quelques informations vous concernant

### 6.1 - Vous êtes un particulier :

6.1.1 - Lieu d'habitation .....

6.1.2 - Connaissance du propriétaire précédent

6.1.2.1 - Connaissez-vous le propriétaire précédent? **oui - non**

6.1.2.2 - Possédez-vous cette parcelle par :

- Héritage
- Achat

6.1.3 - Lèguerez-vous cette propriété à des héritiers?

**oui - non**

6.1.4 - Votre tranche d'âge :

- moins de 30 ans
- 30 - 40
- 40 - 50
- 50 - 60
- plus de 60 ans

6.1.5 - Votre statut professionnel :

- |                       |                       |                 |                       |
|-----------------------|-----------------------|-----------------|-----------------------|
| - Exploitant agricole | <input type="radio"/> | - Fonctionnaire | <input type="radio"/> |
| - Cadre supérieur     | <input type="radio"/> | - Ouvrier       | <input type="radio"/> |
| - Profession libérale | <input type="radio"/> | - Retraité      | <input type="radio"/> |
| - Cadre moyen         | <input type="radio"/> | - Autres        | <input type="radio"/> |
| - Employé             | <input type="radio"/> |                 |                       |

### 6.2 - Vous êtes une collectivité locale

6.2.1 - Nom de la commune .....

6.2.2 - Connaissance du propriétaire précédent

- Héritage
- Achat
- Prémption
- Expropriation

6.2.3 - Qui a répondu au questionnaire au nom de la collectivité locale?

.....

6.2.4 - Contraintes ou servitudes éventuelles

.....  
.....

### Annexe III. Classification écologique des espèces présentes dans les communautés de la basse vallée de l'Ain.

Groupe 1. Espèces ligneuses des sols filtrants à grande amplitude écologique (profondeur de la nappe phréatique très variable) : *Populus nigra*, *Salix eleagnos*. Ce groupe est présent aussi bien sur les dépôts stabilisés (grossiers) que dans les habitats instables.

Groupe 2. Espèces ligneuses sur dépôts sableux ou limoneux, en rapport avec une nappe superficielle : *Salix viminalis*, *S. alba*, *S. fragilis*, *Alnus glutinosa* (en bordure de bras).

Groupe 3. Espèces ligneuses caractérisant les paliers d'altitude moyenne, inondés périodiquement : *Fraxinus excelsior*, *Quercus robur*, *Ulmus minor*, *Cornus sanguinea*, *Viburnum opulus*, *Crataegus monogyna*, *Lonicera xylosteum*, *Ligustrum vulgare*.

Groupe 4. Espèces ligneuses caractérisant les paliers les plus hauts, les plus stables, les moins soumis aux inondations : *Tilia cordata*, *Acer campestre*, *Acer negundo*, *Corylus avellana*, *Tilia platyphyllos*, *Juglans regia*, *Viburnum lantana*, *Evonymus europaeus*.

Groupe 5. Espèces ligneuses caractérisant les paliers les plus hauts, sur dépôts riches en matériaux grossiers, stabilisés : *Berberis vulgaris*, *Prunus spinosa*, *Prunus mahaleb*, *Rhamnus cathartica*, *Rosa canina*.

Groupe 6. Espèces ligneuses nitratophiles : *Sambucus nigra*, *Buddleja variabilis* et *Polygonum sachalinense*.

Groupe 7. Espèces herbacées hygrophiles : *Lythrum salicaria*, *Phragmites australis*, *Valeriana officinalis*, *Iris pseudocorus*, *Polygonum lapathifolium*, *Filipendula ulmaria*, *Sanguisorba officinalis*.

Groupe 8. Lianes : *Humulus lupulus*, *Clematis vitalba*, *Tamus communis*, *Parthenocissus quinquefolia*, *Vitis sp.*

Groupe 9. Espèces herbacées colonisant les dunes sableuses : *Phalaris arundinacea*, *Agrostis stolonifera*, soumises à de fréquents remaniements et soumises à des submersions répétées.

Groupe 10. Herbacées des bras en voie de colmatage où se déposent des limons : *Cardamine amara*, *Deschampsia aspitosa*, *Cardamine pratensis*, *Lysimachia mammularia*, *Ranunculus repens*, *Carex pendula*, *Carex remota*, *Caltha palustris*, *Ficaria ranunculoïdes*, *Rumex conglomeratus*, *Rumex obtusifolius*.

Groupe 11. Herbacées liées à la forêt de bois durs (humus de type mull calcique) : *Rubus caesius*, *Brachypodium sylvaticum*, *Festuca gigantea*, *Tamus communis*, *Circea lutetiana*, *Ribes nigrum*, *Aegopodium podagraria*, *Allium ursinum*, *Agropyrum caninum*, *Hedera helix*.

Groupe 12. Herbacées des forêts de bois durs liées aux paliers les plus hauts dans des forêts stabilisées depuis plusieurs décennies : *Lamium galeobdolon*, *Paris quadrifolia*, *Viola sylvatica*, *Primula officinalis*, *Euphorbia dulcis*, *Ajuga reptans*, *Carex silvatica*, *Arum maculatum*, *Platanthera bifolia*, *Helleborus foetidus*.

Groupe 13. Herbacées nitratophiles : *Galium aparine*, *Solidago gigantea*, *Alliaria petiolata*, *Artemisia vulgaris*, *Pastinaca sativa*, *Agropyrum glaucum*, *Urtica dioïca*, *Eupatorium cannabinum*, *Glechoma hederaceum*, *Geranium robertianum*, *Rubus fruticosus*, *Cirsium lanceolatum*, *Bromus sterilis*, *Vicia sepium*, *Angelica*

*sylvestris*, *Lappa minor*, *Cirsium atvense*, *Stachys sylvatica*, *Heracleum Spondylium*, *Epilobium hirsutum*, *Silene inflata*, *Buddleia variabilis*.

Groupe 14. Herbacées colonisant les bancs d'alluvions récentes, les dépôts fréquemment remaniés : *Melilotus alba*, *Saponaria officinalis*, *Oenothera biennis*, *Epilobium dodonaei*, *Reseda lutea*, *Scrophularia nodosa*, *Scrophularia canina*, *Tussilago farfara*, *Stenactis annua*, *Matricaria camomilla*, *Sysimbrium officinale*.

Groupe 15. Herbacées des pelouses mésophiles : *Poa pratensis*, *Poa trivialis*, *Bromus erectus*, *Dactylis glomerata*, *Galium mollugo*, *Arrhenatherum elatius*, *Plantago lanceolata*, *Rumex acetosa*, *Silene inflata*, *Taraxacum officinale*, *Euphorbia cyparissias*, *Carex glanca*.

Groupe 16. Espèces herbacées des pelouses sèches (mésoxérophiles ou xérophiles) : *Origanum vulgare*, *Potentilla verna*, *Sauguisorba minor*, *Tencrium chamagedrys*, *Sedum album*, *Sedum reflexum*, *Euphorbia seguieriana*, *Fumana procumbens*, *Festuca duruiscula*, *Plantago cynops*, *Helianthemum apenninum*, *Ranunculus gramineus*, *Carex praecox*, *Orchis militaris*, *Helianthemum vulgare*, *Helianthemum italicum*, *Hippocrepis comosa*.

Groupe des paliers les plus hauts sur dépôts granuleux, jamais inondés.

### IV Présentation des données collectées sur les transects des différents sites d'étude.

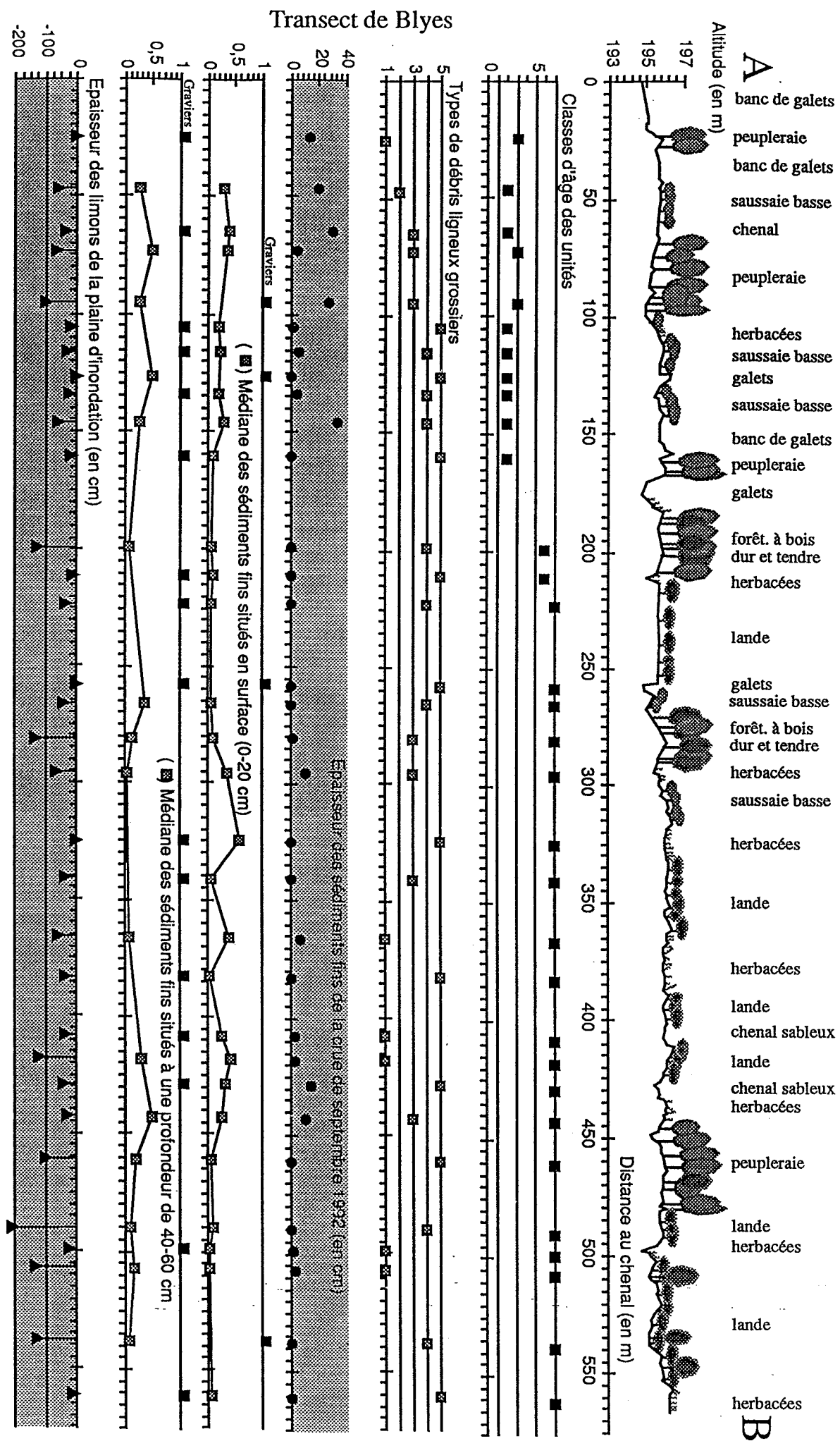
Figure 1 - Unités végétales et variabilité latérale des indicateurs biodynamiques et morphodynamiques observés sur le transect phyto-morphologique de Blyes (basse vallée de l'Ain).

Figure 2 - Transects phytoécologiques et hydromorphologiques levés dans les secteurs de Jastre (A), Saint-Didier (B), Vogüé (C) et Chauzon (D), moyenne vallée de l'Ardèche.

Figure 3 - Transects phytoécologiques et hydromorphologiques levés dans les secteurs des Millières (A), de Verchaix (B), et des Thézières (C), moyenne vallée du Giffre.

Figure 4 - Transects phytoécologiques et hydromorphologiques levés dans les secteurs de Violès (A) et de Saint-Michel (B), moyenne vallée de l'Ouvèze.

Figure 5 - Transects phytoécologiques et hydromorphologiques levés dans les secteurs d'Enchastrayes (A), de Méolans-Le Rioclar (B) et de Champanastais (C), moyenne vallée de l'Ubaye.



Figure

Sud - Ouest

Nord - Est

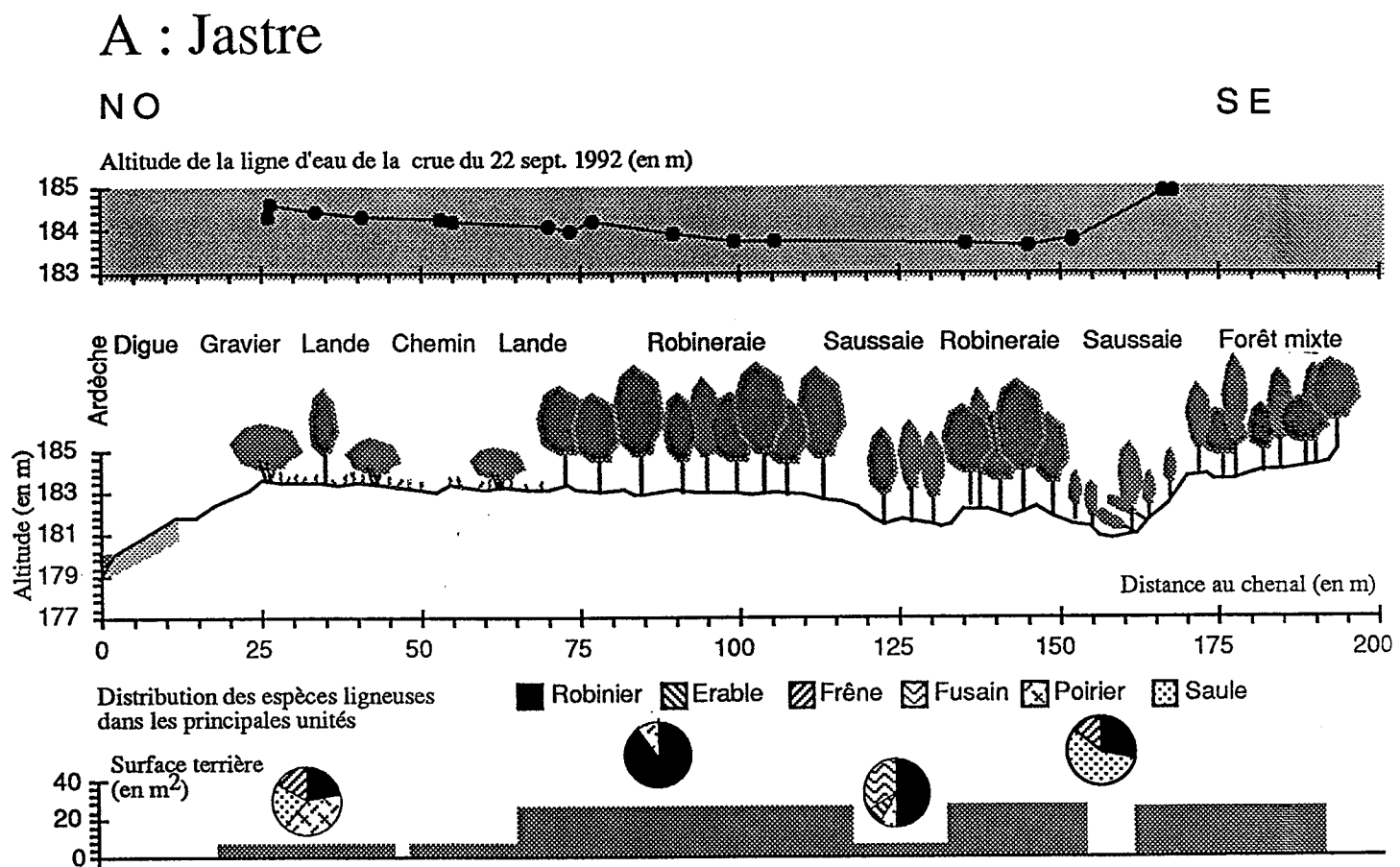


Figure 2

Figure

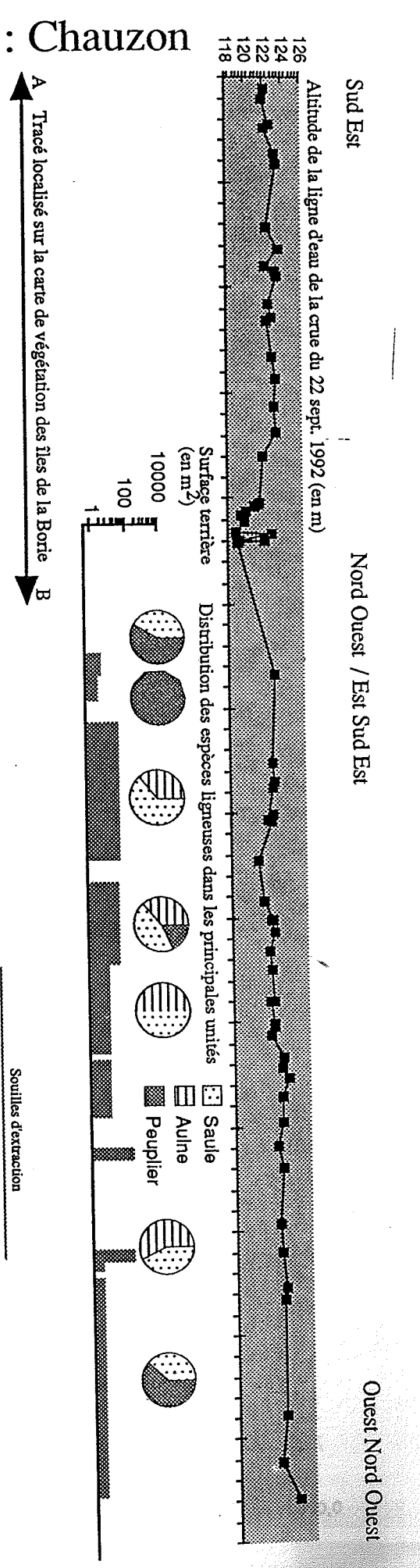
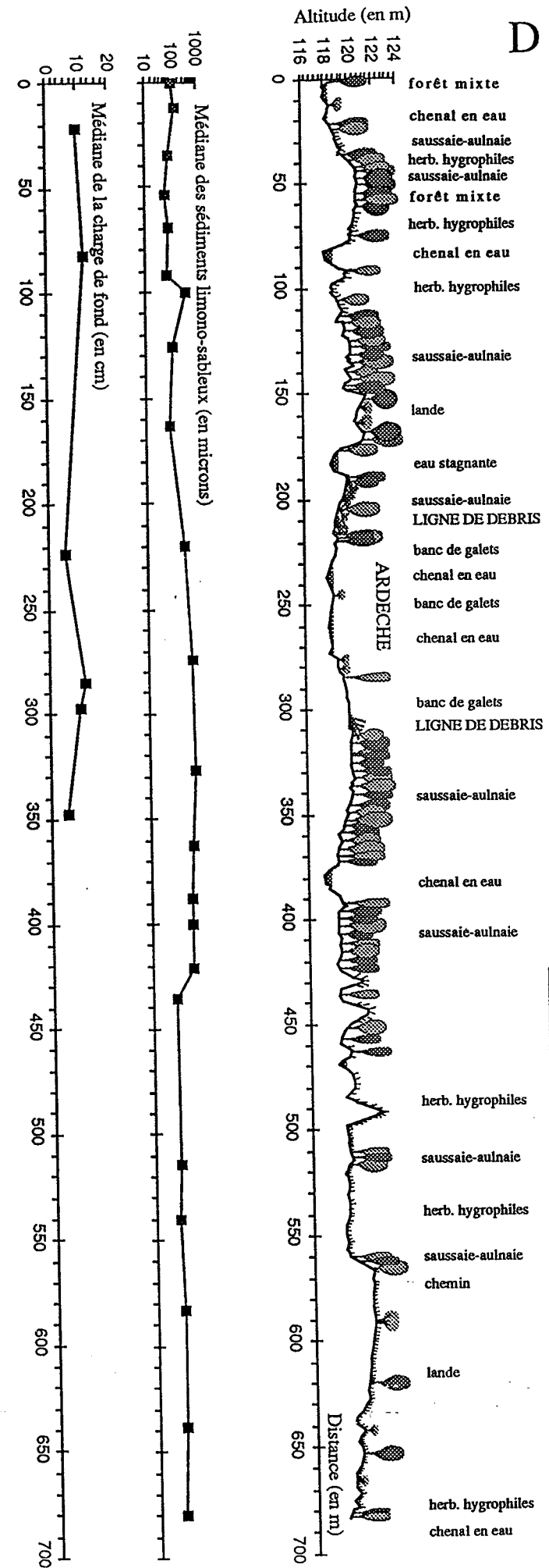
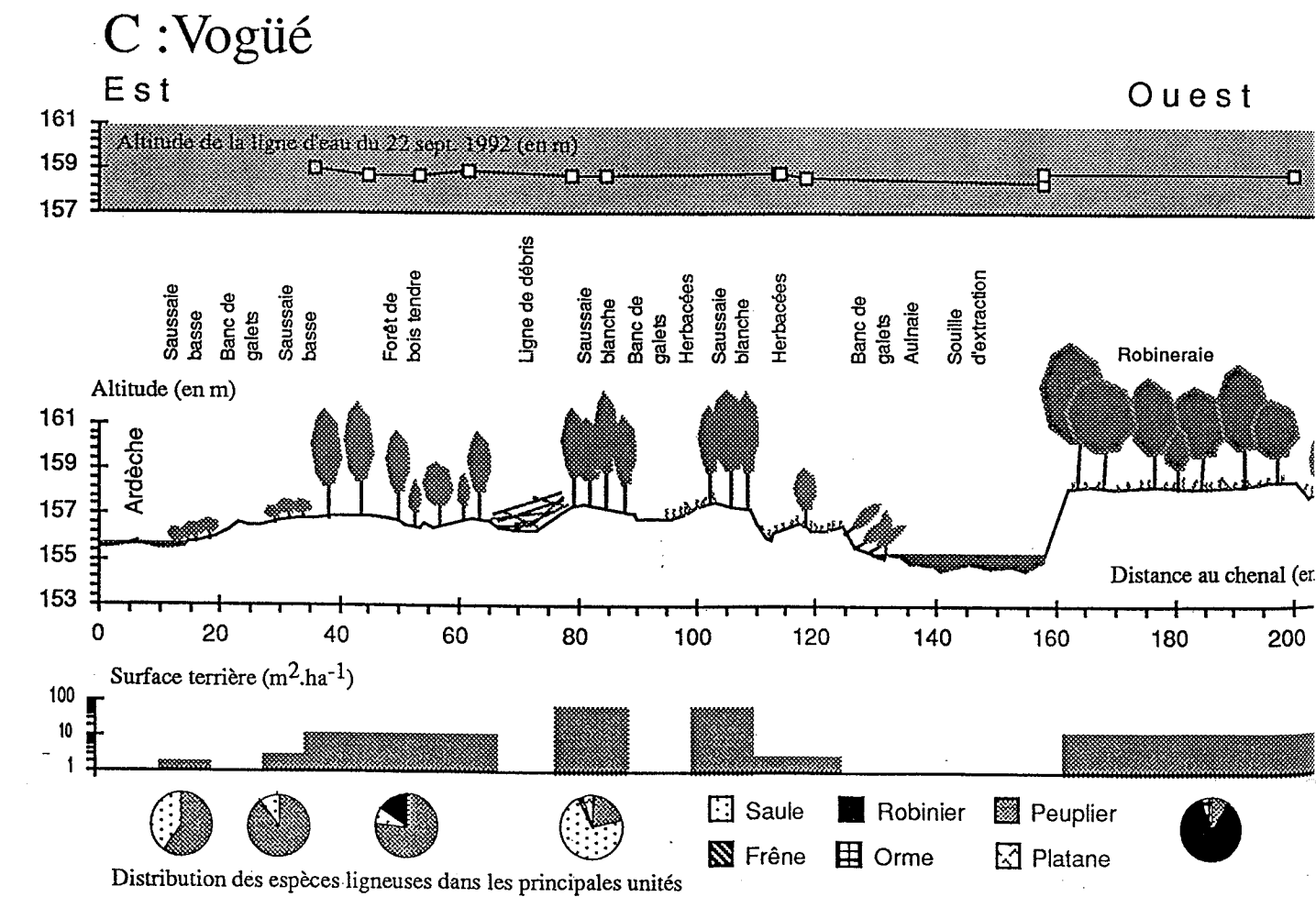
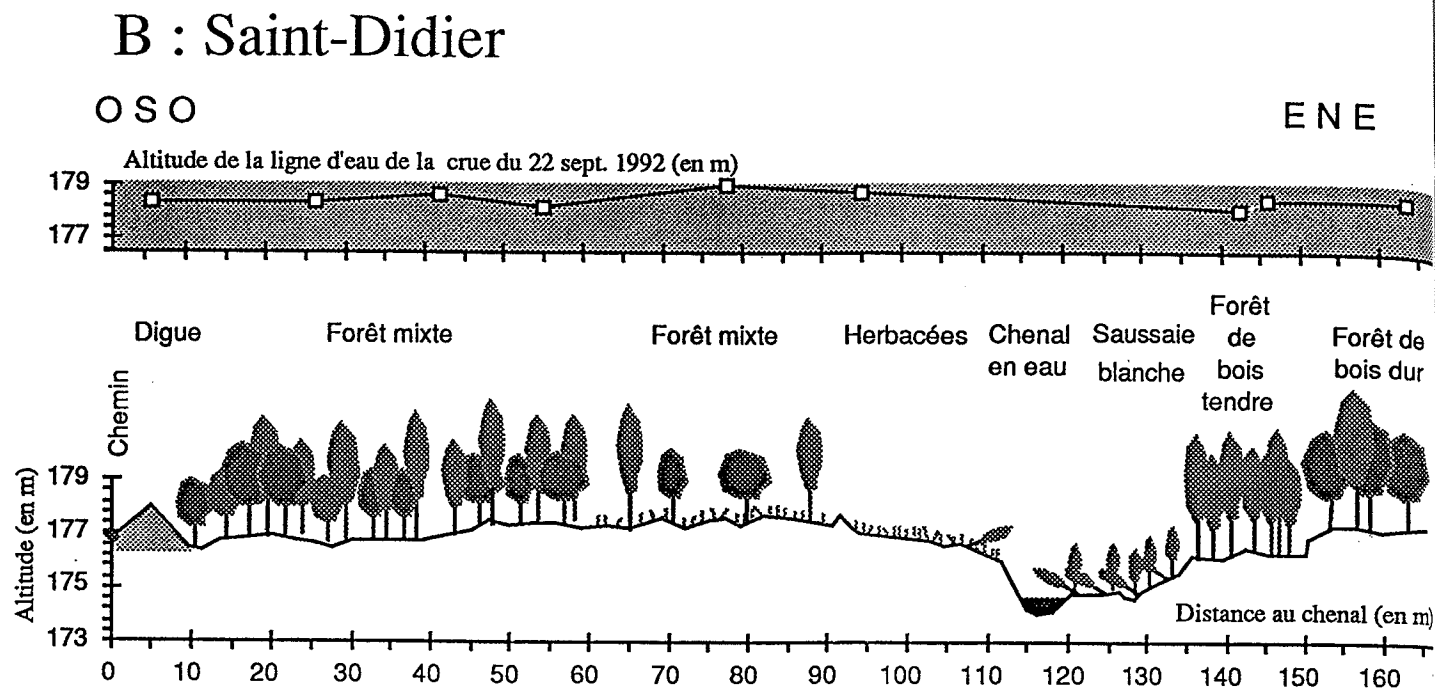


Figure 3

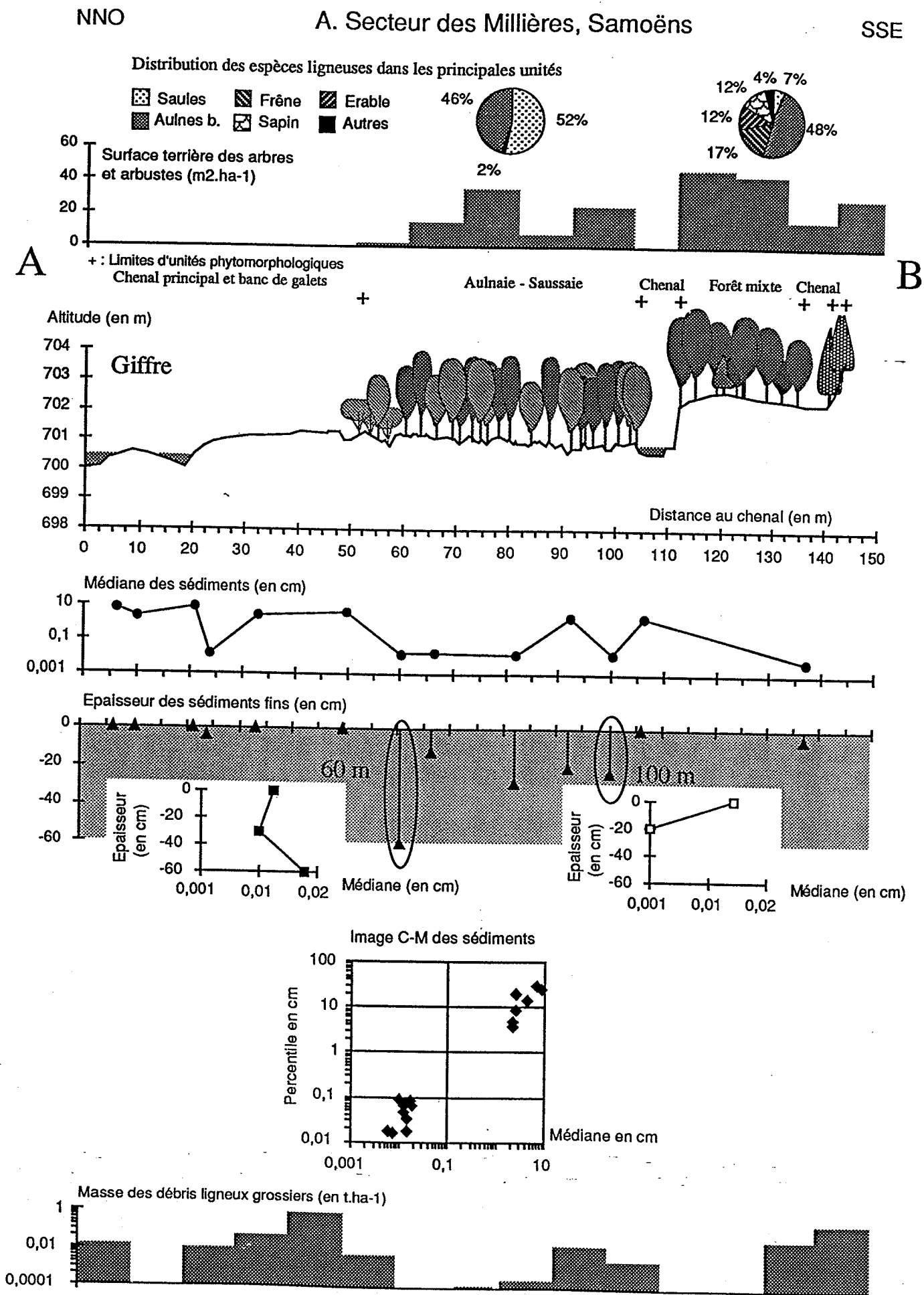


Figure 3

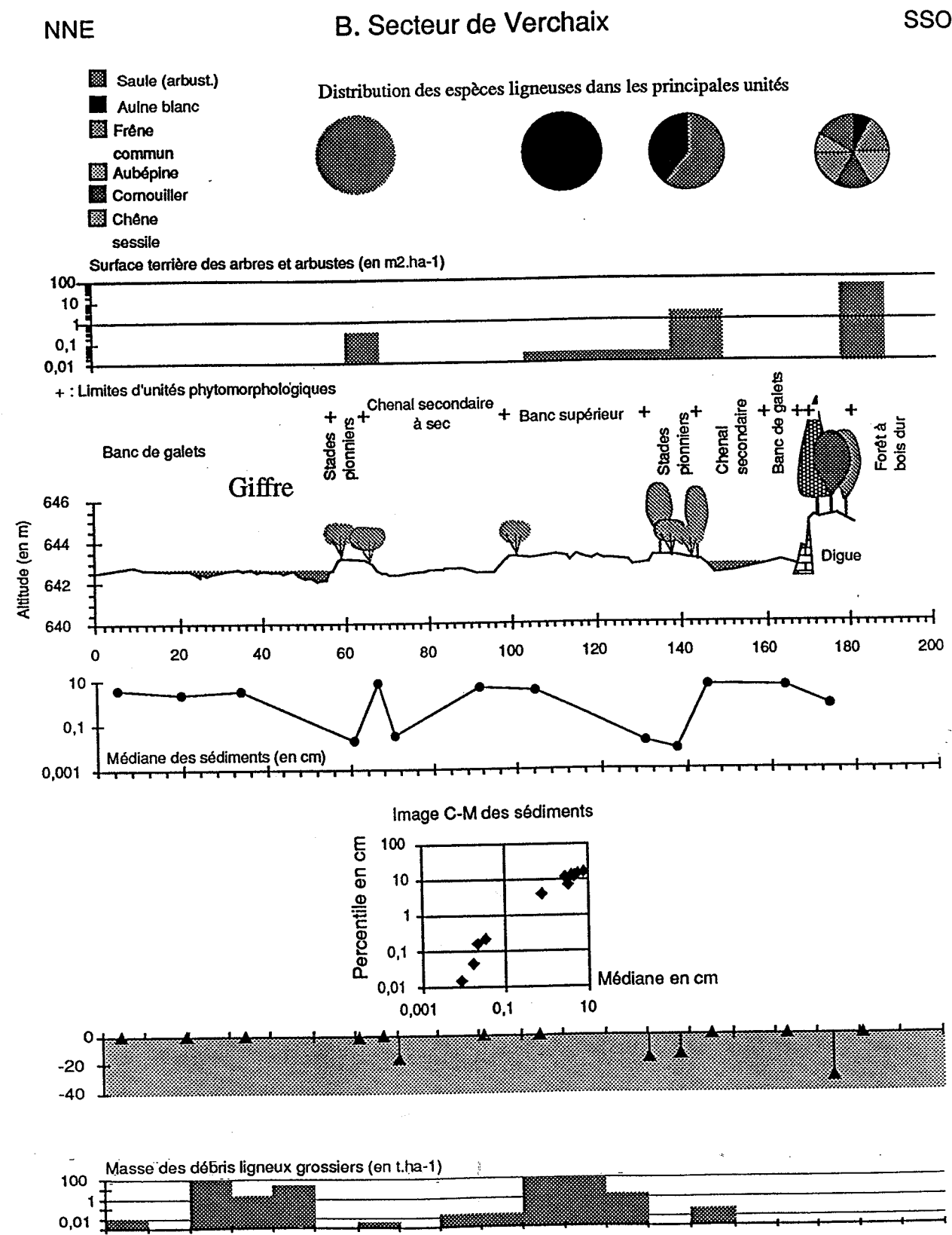


Figure 3

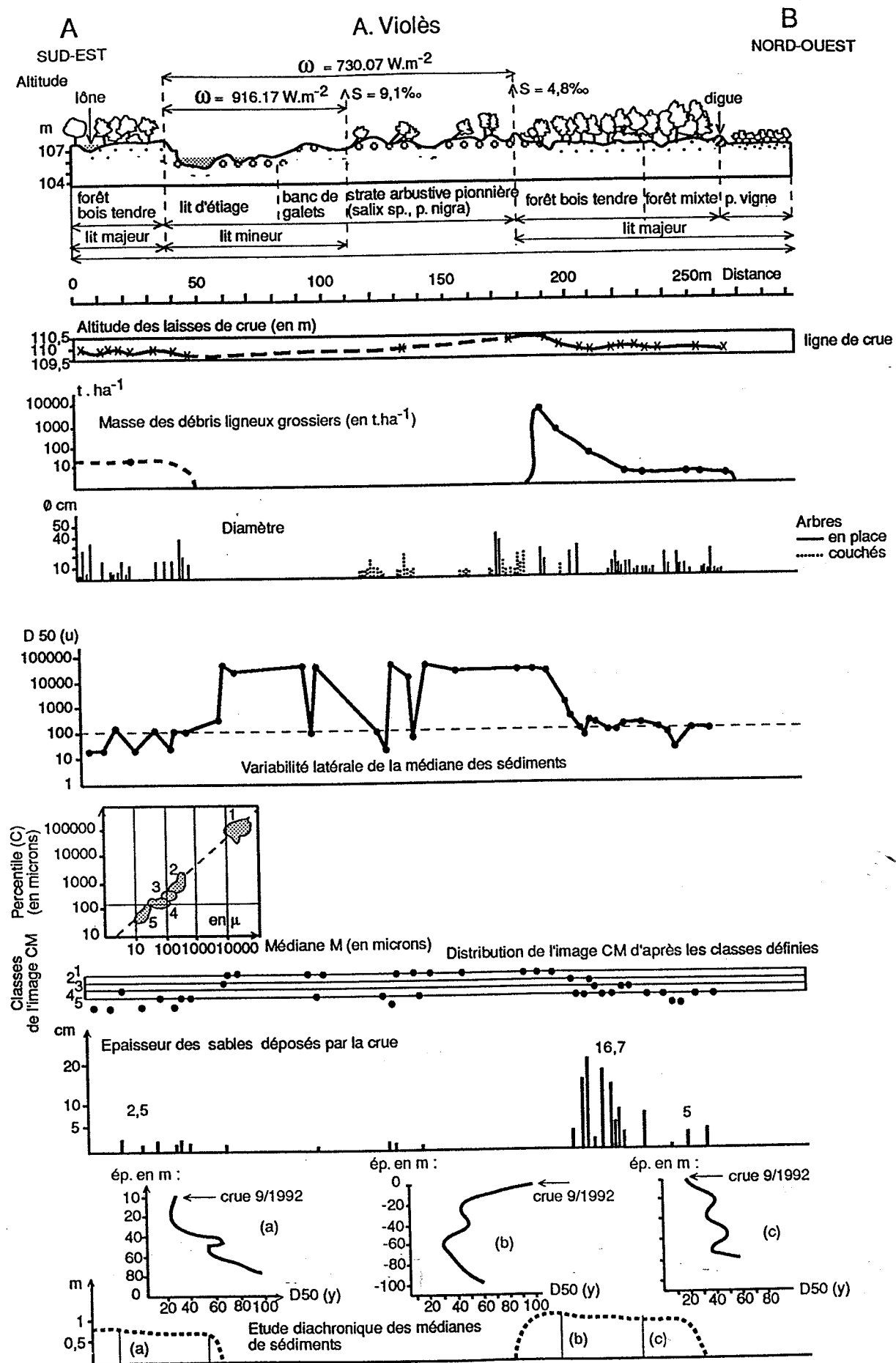
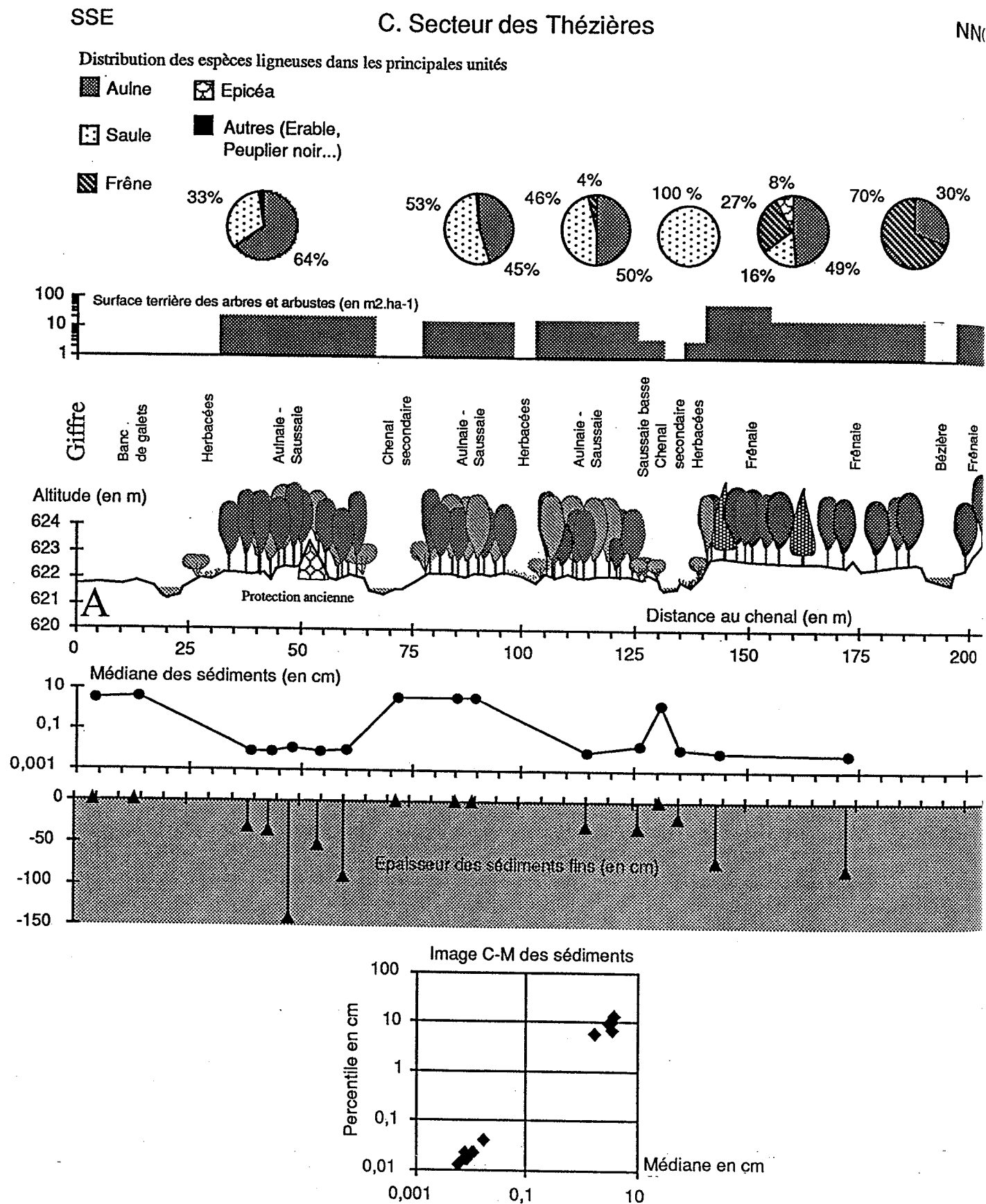




Figure 4

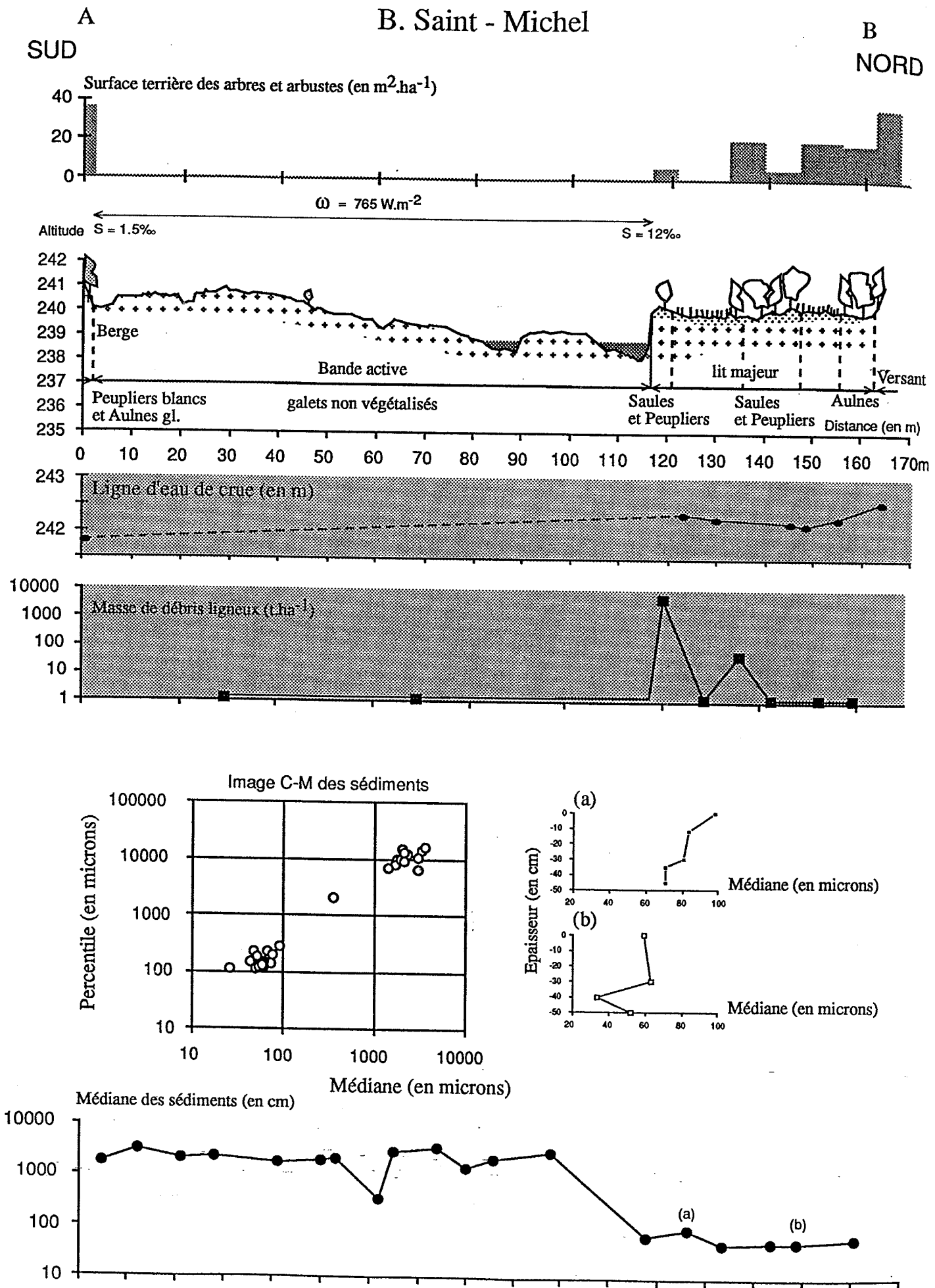


Figure 5

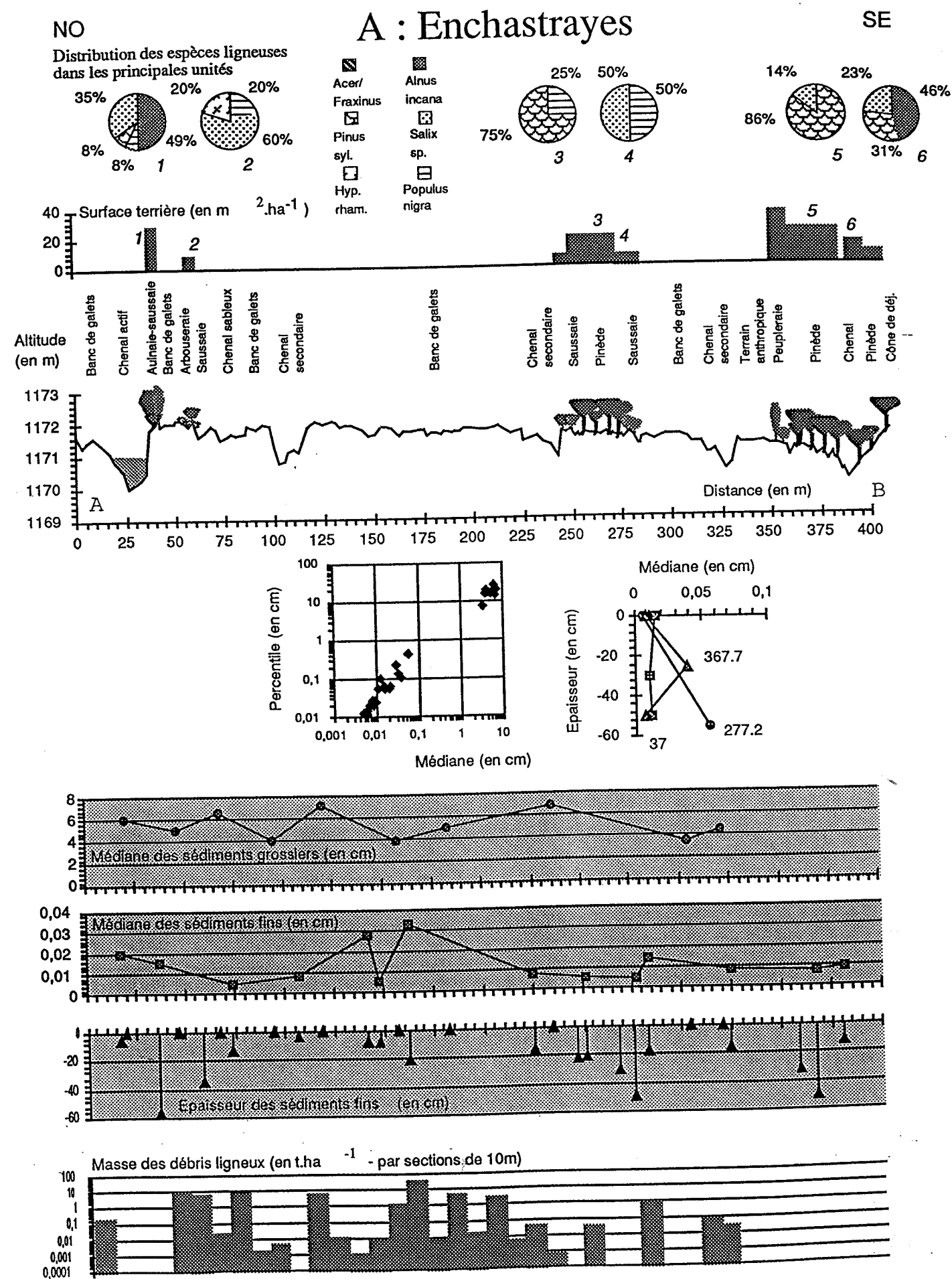


Figure 4

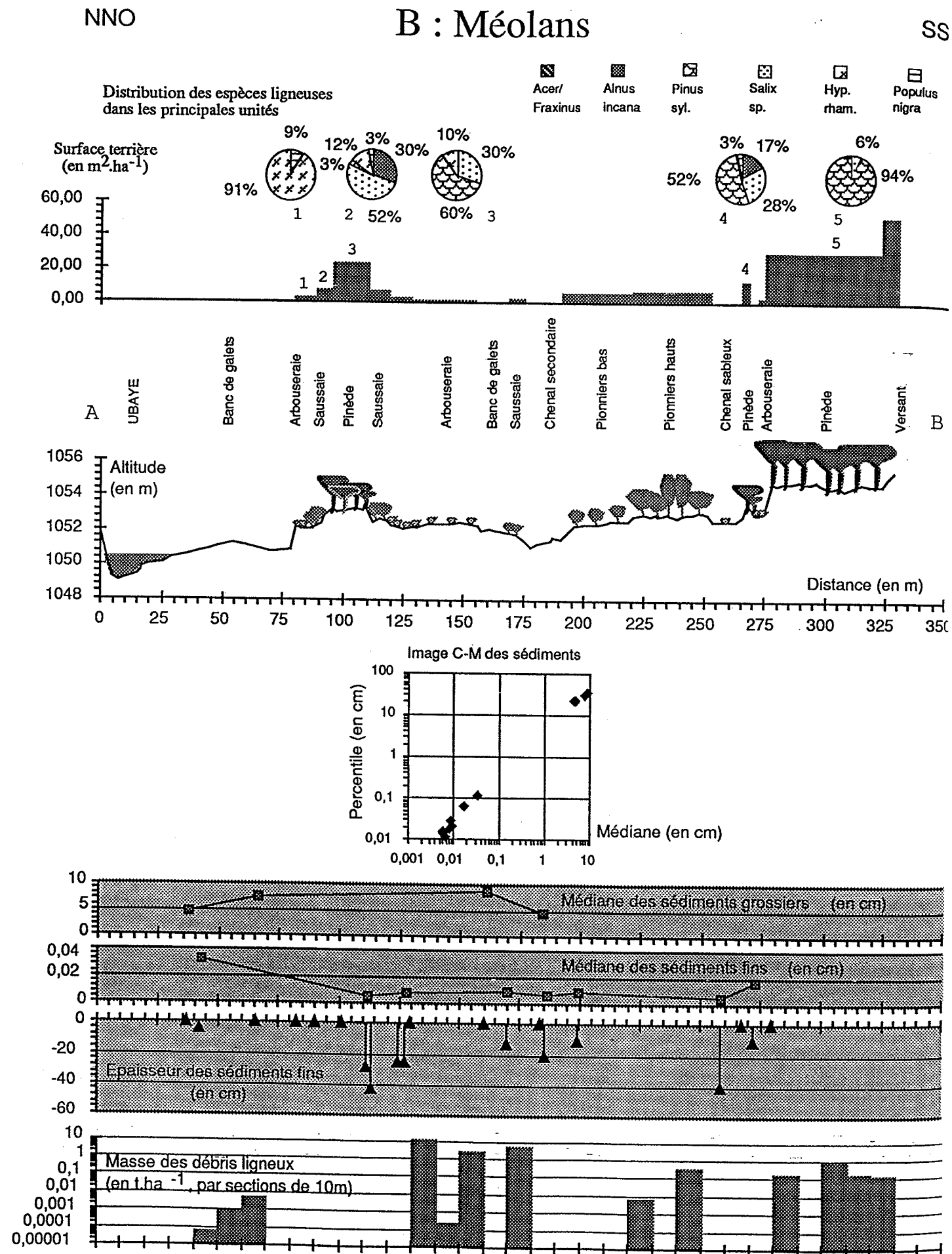


Figure 5

