

Université Louis Pasteur
Strasbourg
UFR de Géographie

**ESSAI METHODOLOGIQUE SUR LE REPERAGE
D'ANCIENS GLISSEMENTS DE TERRAIN :
APPLICATION A LA MOYENNE UBAYE
(SUD DE LA COMMUNE DE JAUSIERS)**

En vue de l'obtention du DEA
Option 1

1996

Directeur de mémoire
J.C. FLAGEOLLET

QUINTLÉ Laurence

Figure b : vue sur Jausiers et le secteur d'étude d'après J.Bouvet

Table des matières

Table des matières	3
Introduction.....	7
1ère partie	
définition et évolution d'un glissement de terrain	9
I. Définition et terminologie d'un glissement de terrain	
1. Définition	
2. Les principaux éléments d'un glissement de terrain selon la nomenclature de Crudden	
II. Définition d'une coulée	
III. Evolution d'un glissement de terrain dans le temps	
2ème partie	
État de la question sur la reconnaissance des glissements de terrain anciens	17
I. Bibliographie	
1. Mise au point générale	
2. Résumé de quelques articles	
2.1. «Spatial and temporal analysis of 1200 landslides in a 900km ² area, Middle Rocky mountains, Wyoming, USA», d'après J.MacCalpin et J.B.Rice (1987)	
2.2. Le projet d'école «Détection et Utilisation de Terrain Instables (DUTI)» (1984)	
2.3. «La photographie aérienne dans l'étude des glissements de terrain», d'après H.Gagnon (1972)	
2.4. Quelques éléments issus de «Manual of photographic interpretation» par l'American Society of Photogrammetry (1960)	
2.5. «Repérage d'anciens glissements de terrain dans le bassin de Barcelonnette d'après la photo-interprétation, l'étude des cartes, les vérifications sur le terrain» d'après L.Quintlé (1995)	
2.6. «Méthode statistique pour la cartographie des zones exposées à des risques (l'exemple de l'Ossola-Italie du Nord-46°)» d'après P.Pech (1988)	
3. Conclusions faites sur la bibliographie	
II. Exposé des méthodes issues de cette bibliographie	
1. La méthode exposée par H.Gagnon	
2. La méthode exposée par P. Pech	
3. La méthode exposée par L.Quintlé	
III. Dans quelle mesure ces outils peuvent-ils nous aider dans nos recherches	
1. La détection des indicateurs grâce à la photo-interprétation	
2. La superposition des différents critères : méthode	

3ème partie

La méthode envisagée pour la détection des glissements de terrain anciens33

I. le bassin de barcelonnette

II. Méthodologie pour le repérage des anciens glissements de terrain

1. Hypothèse de départ
2. Le repérage des indicateurs sur le terrain
3. Quelques remarques sur la lithologie du secteur d'étude

III. L'étude des différents indicateurs

1. Les escarpements et les flancs
2. Les anomalies de tracé et d'encaissement dans le réseau hydrographique
 - 2.1. Les anomalies dans le tracé du torrent
 - 2.2. Les anomalies dans l'encaissement du torrent
 - 2.3. L'élaboration de la carte
3. Les bossellements (ou zones bosselées) et les fissures
4. Les zones humides et la végétation hygrophile
 - 4.1. Les zones humides
 - a) Les éléments à localiser
 - b) Les techniques de repérage
 - 4.2. La végétation hygrophile
 - a) Les principaux types de végétation
 - b) Les techniques de repérage
5. Les désordres survenus sur les routes et les chemins carrossables à un moment donné
6. Le port des arbres
7. Conclusion

IV. La superposition des différentes cartes

1. La méthode utilisée
2. L'élaboration de la carte finale

V. Les commentaires et les problèmes rencontrés.....54

1. Les commentaires sur la méthode et la réalisation de la carte
2. Les commentaires géographiques
3. Les problèmes rencontrés.....56
 - 3.1. Les problèmes rencontrés lors de l'acquisition des données
 - a) Les photographies aériennes
 - b) Les problèmes rencontrés sur le terrain
 - 3.2. Les problèmes rencontrés avec la mise en place de la méthodologie

Conclusion.....	60
Bibliographie	62
Remerciements.....	68
Annexes	70

Introduction

En France, les mouvements de terrain sont plus ou moins nombreux suivant les régions dans lesquelles on les trouve et selon le matériel dans lequel ils évoluent.

D'après M.Julian et J.Martin (1982), la région Provence Alpes Côte d'Azur (PACA) ne constitue pas une "terre à hauts risques", mais correspond cependant à la région où les dommages matériels et les pertes en vies humaines dues à des catastrophes naturelles sont les plus nombreux. La région PACA a, pour ces différentes raisons, été choisie comme site d'étude pour la fréquence et la diversité des mouvements de terrain, et en particulier des glissements de terrain qui s'y produisent.

D'un premier abord, l'intérêt de connaître les glissements anciens plus moins estompés, peut sembler inutile puisqu'ils constituent des faits passés, mais en fait, on a très souvent pu remarquer, soit dans la littérature soit d'après les constatations faites sur le terrain, que ce sont des sites sensibles, autrement dit plus susceptibles de voir naître de nouveaux glissements ou de se réactiver.

Après avoir défini un glissement de terrain et après avoir fait le tour de la question sur la reconnaissance des glissements anciens dans la littérature existante, on va essayer d'établir une méthode de reconnaissance de type naturaliste fondée sur l'étude d'indicateurs morphologiques ainsi que sur l'étude d'autres indicateurs devant servir à la reconnaissance de glissements, anciens ou non, sur des secteurs plus ou moins vastes.

Cette étude est alors soumise à un test sur un secteur de taille relativement restreinte de façon à pouvoir valider le travail effectué. Ce travail ainsi fait servira de base à une étude beaucoup plus poussée sur la superposition de tous types d'indicateurs. Cette superposition devra, d'une part, être effectuée manuellement pour obtenir un résultat que l'on pourra comparer à la même étude reproduite sur un SIG adapté.

**1ère partie : définition et évolution d'un glissement
de terrain**

Avant toute chose (c'est à dire avant d'entamer un travail), on se doit de définir les principaux éléments de notre étude, en l'occurrence ici, les mouvements de terrain et plus précisément les glissements de terrain et les coulées.

D'une manière générale, les mouvements de terrain entrent dans la catégorie des mouvements de masse : ils impliquent une rupture et un déplacement simultané des matériaux sous l'action de la gravité. Les matériaux ainsi déplacés ont des limites nettes.

Les mouvements de terrains englobent, entre autre, les glissements de terrain et les coulées. On différencie les deux phénomènes, car chacun des deux évolue selon un processus particulier.

I. DÉFINITION ET TERMINOLOGIE D'UN GLISSEMENT DE TERRAIN :

1. Définition :

On définit comme glissement de terrain tout phénomène mettant en mouvement des terrains à des vitesses de déplacement variables. Ils se produisent le plus souvent sur des matériaux meubles, affouillables.

Ils sont délimités dans leur partie amont par une zone déterminée par un ou plusieurs arrachements apparents. Ils évoluent à des vitesses de quelques centimètres à quelques mètres par an et peuvent affecter des volumes de quelques m³ à plusieurs millions de m³ pour les glissements les plus considérables.

Deux types de glissements peuvent être différenciés : les glissements qui se produisent le long d'une surface plane et les glissements qui se produisent le long d'une surface en semi-ellipse (glissements rotationnels). Mais les formes rencontrées sur le terrain sont bien souvent plus complexes et résultent d'une composition entre les deux types de glissements.

Dans le cas des **glissements plans**, le mouvement est translationnel (c'est à dire qu'il se produit le long d'une surface plane), souvent au niveau des discontinuités couvert végétal/substratum, formations superficielles/roches en place, failles ou plan de stratification, pendage des couches et structure des formations géologiques.

Les **glissements rotationnels** ont lieu le long de surfaces de ruptures concaves. Les masses glissées dégénèrent souvent en coulées de débris. Les surfaces de rupture peuvent être emboîtées, provoquant des phénomènes de glissements en chaîne. Ces derniers ont lieu, le plus souvent, sur des terrains argileux ou marneux.

D'après Filliat (1981), "lorsqu'un glissement se produit, il y a suppression de la butée en pied du terrain amont, surcharge du terrain aval par sa langue et possibilité de déclenchement de nouveaux glissements. Le processus peut alors se déclencher de proche en proche et affecter l'ensemble du versant".

Ainsi, le glissement régressif apparaît en s'amorçant au pied d'un versant et progresse par la suite vers l'amont.

2. Les principaux éléments d'un glissement de terrain selon la nomenclature de Crudden :

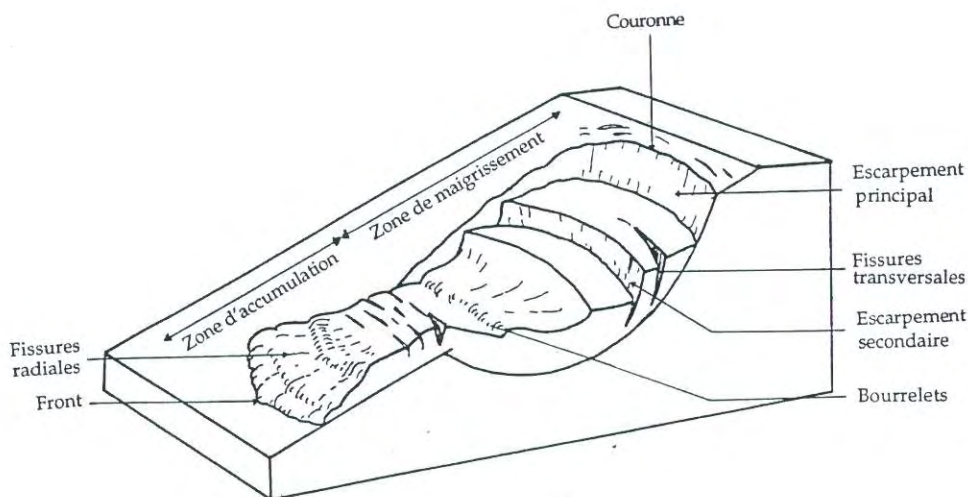


Figure 1 : principaux termes d'un glissement de terrain d'après la nomenclature de Crudden. (dessin)

Un mouvement de masse se compose de différentes parties qui font l'objet d'une terminologie précise (voir **figure 7**). Ne sont retenus ici que les termes utiles pour l'étude qui va suivre.

Zone d'ablation : c'est le secteur du glissement dans lequel le matériel déplacé se trouve en-dessous de la topographie initiale.

Zone d'accumulation : c'est le secteur du glissement dans lequel le matériel déplacé se trouve au-dessus de la topographie initiale.

Couronne : cela correspond aux parties les plus hautes de l'escarpement principal où le matériel n'a pas encore été déplacé.

Au-delà, il y a souvent des **fissures de régression** (elles sont qualifiées de régression lorsqu'elles s'ouvrent en arrière de la niche d'arrachement et qu'elles résultent de la propagation des mouvements vers l'amont).

Escarpement principal : c'est une pente raide dans laquelle le sol ou la roche en place sont visibles, en limite supérieure du glissement causé par le mouvement du matériel déplacé.

Escarpement secondaire : c'est une pente raide dans le matériel déplacé du glissement causé par des mouvements différentiels.

Fissures transversales : ce sont les fissures perpendiculaires à la pente dans le corps du glissement.

Fissures radiales : ce sont les fissures parallèles à la pente ; elles sont rares dans la zone d'ablation.

Front : c'est la limite la plus basse, habituellement incurvée à cause de la vitesse différentielle due aux forces de frottements sur les parois du soubassement, du matériel déplacé, la plus éloignée de l'escarpement principal.

Bourrelets : ce sont des surélévations locales dus à une compression. Ils sont aussi appelés bossellements.

Tout glissement comporte 2 zones :

- en tête, la zone d'ablation correspond à une dépression issue du matériel déversé dans la zone d'accumulation.
- vers le bas, l'amoncellement de matériaux glissés crée des formes telles les langues, les bourrelets et correspond à la zone d'accumulation.

II. DÉFINITION D'UNE COULÉE :

Une coulée est un déplacement de matériel qui est différent de celui des glissements de par la disparition des structures de la roche ou du sol, de par leurs vitesses plus grandes, de par une consistance plus ou moins "pâteuse" ou visqueuse des matériaux mélangés et transportés, tantôt grossiers mais le plus souvent hétérogènes.

Ces mouvements sont également différents de par leur morphologie d'ensemble. Ils évoluent en lame sur une pente ou sont guidés par l'encaissement du talweg, du vallon ou du torrent qu'ils empruntent et au débouché duquel ils s'étalent en cône ou en éventail.

Les mécanismes d'écoulement sont encore mal connus mais les observations de terrain font état d'un écoulement spasmodique, des phases d'écoulements plus rapides alternent avec des pulsions d'écoulements plus visqueux et plus lents.

Les vitesses sont maximales à la limite masse rigide-coulée laminaire. Certaines coulées sont capables de construire des levées latérales, qui tendent à contenir l'écoulement de sorte que, moins étalée latéralement, la coulée descend plus loin.

Dans le secteur étudié, des glissements, des coulées et des glissements rotationnels évoluant en coulées (que l'on appelle aussi "glissement-coulée" et qui dérive de l'expression anglo-saxonne "flowslide") peuvent être repérés. Ils se développent dans un matériel marneux pouvant renfermer, suivant la période de l'année, beaucoup d'eau.

III. EVOLUTION D'UN GLISSEMENT DE TERRAIN DANS LE TEMPS :

L'érosion atténuée, avec le temps, les désordres créés lors d'une mise en mouvement, mais il reste toujours des traces plus ou moins repérables suivant la période à laquelle le mouvement s'est produit. J.B.Rice et J.MacCalpin (1984) ont très bien décrit les différents stades de l'érosion d'un glissement de terrain dans le schéma suivant (figure 2):

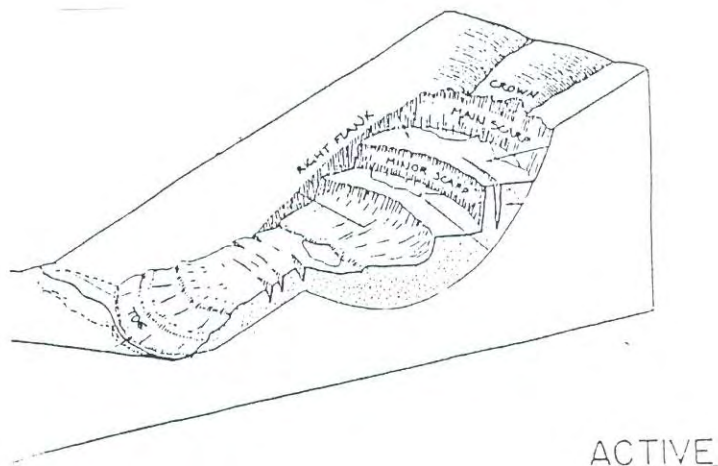


Figure 2a

Le glissement est actif : les formes de l'escarpement principal sont anguleuses et sans végétation.

A l'arrière des blocs glissés, dans les replats, des mares se créent ainsi qu'un drainage local.

Près du front se distinguent des fissures transversales ainsi que des fissures dans l'axe de la pente. De ce fait, un drainage se crée en association avec ces fissures. Le front barre le cours d'eau.

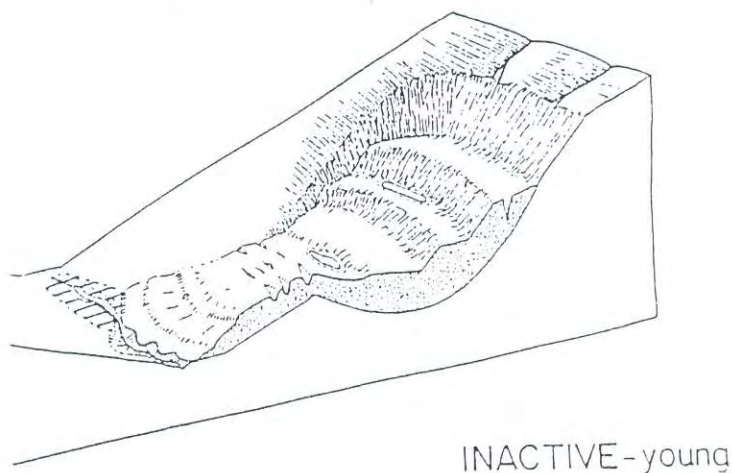
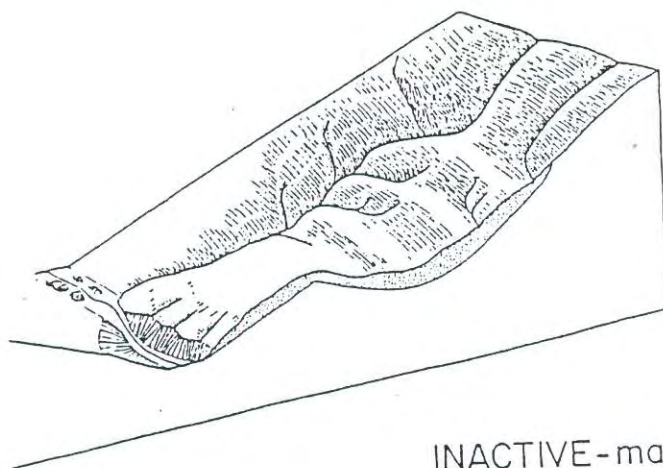


Figure 2b

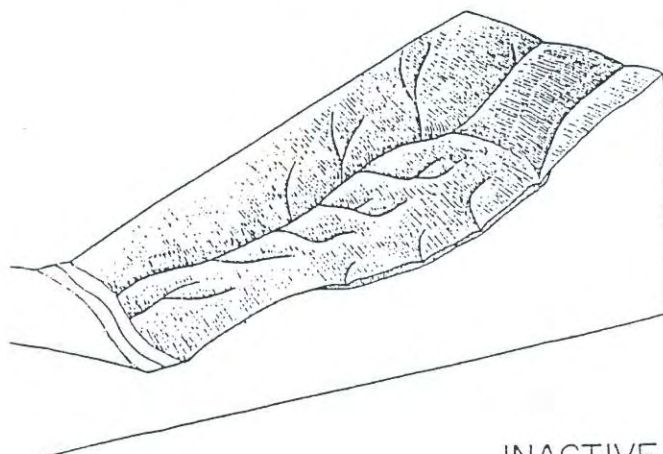
1^{ère} phase d'inactivité : l'escarpement principal et les escarpements secondaires commencent à se revégétaliser. Les étangs locaux et les fissures se remplissent de sédiments.

Les formes anguleuses commencent à s'estomper dans le bas du glissement. Le cours d'eau ouvre des brèches dans le barrage naturel créé par le front du matériel déplacé et draine le lac naturel.



INACTIVE-mature **Figure 2c**

2ème phase d'inactivité : les escarpements sont disséqués par un drainage local qui suit ces escarpements marginaux. Ces dépôts cachent les sédiments initiaux. La végétation envahit le bas du glissement. Le front est érodé par le cours d'eau.



INACTIVE-old **Figure 2d**

3ème phase d'inactivité : le drainage obscurcit complètement les formes du glissement.

La seule suggestion d'un mouvement passé sont les courbes anormales résultant des anciens gradins.

Figure 2 : Schéma décrivant les différentes étapes morphologiques de la transformation d'un glissement-type suite à l'action de l'érosion : (d'après J.MacCalpin et J.B.Rice)

Ces schémas établissent donc l'évolution d'un glissement de terrain à partir du moment où celui-ci commence à se stabiliser. Différentes étapes s'individualisent jusqu'à ce que le glissement s'efface presque complètement.

Pendant cette période qui est plus ou moins longue, le glissement de terrain reste discernable soit directement sur les photographies aériennes, soit grâce à une série d'indicateurs repérables sur des photographies aériennes (comme les bossellements ou les anomalies dans le réseau hydrographique.) ou sur le terrain (arbres perturbés puis redressés, arbres déracinés...).

A partir de la théorie établie par J.MacCalpin et J.B.Rice et à partir d'autres éléments, on va essayer, à notre tour, d'établir une méthodologie nous permettant de localiser des glissements de terrain. Auparavant on aura exposé, dans une mise au point bibliographique des éléments dont on pourra s'inspirer pour notre propre méthodologie.

Nous avons donc pu constater qu'un glissement de terrain et qu'une coulée ne se développent pas selon les mêmes mécanismes, c'est pourquoi cette première partie traitant des définitions a été divisée en plusieurs sous-parties.

Dans la réalité, les choses sont plus complexes puisque les deux phénomènes peuvent se produire ensemble comme dans la région de Barcelonnette qui est le site étudié dans le cadre de ce travail (exemple : glissement-coulée de Super Sauze, glissement-coulée de Poche, glissement de la Valette qui évolue en coulée...)

C'est cette réalité que nous allons essayer de mettre en avant (c'est à dire une réalité de mouvements complexes, pas toujours très nets) en repérant, grâce à une méthodologie qu'il nous reste à présent à établir, les anciens glissements de terrain.

**2ème partie : État de la question sur la
reconnaissance des glissements de terrain anciens**

Avant d'entrer dans le vif du sujet, c'est à dire avant de tenter l'essai méthodologique sur le repérage d'anciens glissements de terrain, il est nécessaire de se renseigner sur ce qui a ou non été fait par d'autres.

Certaines publications n'ont qu'un rapport lointain avec le sujet traité mais sont d'une utilité non négligeable soit pour s'inspirer d'une méthode soit simplement pour en retirer un renseignement.

Dans la deuxième partie «état de la question sur la reconnaissance des glissements anciens», on procède tout d'abord à une mise au point bibliographique. Puis on relate les résultats des recherches sur les méthodes de repérage par photo-interprétation ou sur les traitements statistiques. Les articles ou ouvrages les plus explicites sont alors résumés puis certaines méthodes exposées plus en détail. La dernière partie est consacrée au bénéfice que l'on retire de ces articles et à ce que l'on va retenir pour le sujet que l'on est amené à traiter.

I. BIBLIOGRAPHIE :

1. Mise au point générale :

Le but d'une mise au point générale est de mettre en valeur les principaux points qui peuvent nous servir, soit directement, soit indirectement dans notre étude. Dans le cas qui nous intéresse, on a pu constater après toute une série de recherches que de nombreux chercheurs utilisent les photographies aériennes comme point de départ à une étude sur les risques naturels et plus généralement à toute étude à caractère spatial.

L'analyse par photo-interprétation apporte toutes sortes de renseignements sur la région à étudier et permet d'en élargir au maximum le cadre initial. En effet, une étude ne peut se contenter d'être ponctuelle : elle doit être replacée dans son cadre géographique et biophysique. C'est pourquoi, que ce soit un mouvement de terrain, une inondation, une avalanche ou même un risque technologique, le sinistre, même s'il est inscrit dans un espace parfois restreint, nécessite une étude de l'environnement qui l'entoure pour l'expliquer.

Dans la plupart des démarches entreprises lors d'une étude sur les glissements de terrain, on utilise en règle générale les photographies aériennes dans le but de faire ressortir la morphologie des zones atteintes (J.MacCalpin/J.B.Rice (1987)).

Des auteurs comme A.Légier (1977) dans sa thèse, G.Colas/M.Payani/F.Blondeau (1980), F.Shimizu (1987) sont allés plus loin dans la démarche et se sont servis des photos aériennes pour localiser non seulement la morphologie des glissements de terrain mais aussi pour repérer d'autres indicateurs comme l'humidité, le mauvais drainage, l'état de la végétation, le réseau hydrographique... signalant la présence d'un glissement.

Mais peu d'entre eux ont considéré la photo-interprétation comme technique d'analyse à part entière.

Seuls quelques auteurs se sont penchés sur le problème comme, P. Pigeon (1985) qui a consacré toute une publication dans la revue «Photo-Interprétation» sur les «apports de la photo-interprétation en ce qui concerne la géomorphologie et l'évolution récente d'un versant en glissement sur la commune de Vailly-Lullin dans le département de la Haute Savoie», le Projet d'Ecole DUTI (1984) qui l'a utilisé dans le cadre d'une étude pluridisciplinaire sur les glissements de terrain en Suisse et quelques autres encore.

H.Gagnon (1972) s'en est servi pour élaborer une méthode d'étude complète sur les glissements de terrain. Un essai a d'ailleurs été réalisé dans la vallée de l'Outaouais au Canada. Il emploie un système fondé sur la superposition des différents critères retenus.

P. Pech (1988), quant à lui, a tenté d'édifier une technique permettant le recoupement de différents indicateurs ayant pour dessein de révéler des zones instables.

Cette bibliographie doit servir de fondement au sujet à traiter dans la 3^{ème} partie de ce mémoire, c'est pourquoi il est nécessaire de reprendre les articles les plus intéressants pour notre sujet d'étude et de faire ressortir l'essentiel de ce qui a été exposé par des chercheurs qui se sont particulièrement penchés sur le problème.

2. Résumé de quelques articles :

2.1. «Spatial and temporal analysis of 1200 landslides in a 900km² area, Middle Rocky mountains, Wyoming, USA», d'après J.MacCalpin et J.B.Rice (1987) :

L'article décrit plus une datation des glissements de terrain qu'une spatialisation. On peut néanmoins s'intéresser de plus près à un paragraphe de l'article qui traite de l'évolution d'un glissement de terrain après sa stabilisation, c'est à dire à l'érosion de ses formes. Les figures sont réutilisées dans la deuxième partie du mémoire intitulé «le concept de risque naturel (dans le sens aléa) que représente un glissement de terrain», c'est pourquoi il n'est pas nécessaire de le développer ici. Par ailleurs, les auteurs signalent l'utilisation de la photo-interprétation dans leur inventaire. Ils disent : "des glissements de terrain de tous types et de tous âges sont identifiés et délimités sur les photographies aériennes en couleur au 1/15 840".

2.2. Le projet d'école «Détection et Utilisation de Terrain Instables (DUTI)» (1984) :

Il s'agit du rapport d'une étude pluridisciplinaire sur les glissements de terrain en Suisse. Cette étude comporte plusieurs rapports intermédiaires où chaque équipe consigne son travail et un rapport final. Le travail qui nous intéresse ici concerne la photogrammétrie qui contient une section traitant de l'utilisation des photographies aériennes.

D'après les auteurs, l'analyse des photographies aériennes fournit des indications précieuses avant d'avoir recours à une visite sur le terrain. Les photographies en infrarouge donnent des renseignements sur l'humidité du sol et les eaux de surface, sur l'état de la végétation et sur le drainage du sol. L'observation stéréoscopique des photos aériennes permet d'inclure la morphologie du terrain ainsi que la saisie complète du réseau hydrographique avec toutes ses particularités qui constitue une source précieuse d'informations.

Une fois réalisé, ce travail préliminaire est alors complété par des observations de terrain.

D'après le rapport DUTI, une idée serait aussi de fonder les recherches sur des critères probabilistes : "on recherche les régions où les glissements seraient plausibles, puis on précise leur tendance aux glissements par le biais d'indicateurs (pente, végétation, morphologie,...) qui confirment ou non leur caractère instable". Cette idée est à l'origine de notre sujet d'étude.

Ce rapport donne par ailleurs des renseignements d'un intérêt non négligeable sur la notion de vulnérabilité et de risque, terme final d'une étude sur les aléas.

2.3. «La photographie aérienne dans l'étude des glissements de terrain», d'après H.Gagnon (1972) :

Le but de l'article d'H.Gagnon est d'établir comment il est possible de détecter les zones exposées aux glissements de terrain par les photographies aériennes. Il propose l'élaboration d'un système basé sur 20 facteurs classés en facteurs passifs, facteurs naturels actifs et facteurs humains ceux-ci pouvant favoriser un glissement. Le principal exemple utilisé est le glissement de Saint Jean Vianney (voir **figure 1**).

**Zone Du Glissement Du 4 Mai
St Jean Vianney (Carte Schématique)**

Carte établie par photo-interprétation (1930-50 - Et. 62)

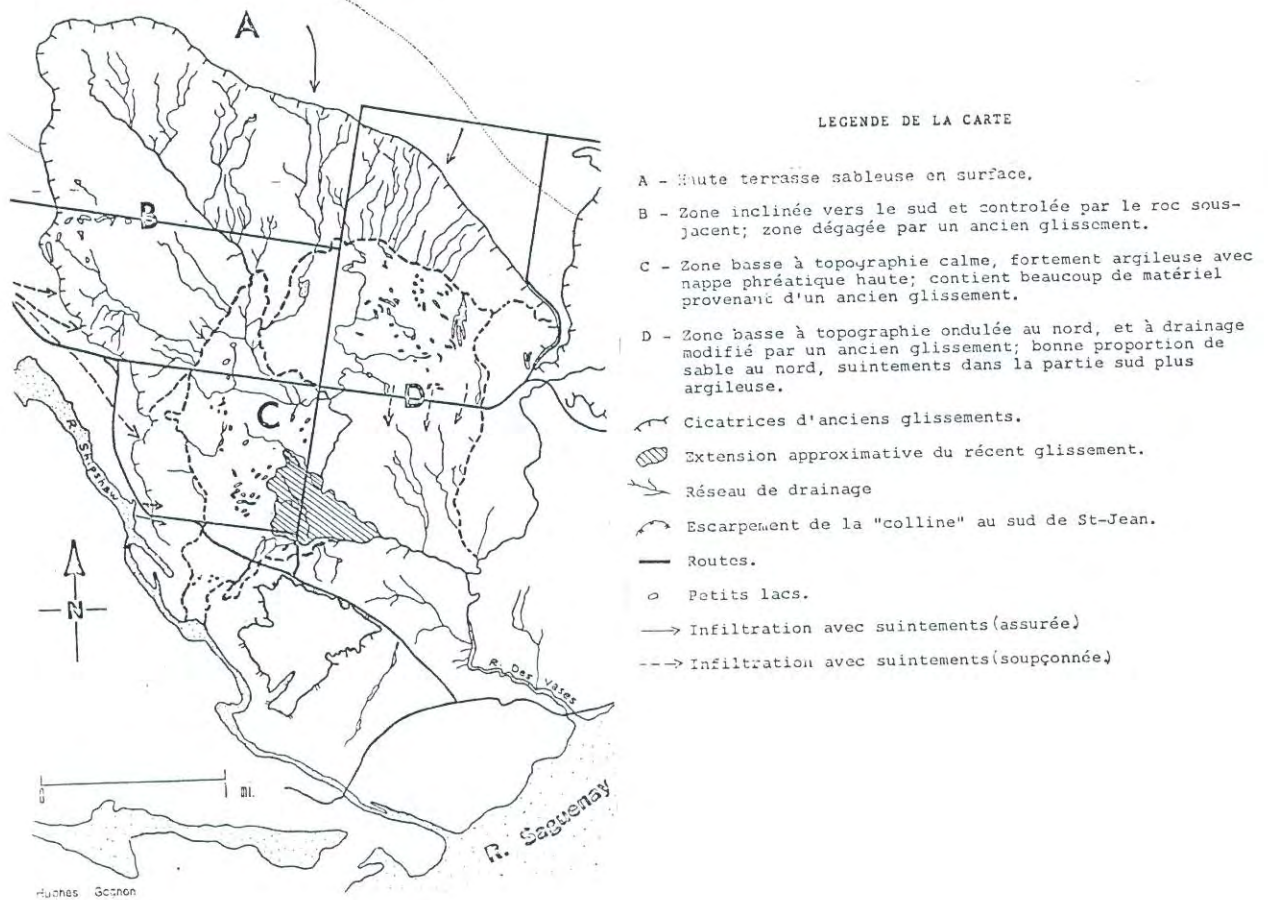


Figure 3 : glissement de terrain étudié par H. Gagnon

Le principal objectif de ce système est de pouvoir arriver à déceler les futurs décrochements et coulées argileuses, les décrochements se produisant sur des pentes raides supérieures à 20° et les coulées sur des pentes beaucoup plus faibles en général, c'est à dire inférieures à 12° .

D'après l'auteur, la photo-interprétation s'impose comme la technique permettant de localiser le plus rapidement possible les zones dangereuses. Elle favorise aussi une meilleure compréhension de l'environnement biophysique, mais elle ne doit en rien éliminer l'interprétation sur le terrain.

2.4. Quelques éléments issus de «Manual of photographic interpretation» par l'American Society of Photogrammetry (1960) :

Egalement utilisé par H.Gagnon comme appui à son analyse, le «Manual of Photographic Interpretation » peut nous être d'un grand secours dans la mesure où un passage entier, intitulé « photo-interprétation in engineering », traite des moyens de détecter grâce aux photographies aériennes les zones où les glissements de terrain sont les plus probables.

On peut ainsi lire :

- "Les glissements de terrain sont fréquents sur les rives soumises au sapement de berge ; surtout celles qui font face au courant".
 - "Le matériel soumis à des pentes fortes est celui qui est le plus susceptible de glisser. Il faut donc examiner ces pentes plus particulièrement".
 - "Les zones d'infiltration : l'eau infiltrée contribue à favoriser des glissements. La relation entre glissements et drainage peut être établie à l'examen des photographies aériennes. L'infiltration est possible dans les zones de mares, de réservoirs, de canaux et de chenaux détournés.
- Si la source de l'infiltration est loin au-dessus du glissement, l'observation devient plus évidente au photo-interprète qu'à l'observateur sur le terrain".
- "La présence de cicatrices de glissements signifie que certains dérangements peuvent déclencher de nouveaux glissements de terrain et l'absence indique une certaine stabilité. Mais cela ne veut pas dire qu'il ne peut pas s'y produire, à terme, de glissements".
 - "L'âge d'un glissement de terrain et la stabilité du mouvement peuvent être estimés par la végétation et le type de drainage".
 - Les glissements sont communs dans les moraines. En effet, les dépressions mal drainées et les zones de suintements dans les moraines conduisent à des glissements mineurs, à des coulées de débris, et des coulées de terre".

Il est exposé par ailleurs une méthode d'investigation que nous ne développerons pas dans le cadre de ce mémoire puisqu'elle n'apporte aucun élément nouveau par rapport à ce qui vient d'être dit.

2.5. «Repérage d'anciens glissements de terrain dans le bassin de Barcelonnette d'après la photo-interprétation, l'étude des cartes, les vérifications sur le terrain» d'après L.Quintlé (1995) :

L'objectif de ce mémoire est de repérer des zones réunissant le plus de critères possibles révélant la présence d'un glissement de terrain. Ces critères indicateurs de glissements font l'objet d'une carte.

Parallèlement, une analyse morphométrique entre les glissements déclarés actifs et les formes repérées d'après la photo-interprétation est alors élaborée. Les résultats sont peu concluants puisque l'analyse morphométrique ne révèle pas les résultats escomptés. En effet, les anciens glissements que l'on a détectés ont des formes des plus disparates. Mais les deux types d'analyses sont tout de même confrontées ce qui aboutit, à terme, à une carte de probabilité d'existence des glissements de terrain combinant la carte des résultats de l'analyse morphométrique et la carte de superposition des indicateurs de glissements.

Cette étude permet donc de délimiter des zones de glissements anciens, instables ou non, mais les coefficients attribués et l'étude morphométrique ne permettent pas d'en mesurer l'instabilité exacte.

2.6. «Méthode statistique pour la cartographie des zones exposées à des risques (l'exemple de l'Ossola-Italie du Nord-46°) d'après P.Pech (1988) :

Le but de l'article de P.Pech est d'établir une carte des risques naturels potentiels réalisée grâce à une étude statistique. L'analyse des fréquences et des coefficients de corrélation entre les paramètres et les valeurs des processus permet de déterminer les secteurs soumis à des risques naturels.

Comme il y a beaucoup de données, le traitement est fait par la voie de l'informatique sans laquelle l'étude ne peut être menée avec succès. La mise en relation des paramètres présents (pour une unité systémique) avec les processus morphodynamiques permet donc d'anticiper ce qu'il pourra se passer à tel ou tel endroit.

3. Conclusions faites sur la bibliographie :

De nombreux autres articles ont également été consultés, mais la même technique de repérage par photographies aériennes se retrouvait à chaque fois, c'est pourquoi le contenu des articles n'est pas détaillé.

En fait, la technique n'est pas exposée mais simplement signalée. En effet, on indique l'usage de tel type de photos aériennes pour repérer des éléments qui sont alors énumérés.

Les photographies aériennes peuvent aussi avoir d'autres utilités très diverses comme par exemple dans l'article de J. Tricart (1958) «Les modalités de la morphogenèse dans le lit du Guil au cours de la crue de la mi-juin 1957» où il dit que "dans le cas du Guil, nous avons recouru systématiquement aux photographies aériennes et, en particulier, à une comparaison minutieuse de la couverture normale, antérieurement à la catastrophe, et d'une série de vues qui a été prise immédiatement après celle-ci. La vision stéréoscopique permet de reconnaître avec précision les modifications qui se sont produites et d'en fournir une évaluation quantitative". Dans ce cas, l'auteur utilise les photographies aériennes dans le cadre d'une étude diachronique et quantitative. V. Spagna (1984), dans l'article « Stabilité des terrains et cartographie géotechnique pour l'aménagement du territoire au niveau communal dans la région de la Vénétie (nord-est de l'Italie) » explique que "la rédaction des documents cartographiques pourrait être convenablement supportée par l'interprétation de la photographie aérienne suivant les méthodes de la géomorphologie appliquée. Un schéma de reconnaissance à l'aide de la photo-interprétation, expérimenté pour une cartographie comprise entre 1/5 000 et 1/10 000 a mis en évidence la possibilité de reconnaître 24 unités cartographiques après une première bipartition, basée sur les données de la géomorphologie...". L'auteur insiste sur le fait que l'étude photogrammétrique facilite la cartographie et ceci à un moindre coût.

A l'issue de tous les exemples précités, on en conclue que les applications sont nombreuses et facilitent dans une certaine mesure l'étude des mouvements de terrain.

II. EXPOSE DES MÉTHODES ISSUES DE CETTE BIBLIOGRAPHIE :

La principale bibliographie ayant été exposée ci-dessus, il semble à présent nécessaire de développer un peu plus certaines méthodes ayant retenu notre attention.

L'objectif ne sera pas de les reprendre telles quelles pour le sujet à traiter, mais elles constituent néanmoins une base solide à l'élaboration d'un nouveau concept d'analyse des glissements de terrain de type naturaliste (voir 3^{ème} partie : « méthodologie pour le repérage des anciens glissements de terrain »).

1. La méthode exposée par H.Gagnon :

Le but de sa méthode étant de pouvoir arriver à déceler les futurs décrochements et coulées argileuses, la méthode d'étude propose de répertorier 20 facteurs de formation d'un glissement de terrain que l'on sépare en trois classes :

- les **facteurs passifs** qui sont : la nature du matériel, la disposition stratigraphique, la position topographique, la pente, les processus de dépôt, la structure des argiles...
- les **facteurs naturels actifs** qui sont : le régime des précipitations, les cycles gel/dégel, le drainage en surface, le niveau de la nappe, l'évaporation...
- les **facteurs humains** qui sont : le blocage du drainage superficiel et des fuites, l'extraction de la couche superficielle pouvant provoquer l'infiltration des eaux de surfaces...

Certain des 20 facteurs peuvent être détectés sur les photographies aériennes comme la pente, le drainage en surface... Ils peuvent se séparer en 3 classes A, B et C selon leur aptitude à provoquer des glissements de terrain. Ainsi, A désigne un facteur présentant de forts risques de glissements, B des risques moyens et C de faibles risques.

Ex : facteur 2 : la pente du versant ou du talus :

A=>20°

B=>12° et <20°

C=<12°

Certains des facteurs ne sont désignés que par A ou B, ou même simplement par A. Dans ce cas A signifie simplement "présence".

Ex : facteur 8 : la présence de sources :

A=présence de sources ou de suintements

Ces facteurs sont additionnés selon qu'ils sont de la classe A, de la classe B ou de la classe C (voir **figure 4**).

Le système permet, en outre, de différencier les décrochements qui se produisent sur des pentes raides, des coulées qui se produisent sur des pentes beaucoup plus faibles car le principe prend en compte la pente et la quantité d'argile présente.

Résultat :

- il apparaît que la présence de **10 facteurs et plus** rend une zone fortement propice aux glissements,
- la présence de **5 à 10 facteurs** concerne des zones qui présentent des risques sérieux de glissements,
- la présence de **moins de 5 facteurs** ne présente que des risques mineurs de glissements.

Facteurs	Saint-Jean	Casselman	Gatineau	Saint-Jérôme	Saint-Joachim
1	A	A	A	A	B
2	A	A	A	A	A
3	A	A	A	A	A
4	A	A	B	B	B
5	A	A	B	B	B
6	A	A	A	B	A
7			A		
8					
9	A	A			
10		A		A	
11	A	A			
12		A		A	
13	A				B
14	A				
15	A		A		
16	B				
17	B	B	B		
18					
19	C				
20	C		C		C
total (A/1)	11	10	6	5	3
total(B/8)	2	1	3		4
total(C/4)	2		1	3	1
total/fact	15	11	10	8	8

Figure 4 : bilan des facteurs de glissements de terrain pour cinq cas types.

En conclusion, il ressort que les surfaces fortement exposées aux glissements de terrain apparaissent souvent avec plus de netteté sur les photos aériennes que sur le terrain, les signes avant coureurs étant souvent très distincts. L'auteur conclut que "la photo-interprétation ou la télédétection s'impose comme la technique permettant de localiser le plus rapidement les zones dangereuses et favorisant la meilleure compréhension de l'environnement biophysique".

Le but de la méthode d'H.G. est donc différent de notre thème de recherche, mais on en retire des informations non négligeables sur la détection par la photo-interprétation et sur la superposition d'indicateurs.

2. La méthode exposée par P. Pech :

Dans l'objectif d'établir une zonation des risques naturels potentiels dans l'Ossola en Italie du Nord, P. Pech effectue une analyse statistique. La démarche consiste tout d'abord à effectuer une cartographie géomorphologique au 1/25 000 (il ne précise pas comment) de manière à pouvoir étudier et représenter au préalable des types de processus et des facteurs de la morphogénèse (voir **figure 5**).

Il divise donc les bassin-versants en carrés de 500X500m, répertoriés longitudinalement et latitudinalement pour en faciliter le repérage, ceci dans le but d'aboutir à une analyse statistique de l'espace. Pour chaque unité systémique, l'auteur attribue une valeur à divers paramètres comme la lithologie, la pente, l'orientation, l'hydrographie... et à 6 classes de processus morphodynamiques. Les valeurs sont attribuées du plus stable au plus instable (voir **figure 6**).

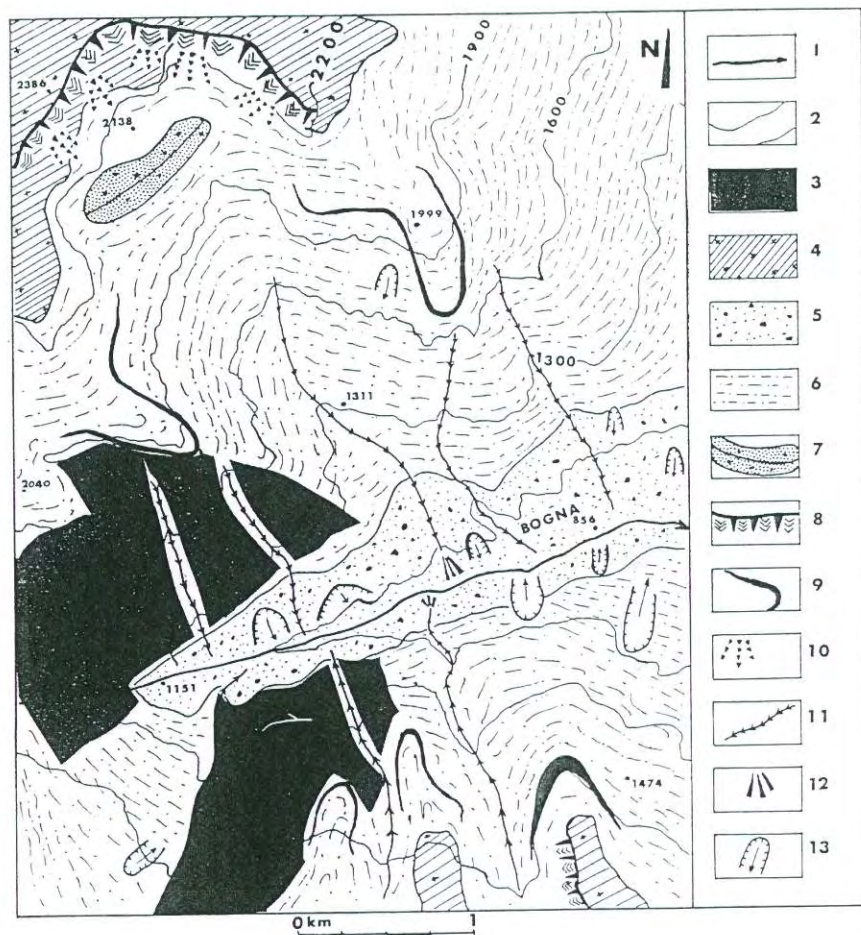


Fig. 5.— Carte géomorphologique de la Bogna. [1 : rivière; 2 : courbes de niveau (300 m); 3 : pente > 40°; 4 : gneiss, et micaschiste; 5 : terrasse fluvio-glaciaire; 6 : colluvions; 7 : valum tardiglaciaire; 8 : paroi ruiniforme; 9 : convexité et replat juxtaglaciaire; 10 : éboulis; 11 : chenal torrentiel et lave de boue éventuelle; 12 : cône de déjection; 13 : fofirage].

Fig. 5.— Bogna's geomorphological map. [1 : stream; 2 : contour-lines (300 m); 3 : slope > 40°; 4 : gneiss and micaschist; 5 : glaciofluvial terrace; 6 : eluvial deposits; 7 : tardiglacial terminal moraine; 8 : disintegrated rock-wall; 9 : convexity, lateral glacial bench; 10 : scree; 11 : torrential channel and eventual mudflow; 12 : alluvial cone; 13 : local earth sliding].

Figure 5 : carte géomorphologique au 1/25 000 (réduite)

LITHOLOGIE	ORIENTATION	PENTE
L. 1 : dépôts quaternaires	Ot. 1 : adret	P. 1 : 0 à 10%
L. 2 : schistes lustrées roches broyées	Ot. 2 : ubac	P. 2 : 10 à 30%
L. 3 : micaschistes, gneiss fracturés	Ot. 3 : ouest	P. 3 : 30 à 50%
L. 4 : gneiss résistants	Ot. 4 : est	P. 4 : 50 à 100%
		P. 5 : > à 100%
COUVERT VEGETAL	TRANCHE ALTITUDINALE	HYDROGRAPHIE
V. 1 : forêt	Et. 1 : 0 à 600m	Hy. 1 : pas de drainage
V. 2 : prairie	Et. 2 : 600 à 1200m	Hy. 2 : 1er et 2ème ordre
V. 3 : culture, occupation, humaine, formation végétale discontinue	Et. 3 : 1200 à 2200m	Hy. 3 : grand chenal torrentiel
V. 4 : sol nu	Et. 4 : 2200 à 2800m	
	Et. 5 : > à 2800m	
PROCESSUS MORPHODYNAMIQUES		
Fv. 1 : mouvements gravitaires		
Fv. 2 : mouvements de masse ; solifluxion rapide		
Fv. 3 : avalanche		
Fv. 4 : ravinements		
Fv. 5 : mouvements lents		
Fv. 6 : versant stable		

Figure 6 : valeurs que prennent les variables ou les paramètres servant à l'élaboration de la carte des secteurs soumis à des risques naturels.

Il met ensuite en relation les paramètres avec les classes de processus de manière à pouvoir appréhender statistiquement les facteurs de la morphodynamiques, d'envisager la validité des paramètres et de prévoir les unités susceptibles de connaître une évolution typique : par exemple, un versant stable ayant les mêmes caractéristiques qu'un versant attaqué par des mouvements gravitaires est susceptible de subir le même sort.

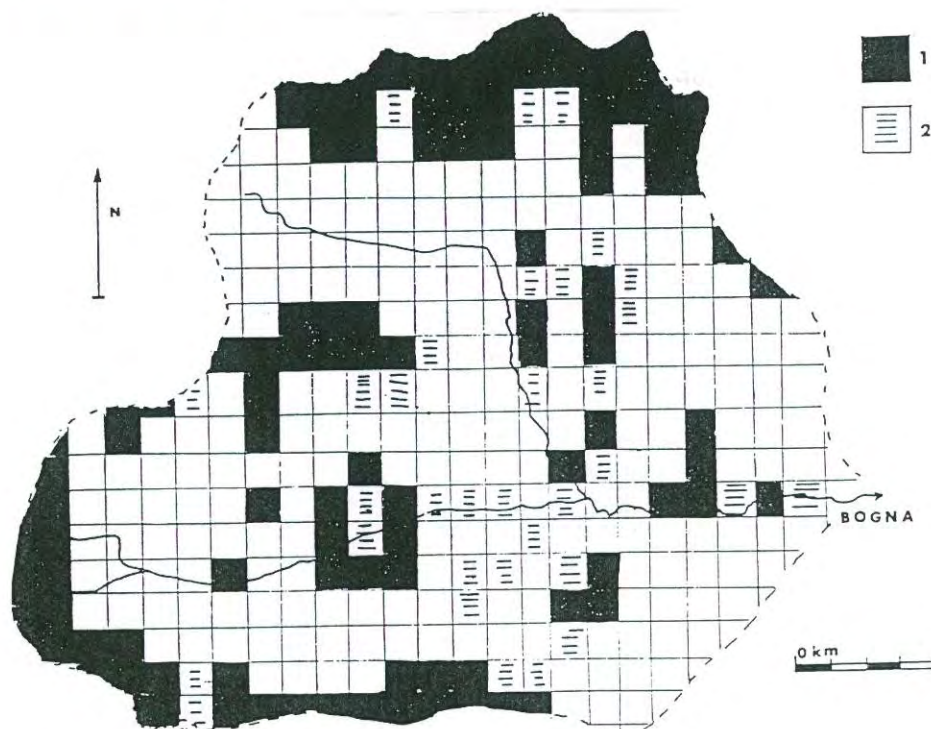


Figure 7 : carte des secteurs soumis à des risques naturels

Les résultats :

- la **fréquence** permet d'étudier les facteurs et de vérifier la validité des paramètres.
- la **régression** permet d'établir le degré de signification des variables les unes par rapport aux autres et par rapport aux classes de processus.
- le **coefficient linéaire R** mesure la dépendance, c'est à dire la dispersion des couples de valeurs de x et de y. En d'autres termes, R mesure la dépendance entre 2 facteurs ou entre un facteur et un processus morphodynamique.

Grâce aux résultats obtenus, il élabore une cartographie des unités systémiques soumises à des risques d'érosion (voir **figure 5**).

Notre objectif n'est certes pas le même que celui exposé ici puisque dans notre cas il ne s'agit pas de repérer des zones sensibles mais simplement de recenser des glissements de terrain. L'article est tout de même précieux dans la mesure où il nous expose une technique pour combiner des indicateurs dans le but de mettre en évidence, après déduction, des processus.

3. La méthode exposée par L.Quintlé :

Dans le but d'établir une carte intitulée carte de «répartition des glissements de terrain en fonction de leur probabilité d'existence» une méthode a été élaborée. Cinq cartes thématiques sont dressées à partir des documents disponibles telle la carte topographique, la

carte géologique, la carte géomorphologique dessinée par C.Augier et T.Rebmann (1990), les photographies aériennes de 1988 et enfin grâce au travail de terrain.

Ces thèmes sont :

- les traces d'escarpements,
- les traces de bossellements,
- le port des arbres,
- les perturbations dans le réseau hydrographique,
- les types d'occupation du sol et les traces de culture.

Un coefficient ou indice d'activité est affecté suivant l'indicateur, et ceci pour chaque glissement supposé, de manière à pouvoir superposer les différents thèmes. Cette procédure est reconduite pour les cinq cartes. Les indices obtenus sont alors additionnés pour obtenir un indice d'activité unique, celui-ci étant utilisé pour construire la carte de «localisation des glissements suivant leur indice d'activité».

Dans le cas des indices morphométriques, il s'agit de comparer les indices morphométriques calculés à partir de l'étude des formes repérées à la photo-interprétation aux indices morphométriques calculés pour les glissements actifs. Le principe est de considérer comme représentatifs tous les indices inclus dans la fourchette de valeurs des indices morphométriques calculés pour les glissements actifs (ou Df). Une nouvelle carte s'intitulant « localisation des glissements de terrain suivant le nombre d'indices appartenant aux Df » est alors établie.

La dernière étape consiste à comparer les 2 études et à dresser la carte finale. On crée donc un tableau qui rapporte des pourcentages de glissements de terrain en fonction des indices morphométriques et des indices d'activité qui permet certaines conclusions.

Grâce à ce travail et aux résultats de la thèse d'A.Légier, une carte intitulée «répartition des glissements en fonction de leur probabilité d'existence» est établie : elle indique la probabilité ou la certitude d'existence d'un glissement (voir **figure 8**).

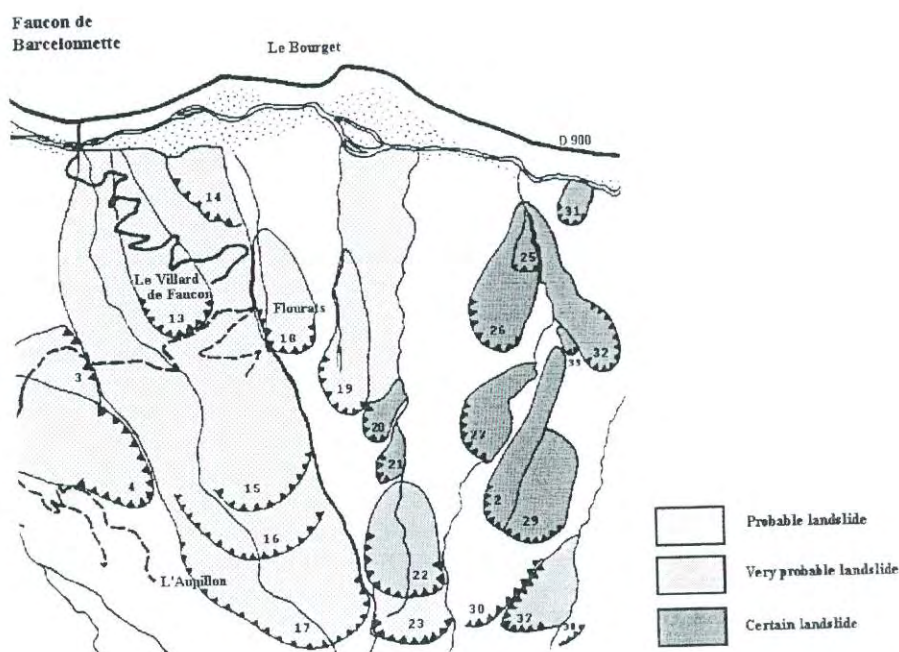


Figure 8 : extrait de la carte finale «répartition des glissements en fonction de leur probabilité d'existence»

4. Conclusion :

Très peu de méthodes permettant la détection de glissements de terrain par photo-interprétation ont été élaborées jusqu'alors.

Cependant, des repérages de glissements de terrain grâce à des photographies aériennes sont souvent effectués et quelques méthodes statistiques ont par ailleurs été tentées. Celles-ci ne seront pas réutilisées telles quelles dans le mémoire, mais plutôt adaptées au contexte, aux documents disponibles et à l'objectif suivi.

C'est pourquoi, il est nécessaire d'expliquer dans quelle mesure tout ce qui vient d'être évoqué dans cette 1^{ère} partie peut nous être utile pour la suite.

III. DANS QUELLE MESURE CES OUTILS PEUVENT-ILS NOUS AIDER DANS NOS RECHERCHES :

Les articles exposés précédemment sont de plusieurs types. Certains expliquent comment il est possible de repérer des glissements de terrain ou tout autre élément permettant de les reconnaître à l'aide de la photo-interprétation. D'autres publications exposent des méthodes fondées sur le repérage d'éléments définissant un glissement de terrain. Suivant les résultats, qui sont issus soit d'un simple recouvrement soit de traitements statistiques plus compliqués, on obtient un zonage composé de secteurs sensibles et de secteurs plus stables.

1. La détection des indicateurs grâce à la photo-interprétation:

Lorsqu'on débute en photo-interprétation, l'oeil n'est pas exercé et il est impossible de repérer tous les éléments aidant à la localisation d'un glissement de terrain. A peine peut-on en différencier la morphologie en distinguant une couronne ou des flancs pas trop estompés.

L'aide de professionnels n'est de ce fait pas superflue. Cette aide se manifeste par l'encadrement de personnes compétentes (dans le cas présent A.R.Cloots dans le cadre du mémoire de maîtrise (1995)) ou par la consultation de nombreux articles et manuels. On s'aperçoit ainsi qu'il existe quantité d'éléments indiquant ou confirmant l'existence d'un glissement de terrain. On apprend ainsi que, l'eau étant un facteur primordial dans la descente des masses en glissement, la localisation de zones de mauvais drainage, la disparition de certains drains, l'émergence de sources en contrebas, l'humidité anormale de certaines zones... sont des conditions à l'instabilité et c'est pourquoi il est essentiel de les repérer.

Il existe d'autres éléments révélant la présence d'un glissement. Ce sont les bossellements, le réseau hydrographique, la végétation, etc... Tous ces éléments sont consignés dans «Manual of photographic interpretation» H.Gagnon s'inspire d'ailleurs de cette "bible" (selon ses propres termes) pour élaborer une méthode fondée sur le même genre de logique.

Cette méthode est basée sur la superposition des différents indicateurs révélant la présence de glissements de terrain. Celle-ci est abordée dès à présent dans le 2^{ème} paragraphe intitulé «la superposition des différents critères : méthode».

2. La superposition des différents critères : méthode :

Toutes les méthodes de détection de glissements de terrain sont basées sur le même principe. Les critères sont confrontés entre eux par traitement statistique ou par simple superposition pour estimer la probabilité d'existence voire même l'état d'activité d'un glissement de terrain.

La technique la plus souvent utilisée est la détection de critères après avoir déterminé la surface et les limites des zones glissées. Par exemple, H.Gagnon (1971-1972) délimite des zones de glissements potentiels puis il repère les indicateurs présents qu'il cumule de façon à établir un degré d'instabilité.

L'idée nous est alors venue de considérer le problème à l'envers. On s'est dit que, puisqu'on pouvait confirmer l'existence de glissements de terrain par le nombre d'indicateurs présents, on pourrait aussi essayer de détecter les glissements de terrain, actifs ou anciens, grâce à des cartes de ces mêmes indicateurs, mais repérés sur un secteur entier ,

que l'on superposerait de manière à déceler les zones les plus sujettes aux glissements de terrain.

A partir de cet essai, on se propose donc de mettre en place une méthodologie capable d'être réutilisée de façon presque systématique sur toute région à caractère instable.

Après de nombreuses recherches, on s'est aperçu qu'il existait assez peu de publications sur le sujet à traiter et que la photo-interprétation était principalement utilisée dans le cadre de sujets beaucoup plus vastes. Néanmoins, les quelques ouvrages consultés nous ont permis de mettre en lumière des points communs à toute analyse comme le principe de superposer les critères indiquant la présence d'un glissement de terrain (seules les modalités de l'étude changent).

Les manuels de photo-interprétation et autres articles nous ont appris, quant à eux, qu'il existait plusieurs façon de déceler un glissement de terrain et comment s'y prendre. A l'aide de tout cela, il nous est donc possible de tenter d'établir une méthodologie facilitant leur mise en évidence et leur degré d'activité.

**3ème partie : La méthode envisagée pour la
détection des glissements de terrain anciens**



Le but de cette 3ème étape du mémoire est de mettre en place une méthodologie qui va nous aider à définir de manière systématique des zones en glissement, le résultat devant apparaître sur une carte que l'on comparera aux résultats déjà fournis dans le mémoire de maîtrise intitulé «Repérage d'anciens glissements de terrain dans le bassin de Barcelonnette, d'après la photo-interprétation, l'étude des cartes, et les vérifications sur le terrain».

Avant cela il est nécessaire de fournir quelques précisions sur la région choisie comme site d'étude.



Photo 1 : vue vers nord-est de toute la vallée (de la route de Pra Loup)

I. LE BASSIN DE BARCELONNETTE :

Barcelonnette est une des 3 sous-préfectures du département des Alpes de Hautes-Provence dans les Alpes du Sud. La ville se trouve dans la partie moyenne de la vallée de l'Ubaye (**photo 1**), à 1135m d'altitude. De hauts massifs encerclent le bassin de Barcelonnette :

- au nord le massif du Parpaillon,
- au sud-est le massif de Restefond,
- au sud la montagne de l'Alpe,
- à l'ouest le Chapeau de Gendarme (Lan) et la Grande Séolane.

Cette configuration lui a valu, pendant longtemps, d'être une des vallées les plus isolées de France.

3 unités géologiques coexistent dans la vallée :

- la zone briançonnaise qui n'affleure pas dans le secteur d'étude,
- les nappes de l'Embrunais-Ubaye avec les unités ultra-briançonnaises formées de la nappe de Flyschs du Parpaillon, des écaïlles basales de la nappe du Parpaillon et de la nappe de Flyschs de l'Autapie,
- les terrains autochtones, en grande partie formés de marnes noires. Ce sont des terrains facilement érodables ainsi que le laissent apparaître les ravines et le creusement des torrents. Ces marnes noires ou "Terres Noires" du Callovo-Oxfordien se saturent très facilement dès qu'il pleut ; les limites de plasticité et de liquidité sont très vite atteintes ce qui peut provoquer le déclenchement de glissement de terrain ou de coulées.

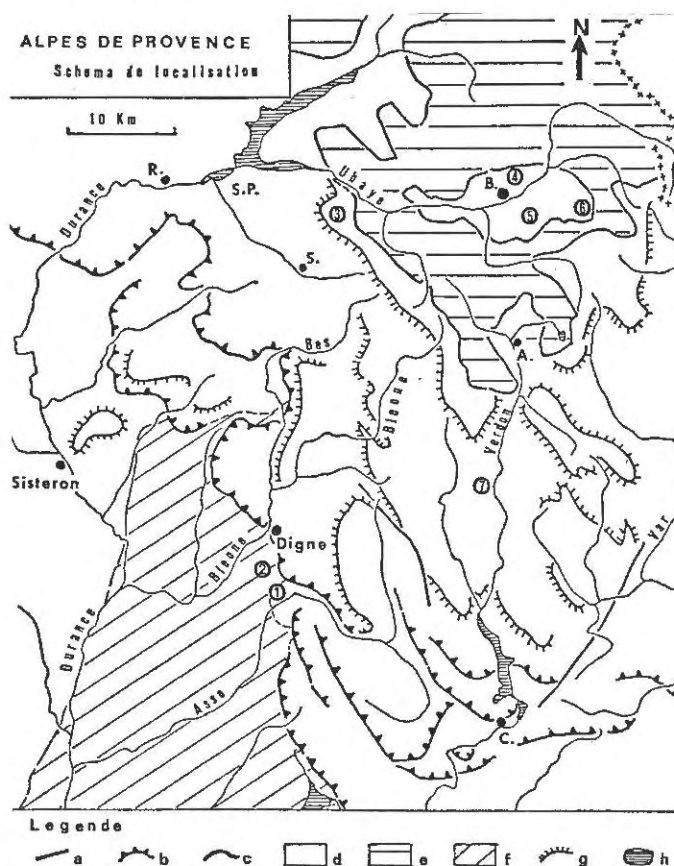


Fig. 1. - Alpes de Provence. Schéma de localisation. a) Faille principale ; b) Chevauchements subalpins ; c) Chevauchement des nappes de l'Embrunais-Ubaye ; d) Mésozoïque subalpin ; e) Nappes de l'Embrunais-Ubaye ; f) Néogène du bassin de Digne-Valensole ; g) Escarpements principaux ; h) Lac artificiel. Sites évoqués : 1. Secteur du Ravin de la Blache ; 2. Ravin des Beaumes ; 3. Montagne de la Blanche-Trois-Evêchés ; 4. Coupe des Maisonnettes ; 5. Coupe du chemin du Villard ; 6. Tourbière de La Clapouse ; 7. Thorame Haute. Localités : R. Remollon ; E. Seyne ; S.P. Serre-Ponçon ; B. Barcelonnette ; A. Allos ; C. Castellane.

Figure 9 : schéma de localisation (géologique) ; Alpes de Haute Provence

Les formations superficielles sont issues de l'époque Quaternaire. A la fin du Tertiaire et au début du Quaternaire le bassin est creusé d'une part par le réseau hydrographique, et d'autre part par les différentes glaciations. Les glaciers façonnent des cirques qui marquent l'aspect actuel des versants et qui laissent des dépôts morainiques, d'épaisseurs très variables, recouvrant presque intégralement les terrains autochtones sauf dans les endroits remaniés par les ravines, les coulées ou les glissements. Le contact entre les formations morainiques quaternaires perméables et les marnes noires imperméables qui constituent l'essentiel des terrains autochtones dans la vallée de Barcelonnette constituent de fabuleux plans de glissements.

De nombreux torrents alimentent l'Ubaye : leur débit est très variable dans l'espace et dans le temps, ceci du au climat méditerranéen atténué à tendance montagnarde. Ils sont marqués par 2 maxima. Le principal est celui de printemps issu de la fonte des neiges : il est responsable du débit très élevé de l'Ubaye à cette époque de l'année. Un pic secondaire se produit en automne lors de la recrudescence des pluies. Les torrents drainent des bassins versants de tailles variables incisant les flyschs près des sources, et les marnes noires à des altitudes beaucoup plus basses (voir figures 10 à 12).

L'intensité de l'érosion due au réseau hydrographique en fait donc un agent d'érosion primordial.

La végétation est largement marquée par le régime climatique : plusieurs d'espèces méditerranéennes comme les oliviers poussant en général à des altitudes beaucoup plus faibles se développent dans la vallée. Elles se mêlent à des espèces typiquement alpines comme les pins sylvestres ou les mélèzes qui s'étagent par tranches d'altitudes. On y trouve aussi une végétation de feuillus comme les peupliers trembles, les bouleaux..., et une végétation plus spécifique (hygrophile) comme les joncs, le carex dont la présence est liée à l'existence de zones plus humides, parfois marécageuses.

Le paysage actuel est largement marqué par l'influence anthropique: il est le fruit de reboisements organisés qui interfèrent avec la végétation naturelle. En traversant les versants de la vallée, de nombreuses traces passées sont encore discernables comme des anciennes terrasses de culture ou des anciens villages aujourd'hui délaissés. Malgré cela, l'agriculture et l'élevage y sont encore omniprésents. Ils se combinent largement avec l'activité touristique hivernale et estivale que proposent les stations de ski ainsi que les communes et dont découlent beaucoup d'activité annexes, comme le commerce.

En conclusion, cette vallée, dissymétrique, doit sa complexité à sa lithologie qui superpose les terrains autochtones aux terrains allochtones que sont les nappes de l'Embrunais-Ubaye. Les propriétés des roches en place très sensibles à l'érosion favorisent le déclenchement de glissements de terrain.

Pour étudier ces glissements on se propose de choisir un site expérimental d'étude se localisant au sud de la commune de Jausiers en rive gauche de l'Ubaye. Les limites de cette zone sont totalement fictives puisque cette dernière à la forme d'un carré.



Figure 10 : carte de la répartition des pluies en Haute Provence

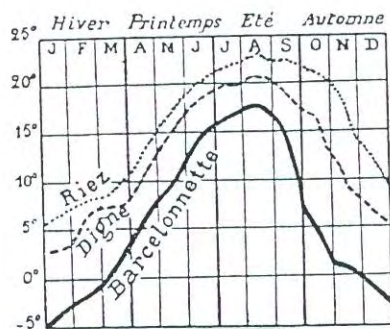


Figure 11 : températures moyennes à Barcelonnette durant l'année

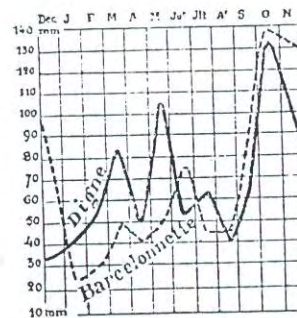


Figure 12 : répartition mensuelle des pluies à Digne et à Barcelonnette. Digne : 798mm, Barcelonnette : 782mm

II. MÉTHODOLOGIE POUR LE REPÉRAGE DES ANCIENS GLISSEMENTS DE TERRAIN :

1. Hypothèse de départ :

Le but de cette étude est de repérer différents indicateurs susceptibles de nous renseigner sur l'existence probable d'un glissement ou d'une coulée. Si le glissement est considéré comme certain, on peut essayer d'établir un état d'activité en fonction du nombre d'indicateurs relevés.

Plusieurs indicateurs permettent de repérer des anciens glissements de terrain ou des anciennes coulées :

- le repérage des traces d'escarpements et des traces de flancs qui doit servir de trame de travail.
- les anomalies de morphologie dans le réseau hydrographique,
- les bossellements et les fissures,
- les zones humides et la végétation hygrophile,
- le port des arbres,
- le recensement des désordres qui peuvent survenir sur les routes et les chemins carrossables (en terme d'instabilité).

On pose l'hypothèse suivante : on considère qu'il s'est produit un glissement de terrain ou une coulée à partir du moment où on détecte des restes d'escarpements et/ou de flancs (voir paragraphe «évolution d'un glissement dans le temps» J. Mac Calpin et J. B. Rice). Il faut alors vérifier cette hypothèse. Pour cela, on détermine les autres indicateurs qui doivent permettre de confirmer ou d'infirmer cette hypothèse.

Une simple superposition des cartes obtenues, et donc un simple cumul des critères sont suffisants à la validation de l'hypothèse «d'existence probable ou certaine d'un mouvement de terrain».

Mais cette hypothèse ne se suffit pas à elle-même. Il existe en effet des sites où des désordres ont pu être observés suite à des mouvements du terrain mais où aucune trace d'escarpement ou de flanc n'a pu être repérée. C'est pourquoi une analyse sur les zones sans traces de glissements apparents doit également être effectuée.

2. Le repérage des indicateurs sur le terrain :

Il s'agit en fait de problèmes d'ordre technique. En effet, la détection sur le terrain est relativement compliquée puisqu'elle ne peut être effectuée de façon uniforme sur tout le secteur d'étude. Il faut donc choisir les sites à étudier le plus judicieusement et le plus précisément possible.

Lorsqu'il y a des traces d'escarpements ou de flancs, l'étude est relativement simple : la détection des critères se limite à la zone supposée du glissement ou de la coulée. Lorsqu'il n'y a pas de traces, le recensement est plus compliqué puisque seul un certain nombre de critères morphologiques indiquant un glissement de terrain sont étudiés de façon systématique sur toute la zone d'étude.

La technique est donc de superposer les cartes où sont recensées les indicateurs repérés de façon systématique et de numérotter toutes les zones faisant apparaître au moins un indicateur en chiffre romain pour la différencier de l'étude faite à partir des traces d'escarpements et des traces de flancs. Il en résulte une carte indiquant des zones que l'on peut qualifier de sensibles et qui doit faire l'objet d'une attention plus particulière sur le terrain.

3. Quelques remarques sur la lithologie du secteur d'étude :

Elle doit figurer car elle est à l'origine du glissement et surtout du type de glissement. Le matériel affleurant peut être repéré sur les talus de routes ou de chemins, dans les escarpements s'il n'y a pas de végétation, dans les zones de ravinement (en général, ce sont des zones marnes noires, qui se repère assez facilement par l'étude des photographies aériennes), dans les cours d'eau et sur les berges.). La géologie est importante à connaître car elle conditionne le mouvement de terrain. Il se produit fréquemment des mouvements sur des terrains morainiques en surface et marneux en profondeur. Les "Terres Noires" constituent en effet de très bons plans de glissement. Les marnes noires sont aussi très propices aux coulées puisque, celles-ci se saturant facilement d'eau voient leurs limites de plasticité puis leurs limites de liquidité très vite atteintes ce qui permet au matériel de s'écouler. L'étude géologique, enfin, permet d'éviter de confondre une anomalie d'ordre structurale d'une anomalie issue d'un mouvement du terrain.

Dans le cas de notre secteur d'étude, on constate que les escarpements structuraux se localisent principalement dans la partie amont du Bois Noir. En effet, toute la zone située en contrebas de ce site semble être façonnée dans les marnes noires du Callovo-Oxfordien (J₃₋₄) ou dans les marno-calcaires de l'Argovien (étage supérieur de l'Oxfordien) (J₅) de composition semblable avec en plus des bancs de calcaires de 20 à 30cm d'épaisseur et donc guère beaucoup plus résistants à l'érosion.

Plus haut en altitude, le matériel change : les reliefs sont façonnés dans le Dogger (J₁₋₂) ou calcaires argileux en bancs décimétriques à métriques, dans du Lias Marneux (I₅₋₆) composé de schistes argileux et de marnes feuilletées bleu-noir se chargeant progressivement de bancs de calcaires pour devenir le Lias Calcaire (I₃₋₄) formé d'une alternance de calcaire noirs et de calcaires argileux.

En altitude, c'est à dire au-dessus du Bois Noir, les terrains deviennent beaucoup plus calcaires ; leur résistance à l'érosion devient alors plus importante et il pourra se former, par érosion différentielle, des escarpements structuraux comme la crête des Barraus. C'est pourquoi il faut absolument faire attention à ne pas confondre une anomalie résultant de cette disposition d'une anomalie issue d'un mouvement de terrain.

Pour mémoire nous pouvons aussi ajouter que la stratification des roches est non-conforme à la chronologie de formation. En effet, les couches les plus récentes sont disposées sous les couches les plus anciennes ; ceci est du à la présence d'un pli en genou appelé Pli de Terres Plaines. (voir aussi la carte géologique au 1/50 000 de Barcelonnette).

III. L'ÉTUDE DES DIFFÉRENTS INDICATEURS :

Le travail se partage entre l'étude des photographies aériennes avec pour support les cartes topographiques, les cartes géologiques et autres documents disponibles et le travail sur le terrain.

a) Certains indicateurs se décèlent uniquement avec les photographies aériennes comme les traces morphologiques de glissements de terrain (= traces d'escarpements et de flancs), les anomalies dans le réseau hydrographique.

b) D'autres indicateurs se repèrent grâce aux photographies aériennes mais nécessitent des vérifications ou des compléments d'information sur le terrain. C'est le cas pour les bossellements, mais aussi pour les zones humides et les zones de végétation hygrophiles qui peuvent se détecter grâce à des photographies aériennes infrarouges. Ces indicateurs doivent être soumis à des confirmations sur le terrain pour éviter les confusions.

c) Le port des arbres, les désordres survenant sur les routes et les chemins carrossables ne sont repérables que directement. Dans le cas des désordres survenant le long des routes, ils sont vus de manière systématique sur le terrain.

1. Les escarpements et les flancs :

Le repérage et la localisation des traces d'escarpements et des traces de flancs se fait grâce aux photographies aériennes 3539 3639 300 mission Barcelonnette-Larche (1988) en noir et blanc. Celles-ci permettent, en effet, d'avoir la vue d'ensemble nécessaire à la localisation de telles formes.

Pour distinguer un escarpement, on suppose qu'avec l'érosion, un glissement actif s'estompe mais conserve sensiblement la même morphologie (voir paragraphe «évolution d'un glissement de terrain dans le temps»). Les traces d'anciens glissements apparaissent le plus souvent sous la forme de talus circulaires avec une pente raide et concave à l'amont, une pente plus atténuée et convexe à l'aval. Il est bienvenu de confronter les résultats obtenus avec la carte géologique de façon à éliminer directement les escarpements structuraux (voir paragraphe précédent).

On dresse alors une carte où sont représentés les escarpements, les flancs des glissements supposés.

2. Les anomalies de tracé et d'encaissement dans le réseau hydrographique :

Cet indicateur de glissement de terrain est repérable grâce aux photographies aériennes 3539 3639 300 mission Barcelonnette-Larche (1988) en noir et blanc et à la carte topographique Jausiers 3539 Est au 1/25 000.

Les anomalies dans le tracé ou dans l'encaissement du réseau hydrographique apportent des indications sur des phénomènes passés. Pour comprendre l'intérêt de repérer ces anomalies, il convient de décrire sommairement la morphologie d'un torrent dit "classique". D'après M. Derruau (1969), un "torrent est un organisme court, à pente forte, travaillant dans une région de terrains affouillables (argileuse en général) et sous un climat qui lui donne un débit saccadé, des maigres alternant avec des crues soudaines (...). Le torrent se compose de 2 ou 3 parties. Les 2 parties constantes sont sa **longue vallée linéaire de profil transversal en V** ou chenal d'écoulement et une espèce d'éventail alluvial situé à l'endroit où il débouche dans la vallée principale : cet éventail est le cône de déjection (...). Dans le cas où le cône de déjection est actif, il quitte son lit à la moindre crue

pour en occuper un autre dans une position inférieure ; ce lit va à son tour s'exhausser, et le torrent en occupera un autre et ainsi de suite. (...). La troisième partie, occasionnelle, du torrent est le bassin de réception : c'est la zone où, par rassemblement des eaux de plusieurs ravin-affluents, tout à l'amont, se forme le lit du torrent." (voir **figure 14**)

2.1. Les anomalies dans le tracé du torrent :

Si un torrent n'est pas affecté par des mouvements de masse et qu'il évolue dans des terrains homogènes, son tracé est à peu près rectiligne et conserve les formes décrites ci-dessus.

La principale perturbation se crée si un glissement de terrain survient. Celui-ci, en atteignant le chenal d'écoulement, va faire dévier son tracé.

Mais toutes les bifurcations anormales ne sont pas issues d'un mouvement du terrain :
 - il se peut qu'un contact anormal fasse dévier le cours d'un torrent à cause d'une différence de résistance de la roche à l'érosion ;
 - il se peut qu'une bifurcation anormale soit issue d'un changement de lit dans le cône de déjection. Il se crée alors un coude assez marqué à l'abord du cône de déjection.

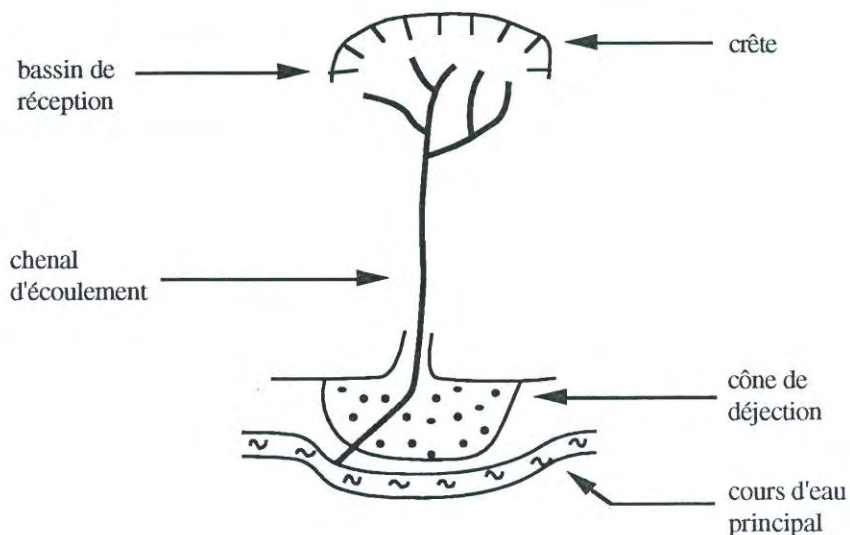


Figure 15 : Les parties d'un torrent classique d'après M.Derruau

Il convient donc de distinguer les perturbations d'ordre structurale des perturbations qui font suite à des mouvements du terrain. C'est pourquoi le contexte géologique doit être étudié conjointement au réseau hydrographique, comme dans le cas du repérage des escarpements

2.2. Les anomalies dans l'encaissement du torrent :



Photo 2 : encaissement du torrent de Poche



Photo 3 : janvier 1922 (M. Ricard). Torrent de Poche : berge en glissement. Fonds photographiques RTM (Barcelonnette).

La profondeur de l'encaissement dépend du type de formation sous-jacente. Un torrent s'écoulant dans les Terres Noires peut s'enfoncer de 50m voire plus (voir **photo 2**) alors qu'un torrent évoluant dans du matériel morainique n'est que très peu incisé. En considérant

un terrain homogène, l'élément le plus parlant pour exprimer qu'il a pu se produire un glissement de terrain ou une coulée le long d'un torrent est la dissymétrie de l'encaissement.

Ainsi, s'il se produit un glissement de terrain par sapement de berge, l'affaissement de la masse initiale va créer une dissymétrie dans le profil transversal du lit.

Dans le cas d'un torrent évoluant dans les marnes noires, son profil transversal est symétrique tant qu'aucun mouvement de terrain, que ce soit un glissement ou une coulée, ne s'est produit.

Lorsqu'il pleut, les terrains se saturent très vite et perdent leur cohérence. Le matériel, qu'il soit glissé ou écoulé, est entraîné vers l'aval. Le profil transversal du torrent devient dissymétrique (voir **figure 14**). Après que ce mouvement se soit stabilisé, l'érosion se fait lentement et le torrent s'enfonce à nouveau peu à peu.

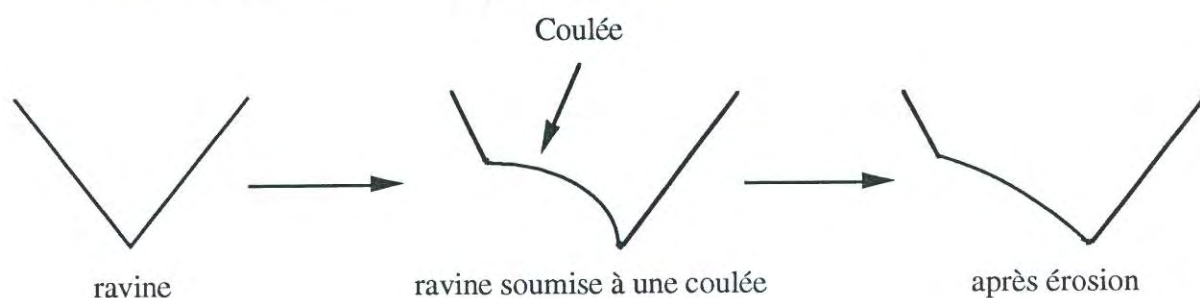


Figure 14 : profil transversal d'un torrent modifié par une coulée.

2.3. L'élaboration de la carte :

Deux étapes sont nécessaires à l'élaboration de la carte des «perturbations du réseau hydrographique» (voir **figure 15**) : on relève le réseau hydrographique sur la carte topographique Jausiers 3539 Est au 1/25 000. Sur cette carte ainsi réalisée, on représente la profondeur et le type d'encaissement. Pour cela, on crée un tableau à double entrée qui cumule les 2 variables. Il n'y a que 7 éléments dans la légende car, par convention, on ne représente pas la dissymétrie des faibles encaissements.

		Degré d'encaissement		
		Profond	Moyen	Faible
Type d'encaissement	Symétrique			
	Dissymétrique rive droite			
	Dissymétrique rive gauche			

Figure 15 : légende de la carte «perturbations dans le réseau hydrographique»

3. Les bossellements (ou zones bosselées) et les fissures :

Les **bossellements** sont issus d'un bouleversement du terrain. Ils confèrent à la topographie une allure très perturbée. Lorsque leur taille est suffisamment importante (ou l'échelle des photographies aériennes suffisamment grande), ils sont repérables grâce en visée stéréoscopique. Mais lorsqu'ils sont de petite taille, il faut impérativement aller les reconnaître sur le terrain (voir **photo 4**). La carte des traces d'escarpements et de flancs oriente alors la recherche.



Photo 4 : zone bosselée dans le glissement supposé 7

Deux principaux phénomènes sont à l'origine de ces bouleversements dans ce type de milieu :

- les mouvements de terrain,
- les glaciers.

La distinction entre ces deux processus de formation est possible en observant le matériel sous-jacent et la carte géologique lorsqu'elle est suffisamment détaillée. On relève plusieurs sortes de bossellements suivant leur taille et le phénomène qui les a édifiés :

- s'ils sont de taille importante, ils peuvent être issus des différentes phases de retrait glaciaire ou bien de l'érosion sous glaciaire, celle-ci créant des bosses et des incisions. La présence de moraine sur les chemins, le long des talus et sous forme d'épierrements dans le cas des zones cultivées permet de le justifier ;
- ils peuvent être issus des grands glissements de terrain qui ont fait suite à la dernière déglaciation. Les terrains ont dégelé et sont totalement instables en raison de la quantité d'eau renfermée, car il y a eu une rupture d'équilibre.
- les bossellements de plus petite taille sont issus de glissements plus petits ou à des remaniements localisés à l'intérieur même d'un des grands glissements de terrain précités. Dans le cas d'un glissement de terrain rotationnel, les bossellements se localisent principalement dans les parties basses (ou zone d'accumulation). Dans le cas d'un versant en solifluxion ou d'une coulée, on en rencontre sur toute sa surface : "le jeu répété de tous ces mouvements, qui se combinent de façon très complexe et se relaient, finit par conférer à



Photos 5 et 6 : panorama au-dessus de la bergerie Rebattu (zones de bossellements)

la topographie une allure chaotique, désorganisée, peu propice à la mise en valeur des versants" (R. Neboit-Guilhot (1990)).

Ceux-ci ne sont décelables que sur le terrain, c'est pourquoi on aura une attention toute particulière pour les zones dites "sensible", ou intérieur des traces de glissement (escarpements et flancs).

Les **fissures** donnent des indications sur l'état d'activité du terrain. Celles-ci ne se repèrent pas sur les photographies aériennes (du moins sur celles dont on dispose), mais directement sur le terrain. Il faut donc examiner tous les lieux d'allure chaotique.

4. Les zones humides et la végétation hygrophile :

4.1. Les zones humides :

L'eau constitue ainsi un agent primordial dans le processus de déclenchement d'un glissement ou d'une coulée. Le repérage des zones humides, des sources... est donc très utile (**photo 7**).



Photo 7 : zone humide en amont du glissement de Poche

a) Les éléments à localiser :

La localisation des zones humides permet de mettre en valeur un mauvais drainage superficiel caractéristique des glissements de terrain et des coulées : il est matérialisé par une multitude de petits points d'eau et par une teinte plus sombre des zones humides (voir photo 8).



Photo 8 : petite sagne un peu plus bas vers le glissement de Poche

Ce mauvais drainage est probablement issu de la déprise rurale. En effet, les systèmes de drainage et les canaux étant laissés à l'abandon, l'eau circule à nouveau dans le

D'après A de Reparaz (1980), "les plus importants ravinements et bad-lands taillés dans les marnes noires, témoins d'une morphologie largement antérieure étaient déjà là, plutôt moins développés et encadrés par un espace agro-pastoral entretenu".

La détection de plans d'infiltration permet de localiser des zones où peuvent se produire des glissements, et les endroits où ils se sont déjà produits.

L'apparition soudaine de plusieurs sources d'eau (ou résurgences) peut laisser soupçonner une infiltration considérable et traduire la présence d'un ancien glissement de terrain.

Lorsqu'il y a déjà eu un glissement, il se forme des zones discontinues d'infiltration des eaux étant donné les différences existant dans la structure et dans la texture du matériel déplacé.

b) Les techniques de repérage :

Tous ces phénomènes sont aisément repérables grâce aux photographies infrarouge. En effet, les longueurs d'onde infrarouges (IR) permettent de faire ressortir l'eau et par la même occasion toutes les zones humides car la réflectance y est pratiquement nulle. De ce fait, l'eau apparaît donc très foncée voire noire puisqu'elle absorbe tout. On obtient par ce biais un tracé net des torrents et une différenciation marquée des sols dès 6 à 15% de teneur en eau supplémentaire. Toutes les zones humides apparaissent donc plus foncées. Inversement, plus un objet est sec, plus il est clair.

Une difficulté survient lorsqu'on veut différencier l'eau d'une éventuelle bordure de résineux car ils ont une réponse spectrale très proche.

4.2. La végétation hygrophile :

Son intérêt réside dans le fait qu'elle peut nous renseigner sur la teneur en eau du sol ou s'il y règne une certaine humidité.

S'agissant d'un milieu sec, à tendance méditerranéenne, les principales essences végétales sont des résineux et autres végétaux adaptés à ces contraintes. Les zones plus humides sont révélées, non seulement grâce aux plantes hygrophiles mais aussi grâce à des espèces d'arbres à feuilles caduques comme les peupliers.

a) Les principaux types de végétation :

Le but n'est pas de décrire tous les types de végétation se développant sur les versants au-dessus de Barcelonnette, mais simplement de signaler quelques-uns des différents types de feuillus dont les exigences en eau sont relativement importantes.

95% de la surface boisée de la vallée de l'Ubaye est recouverte par des résineux. Seulement 5% de la surface est recouverte par des feuillus. Ce sont :

- le Peuplier Noir qui prolifère dans les endroits marécageux, au bord des rivières et des ruisseaux,
- le Peuplier Tremble qui est le plus répandu des peupliers. Il forme des bouquets serrés, mais préfère les forêts peu touffues. Il envahit les anciens prés de fauche,
- le Saule Blanc (ou Saule Fragile) qui utilise au mieux les sols humides mouvants. Il croît de préférence le long des dépressions et des vallées ; on en trouve surtout au bord de l'Ubaye,
- l'Aulne qui se trouve surtout près des ruisseaux, des canaux et des petites rivières. Grâce à son système de racines, il peut se fixer dans des sols très mouillés,
- le Frêne commun qui croît volontiers dans les dépressions, les vallées fluviales et les forêts marécageuses,
- les arbres fruitiers qui se localisent près des ruines : ce sont souvent des arbres relativement exigeants en eau.

b) Les techniques de repérage :

Les photographies IR permettent dans ce cas de faire la différence entre les conifères et les feuillus. En effet, les végétaux secs et les résineux apparaissent relativement sombres par rapport aux feuillus qui sont plus clairs du fait de leur évapotranspiration (ETR) plus active et donc de leur perte en eau plus importante.

Une reconnaissance sur les photographies aériennes et une validation sur le terrain sont nécessaires ainsi que la consultation d'autres photographies aériennes comme celles en fausses couleurs qui permettent de différencier l'élément minéral de l'élément végétal. (la composition colorée standard permet de différencier en rouge le végétal et en cyan le minéral (bleu+vert)).

Cette reconnaissance est valable aussi bien pour les zones humides que pour les zones de végétation hygrophile.

La végétation hygrophile et les zones humides sont donc en interrelation. En effet, lorsque la végétation recouvre totalement le sol, il nous est impossible de repérer les différents degrés d'humidité. On s'intéresse alors, à la végétation qui traduit les exigences du milieu qu'elle a conquis. De ce fait, on place les 2 indicateurs sur la même carte.

5. Les désordres survenus sur les routes et les chemins carrossables à un moment donné :

Les désordres survenus le long des routes et des chemins carrossables doivent être étudiés à un instant T, car de nombreux remaniements, surtout dans une région comme celle-ci, sont effectués par les entreprises de travaux publics (DDE pour les routes départementales, la commune pour les chemins vicinaux). Les désordres engendrés par des mouvements de terrain, en particulier par des glissements ou des coulées, sont continuellement "aplanis" et les traces s'effacent très vite.

Le but de cette étude est de parcourir toutes les voies carrossables pour recenser ces désordres de façon systématique afin d'obtenir, sous forme de carte, des indications sur les secteurs environnants (voir **photo 9**). Pour compléter ce document, on peut aussi consulter les services publics sur les opérations menées les années précédant cette étude (les documents disponibles).

On représente les résultats ainsi obtenus sur un fond de carte sous la forme de points signalant ces désordres.



Photo 9 : effondrement d'un talus de route sur la voie carrossable qui mène à la bergerie Rebattu

6. Le port des arbres :

Le port des arbres est un indicateur précieux dans la mesure où c'est la première chose visible sur le terrain. En effet, lorsqu'il y a un mouvement de terrain, les arbres sont soumis à des forces et suivent le mouvement.

D'après S. Kirchhoffer (1994), "le tronc suit le mouvement et est déstabilisé. Si ce mouvement n'est pas trop important ou qu'il se stabilise, l'arbre produit du bois de réaction et arrive à redresser son tronc". C'est ainsi que sur certaines zones en glissement les arbres sont incurvés vers la base. Ce phénomène est relativement fréquent dans les zones soumises à la solifluxion car il s'agit d'un mouvement lent. Il faut tout de même tenir compte du fait que la forme des troncs n'est pas toujours déterminée par la solifluxion, l'action de la neige (de sa masse pour être plus précis) peut créer le même type de déformation.

Si les forces en présence dans le mouvement sont plus importantes et plus nombreuses, les arbres sont inclinés dans tous les sens, sont aussi déracinés.

L'établissement de la carte du port des arbres ne peut être établie qu'à travers une reconnaissance sur le terrain. Dans le cas de la zone étudiée, le travail effectué par S. Kirchhoffer dans le cadre de son mémoire de maîtrise peut être d'une grande utilité. Sur la carte créée, sont localisées les zones d'arbres courbés et les zones de forêt ivre. Les zones de forêt non affectées par un mouvement n'y sont pas représentées. Comme le secteur d'étude ne se superpose pas directement, il faut systématiquement vérifier tout ce qui n'a pas été vu auparavant.

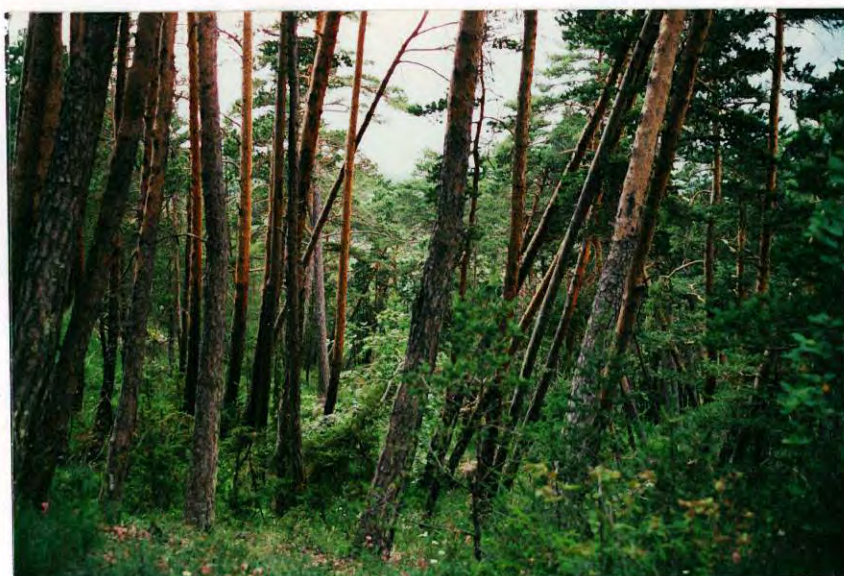


photo 10 : arbres perturbés vers le torrent Claret. Ils ont été emmenés avec le mouvement mais ne se sont pas, ou pas encore redressés.

7. Conclusion :

Lorsqu'ils sont repérés, les différents indicateurs sont représentés sur un fond de carte. On réalise donc six cartes que l'on transpose sur des transparents. Ces cartes sont :

- «localisation des escarpements et des flancs»
- «localisation des zones de bossellements»
- «perturbations dans le réseau hydrographique»
- «zones d'arbres perturbés»
- «localisation des espèces d'arbres feuillus et des zones humides»

«état des routes»

Le but des transparents est simplement de faciliter la superposition des indicateurs.

IV. LA SUPERPOSITION DES DIFFÉRENTES CARTES :

Il n'existe pas de technique à proprement parler, c'est pourquoi on se propose à la suite d'autres auteurs (voir 1ère partie) d'élaborer notre propre méthode pour superposer différents indicateurs révélant la présence ou l'état d'activité d'un glissement de terrain. Celle-ci se veut empirique mais néanmoins systématique puisque son but est de pouvoir être réemployée sur d'autres sites.

1. La méthode utilisée :

Le but du repérage de différents indicateurs de reconnaissance ou d'activité d'un glissement de terrain est la création d'une carte unique faisant ressortir la probabilité ou la certitude d'existence d'un glissement de terrain ainsi que son état d'activité. Pour obtenir cette carte unique, on superpose les différentes cartes qui viennent d'être établies en créant une méthode permettant la superposition des indicateurs.

De façon à ne pas fausser les données du problème, c'est à dire de façon à ne pas être influencés par les escarpements et les flancs des glissements supposés, on décide de ne faire intervenir la carte «**localisation des escarpements et des flancs**» qu'à la fin de l'étude.

Étape 1 :

Les cartes de base à cette superposition sont ainsi choisies :

- la carte de «**localisation des espèces d'arbres feuillus et des zones humides**»,
- la carte de «**localisation des zones de bossellements**»
- la carte des «**zones d'arbres perturbés**».

Ces cartes sont superposées deux à deux de façon à localiser un maximum de surfaces où les deux informations sont présentes. Lorsque celles-ci sont toutes répertoriées, on se concentre sur les endroits où un seul indicateur est présent. Nous n'avons pas jugé de faire intervenir les autres indicateurs pour localiser de nouvelles surfaces, puisque celles-ci sont déjà très nombreuses et relativement bien réparties.

Il n'y a pas d'ordre précis dans la localisation. En effet, on nomme les surfaces au fur et à mesure qu'on les repère suivant la logique du repérage.

Étape 2 :

Parallèlement, un tableau qui a pour nom «**tableau de superposition des indicateurs**» est construit (voir **Annexe 1**). On y répertorie toutes les surfaces en y notant la présence ou l'absence de chaque indicateur. Si une surface se trouve à l'intérieur d'un glissement supposé, le numéro de celui-ci doit y figurer.

81 surfaces sont ainsi repérées. Chacune mesure environ 250m à 500m de diamètre (c'est à dire 1 à 2cm sur la carte) parfois un peu plus.

Les indicateurs présents sont alors additionnés de la manière suivante :

oui=1 et non=0
oui+F=2, oui+FC=2, F=1, FC=1
numéro d'un glissement supposé (14)=1...

Pour mémoire l'état des routes est signalé dans le tableau, mais cet indicateur ne peut être utilisé comme les autres puisqu'il intervient de façon linéaire et non pas surfacique. Comme la plupart des surfaces ne sont pas à proximité d'une route, l'indicateur final serait alors faussé.

Étape 3 :

On crée ensuite un deuxième tableau ou «**tableau final des indicateurs**» (voir **Annexe 2**) dans lequel on rassemble les surfaces appartenant à un même glissement supposé. Dans certains cas, un glissement n'est caractérisé par aucune surface. En effet, les données sont incomplètes dans la région sud-est du secteur choisie pour site d'étude, car les photographies aériennes en infrarouge s'y rapportant n'ont pu être consultées.

L'objectif est la construction d'une carte finale intitulée «**Probabilité d'existence et localisation de zones en glissement au sud de Jausiers**» fondée sur la répartition des indicateurs finaux.

2. L'élaboration de la carte finale :

Étape 4 :

Grâce à la méthode élaborée, nous avons pu créer des indicateurs dont les valeurs varient de 1 à 6. Ceux-ci ont pour but de faciliter la création de la carte de «**Probabilité d'existence et localisation de zones en glissement au sud de Jausiers**». Pour une lecture plus aisée de la carte, on décide de ne conserver que 3 classes de valeurs :

- 1 ; 2 existence probable d'un glissement de terrain
- 3 ; 4 existence très probable d'un glissement de terrain
- 5 ; 6 glissement certain avec possibilité d'activité

Le fond de carte utilisé est la carte de «**localisation des escarpements et des flancs**». Les surfaces, rassemblées par glissement supposé, ne font ressortir que l'indicateur final le plus élevé, celui-ci étant représentatif du glissement de terrain. Les surfaces en-dehors des glissements supposés gardent leur propre valeur.

PROBABILITE D'EXISTENCE ET LOCALISATION DE ZONES EN GLISSEMENT AU SUD DE JAUSIERS

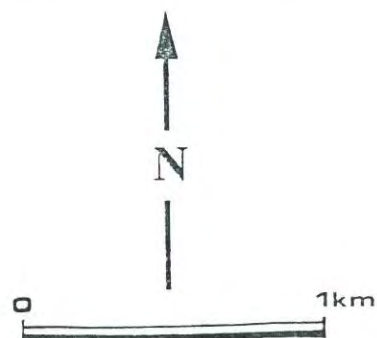


1 ; 2 Existence probable d'un glissement de terrain

3 ; 4 Existence très probable d'un glissement de terrain

5 ; 6 Glissement certain avec possibilité d'activité

L.QUINTLÉ



V. LES COMMENTAIRES ET LES PROBLEMES RENCONTRES

1. Les commentaires sur la méthode et la réalisation de la carte :

La carte finale intitulée «**Probabilité d'existence et localisation de zones en glissement au sud de Jausiers**» est à présent réalisée. Elle permet de mettre en évidence non seulement une probabilité d'existence des glissements de terrain, mais aussi une probabilité d'activité lorsque la zone en question rassemble de nombreux indicateurs (par exemple la zone au-dessus du glissement n°7). Nous n'avons créé aucune typologie, que ce soit en rapport avec l'état d'érosion des escarpements ou en rapport avec la profondeur de la masse glissée

De nombreuses surfaces localisées lors de la superposition se situent en fait à l'intérieur même des glissements supposés ; elles sont au nombre de 53. D'autres surfaces, moins nombreuses puisqu'il n'y en a que 29 se localisent à l'extérieur des glissements supposés mais rassemblent tout de même un certain nombre d'indicateurs.

Lorsqu'on étudie la carte finale de plus près, une information ressort principalement. Il apparaît que la probabilité d'existence est en moyenne beaucoup plus forte à l'intérieur des formes repérées par photo-interprétation qu'à l'extérieur de ces surfaces. Dans un sens, c'est normal puisque les escarpements repérés comptent parmi les indicateurs. 12 des 28 glissements supposés ont un indicateur de 5 ou de 6, mais 6 des 28 glissements pourraient être éliminés de l'étude par manque de données (glissements 21, 22, 23, 24, 25 et 26) et 2 glissements ne contiennent aucun indicateur.

Si on élimine les glissements supposés dont il manque des données, on peut admettre que pour plus de la moitié des autres l'existence est certaine. Il semble même que quelques-uns d'entre eux aient une certaine d'activité.

Par exemple, le glissement n°6 : il s'agit en fait du glissement de Poche. Ce glissement de terrain est reconnu de tous pour son activité et a aussi été reconnu par la méthode car l'indicateur qui le caractérise est très élevé.

Seulement 4 des 29 surfaces localisées en-dehors d'un glissement supposé ont un indicateur de probabilité d'existence très élevé. Les indicateurs qui caractérisent ces surfaces sont le plus souvent assez faibles (de 1 à 3 indicateurs seulement). Ils montrent bien une probabilité d'existence mais avec les moyens dont nous disposons, nous ne pouvons en aucun cas le confirmer. Il faudrait retourner sur le terrain pour savoir si les résultats concordent avec la réalité.

Par contre, nous n'avons créé aucune typologie, que ce soit en rapport avec l'âge des escarpements, ou en rapport avec la profondeur de la marque laissée par la présence d'un glissement de terrain puisque le but est de constater les résultats de la superposition de différents indicateurs et non, pour l'instant, d'essayer de replacer les glissements de terrain dans l'ordre chronologique de leur apparition (ce qui pourrait, par contre, être fait dans le cadre d'une autre étude, une thèse par exemple!).

Pour finir sur les commentaires d'ordre techniques, on se doit d'insister sur la manière dont a été réalisée la carte. En effet, on a décidé que dans le cas d'un glissement supposé, on considèrerait comme représentatif de ce glissement l'indicateur le plus élevé. Mais, on aurait aussi pu faire une moyenne ou bien conserver les indicateurs tels quels. Dans ce dernier cas, les glissements de terrain n'aurait pas eu un indicateur uniforme. Une dernière visite sur le terrain aurait pu nous guider quant au choix à faire.

2. Les commentaires géographiques :

Le secteur choisi pour l'essai méthodologique est particulièrement instable. Deux éléments permettent ici de le confirmer :

- le nombre d'escarpements repérables à la photo-interprétation,
- le nombre de surfaces qui ont servi à la superposition des différents indicateurs de glissements.

Deux sites ressortent particulièrement pour leur instabilité :

- le versant du Bois Noir en rive gauche du Riou Versant avec de nombreux glissements dont l'activité n'est plus à démontrer comme le glissement de Serre Maurin, celui de Serre Corbeau, celui des Tuisses qui avait englouti la cabane d'un berger il y a quelques années, et le glissement du Bois Noir qui a détruit une partie du chemin au niveau duquel passait le ravin du même nom.

- la proximité du torrent de Poche. Le glissement de terrain dit "de Poche" apparaît très nettement ainsi que le glissement supposé n°3 qui a été photographié en 1922 par l'Administration des Eaux et Forêts et dont le commentaire était "berge en glissement".

Toute la zone entre le torrent de Poche et le torrent de la Frache est instable. La carte réalisée le démontre bien.



Photo 11 : couronne du glissement de Poche



Photo 12 : partie chahutée entre le torrent de Poche et le torrent de la Frache

En-dehors de ces zones, deux glissements se caractérisent par une certaine activité. Ce sont :

- le glissement de Lans (n°27) : son activité est démontrée par l'état de la route de la Cîme de la Bonette à ce niveau, et par l'état des chalets des "Cocody" au même endroit.
- le glissement de la Chalannette (n°28) : à cette hauteur, la route de la Bonette semble un peu détériorée mais c'est surtout le chemin carrossable qui longe la route en contrebas qui semble le plus affectée (voir la carte «**état des routes**»).

La superficie totale des surfaces en-dehors des glissements supposés n'est pas très grande. Seuls les alentours du Bois Noir semblent affectés. On relève à ce sujet que la succession des indicateurs dans cette zone est très logique : l'indicateur est élevé aux alentours des glissements 19 et 20. Plus on s'en éloigne, plus les indicateurs sont faibles. A noter également que les surfaces se situent le plus souvent à proximité d'un glissement supposé (ou certain ou le sait maintenant), ou le long d'un torrent. On peut citer en exemple la rive gauche du torrent d'Abriès de part et d'autre du glissement de Lans (n°27), la rive droite du Riou Versant en amont et en aval du glissement n°28 dit de la Chalannette, des deux côtés du torrent de Clapouse, etc...

Si on compare avec les résultats du mémoire de maîtrise «Repérage d'anciens glissements de terrain dans le Bassin de Barcelonnette d'après la photo-interprétation, l'étude des cartes et les vérifications sur le terrain» effectué sur le même secteur (à la différence près que celui-ci était deux fois plus grand), on constate que les glissements de terrain sont les mêmes. Ceci est normal puisque les photographies aériennes utilisées sont les mêmes (voir références dans la bibliographie). Seuls les résultats ne sont pas tout à fait identiques. Une grande différence réside dans le fait qu'à l'époque, on ne s'était pas intéressés à tout ce qui était en-dehors des limites du glissement de terrain qu'on avait localisé.

Une deuxième différence existe dans le détail des résultats trouvés, ce qui est normal puisque les indicateurs utilisés ne sont pas tous les mêmes.

Une grande similitude apparaît toutefois : la probabilité d'existence des glissements de terrain dans ce secteur est très grande quelque soit l'étude réalisée ce qui confirme bien certaines vérités terrain.

3. Les problèmes rencontrés

3.1. Les problèmes rencontrés lors de l'acquisition des données :

La méthodologie décrite dans le chapitre III «l'étude des différents indicateurs» est valable dans la théorie. Dans la pratique, elle se heurte à un certain nombre de problèmes issus du repérage par photo-interprétation et du travail sur le terrain.

a) Les photographies aériennes :

Suivant la taille des photographies aériennes, il est impossible de localiser les points d'eau ou les "sagnes" dont la taille dépasse rarement 2m de diamètre. Les endroits les plus humides n'ont donc pu être repérés que par zones entières.

Des difficultés apparaissent lorsqu'on veut localiser les zones humides sous couvert forestier. Pour remédier à cela, on signale sur la même carte la végétation de feuillus car elle exige en règle générale beaucoup plus d'eau. Les principales zones humides localisées sur la carte sont donc des zones de prairies, de prairies arborées, autrement dit les zones à découvert.

De la même façon que les points d'eau et les "sagnes", les fissures ne sont pas décelables à l'échelle des photos aériennes. Lorsque la forêt recouvre le sol, il n'est plus du

tout possible de les repérer et ceci quelle soit la taille des photographies aériennes. dans le cas présent, quelques zones de fissures ont cependant pu être localisées directement sur le terrain.

Les bossellements sont difficilement visibles à partir du moment où la forêt les recouvre. Néanmoins, ces bossellements apparaissent quelque peu lorsque les arbres qui les recouvrent sont de tailles homogènes. Pour s'en assurer, on sélectionne quelques endroits qui nous permettent d'obtenir des confirmations de terrain.

ex : près du Serre Corbeau,
en direction du torrent de Poche,
vers le torrent Claret.

b) Les problèmes rencontrés sur le terrain :

Ils sont la plupart du temps en rapport avec l'accessibilité à certains sites. En effet, 2 éléments défavorables interviennent principalement :

- les forêts ou les taillis qui sont parfois difficiles à traverser à cause d'un sous-bois souvent riches en ronces ou autres épineux;

- la raideur de certaines pentes, comme les bas de versants ou le long des torrents. Il est par exemple impossible de traverser le torrent de la Frache sauf aux alentours du cône de déjection. Idem pour le torrent de Poche. Tous deux évoluent dans les marnes noires refaçonnées en ravines par le ruissellement.

Cette inaccessibilité pose ainsi des problèmes dans la détection des fissures, et secondairement des zones humides et des feuillus (puisque'il existe d'autres sources d'information).

Malgré toutes ces contraintes, six cartes ont pu être dressées. Chacune représente un thème sauf une carte qui localise à la fois les zones de feuillus et les zones humides.

3.2. Les problèmes rencontrés avec la mise en place de la méthodologie:

Ce sont principalement de problèmes d'ordre technique. Par exemple, la carte de l'état des routes n'a pu être utilisée de la façon escomptée puisqu'elle contient, comme nous l'avons déjà dit, une information de type linéaire non superposable aux autres données. Seules, les surfaces le long des routes et des voies carrossables auraient pu bénéficier de cette information. De plus, la mairie n'a pu nous donner les renseignements demandés dans la mesure où il n'existerait pas de rapports ou de demandes pour les petits travaux d'entretien des routes et des voies carrossables (déblais au bulldozer, entretien des caniveaux par les cantonniers) ! Cependant, nous avons appris qu'un programme de restauration de la route menant à la cime de la Bonette a été mis en place et qu'il en est à sa dixième tranche. Ce programme a pour but, non seulement de remettre la route en état mais aussi de l'élargir, semble-t-il pour y faire passer des autocars !!! Ce programme concerne plusieurs communes dont Jausiers dans les Alpes de Haute Provence. L'intégralité du dossier se trouve au SIVU à Saint Etienne de Tinée. Il n'y a, en effet, aucun dossier à la DDE étant donné que la route dépend de la commune et non pas du département. Par manque de temps, ce dossier n'a pu être consulté.

Un autre problème technique s'est présenté à nous : l'outil informatique aurait dû nous servir pour la superposition des indicateurs. En effet, en transposant, grâce à un scanner les différentes cartes représentant ces indicateurs sur un ordinateur, on aurait facilement pu les superposer deux à deux ou même trois à trois grâce à un simple couper/coller pour procéder aux mêmes opérations qu'avec les transparents. Malheureusement, par manque de temps et de matériel, des cartes à la hauteur de nos ambitions n'ont pu être réalisées. Un extrait de ce qui a été fait est néanmoins consigné ci-dessous. Le principal problème réside dans la résolution utilisée pour scanner la carte et dans les logiciels de finition disponibles.

LOCALISATION DES ESCARPEMENTS ET DES FLANCS

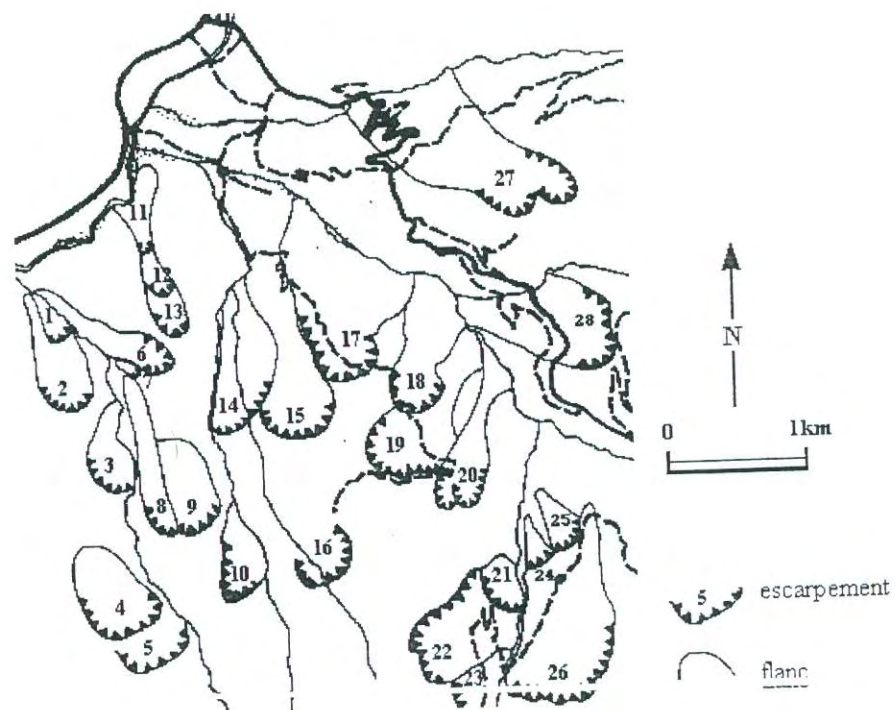


Figure 18 : essai de mauvaise qualité au scanner

Le repérage des glissements de terrain n'est donc pas une étape aisée. La méthode semble convainquante mais elle serait à retoucher encore une fois avec des indicateurs plus nombreux encore.

Avec un peu de recul, il s'avère que, même si la région de Barcelonnette est l'endroit idéal pour étudier tout ce qui est glissement de terrain, le site expérimental était peut-être mal choisi étant donné qu'il rassemble de nombreuses zones inaccessibles (ce qui peut se montrer dangereux pour une personne qui se trouve seule dans la montagne) ainsi que de nombreux secteurs totalement recouverts par la forêt ce qui complique beaucoup la photo-interprétation. Un site plus aisé à étudier aurait dû être choisi de manière à pouvoir mieux apprécier les résultats de la méthode expérimentée.

Néanmoins, il se trouve qu'elle soit réutilisable facilement et ceci sur n'importe quel site puisqu'il n'y a ni contrainte d'espace, ni contrainte de temps.

Conclusion

Les espoirs que l'on a mis dans l'élaboration d'une méthodologie concernant le repérage de glissements de terrain anciens à l'aide d'indicateurs superposés les uns aux autres semblent être récompensés. Une carte ayant pour but de faire ressortir les zones sensibles a pu être établie grâce à la superposition systématique des différents indicateurs précités.

L'intérêt serait à présent de poursuivre la recherche en élargissant le nombre d'indicateurs d'une part, et en agrandissant la surface d'étude d'autre part.

D'un premier abord, la détection de glissements de terrain anciens peut sembler inutile. En fait, elle est à la base de toute étude se rapportant à ces phénomènes car il faut connaître le passé pour étudier le présent ou l'avenir ; on étudie le passé en recherchant des documents anciens (la meilleure source d'informations étant sans aucun doute les archives) et en consultant des photographies aériennes (en utilisant plusieurs indicateurs, le risque de se tromper s'amenuise).

Une étape supplémentaire serait maintenant de confronter les résultats obtenus dans le cadre de ce mémoire aux résultats que donnent la recherche dans les archives et le traitement de ces données. Il faut bien savoir cependant que suivant les endroits étudiés, les glissements et les mouvements de terrain en général ne laissent pas de traces écrites car ils n'intéressent pas toujours les populations. Par exemple, on a très peu de références sur le glissement de Poche étant donné sa situation (dans notre secteur d'étude) exceptée une ou deux communications comme celle trouvée dans les Délibérations du Conseil Général du 9 septembre 1925 où M. Paul Reynaud rapporte : "le glissement qui s'opère est encore, pour l'instant, assez lent. Mais des quartiers de marnes se délitent de plus en plus et peut-être, un jour, l'ensemble ne constituera-t-il alors qu'une formidable vague de boue qui pourra, plus ou moins rapidement, déferler vers l'Ubaye."

On peut se demander si ces recherches sont réellement nécessaires. La réponse est oui si des populations ou des biens sont concernés. Cette même réponse est plus nuancée s'il n'y a personne. Ces recherches n'ont alors d'autres fins que d'être expérimentales.

Bibliographie

Ouvrages et articles :

AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY (1960), "Manual of Photographic Interpretation", Washington D.C., 868p.

ANGELIDIS C. (1987), "The distribution of flysch in Greece, types of landslides and consequences in urban areas", *ANZSLIDES. 5th IFCL*, Christchurch, New Zealand, pp. 87-91.

ARNAUD F. (1898), "Documents et notices historiques sur la vallée de Barcelonnette ; Notice historique sur les torrents de la vallée de l'Ubaye", Imprimerie Chaspoul et V^e Barbaroux, Digne, 200p. env. (Laffite reprints, Marseille 1979).

AUGIER C./REBMANN T. (1990), "Etude et cartographie géomorphodynamique des risques naturels dans la commune d'Enchastrayes", Mémoire de Maîtrise, UFR de Géographie, Strasbourg, 185p.

AVIAS J. (1984), "Sur la méthodologie de prévision et de prévention des risques liés aux mouvements de terrain d'origine principalement hydrique", *Mouvements de terrain : Colloque de Caen*, Document du BRGM N° 83, Orléans, pp.299-307.

AVOCAT C. (1978), "Mutations contemporaines dans les vallées des grandes Alpes ensoleillées", *BAGF*, Paris, n°453, pp. 179-185.

AVOCAT C. (1979), "Montagnes de lumière" Villeurbanne.

BARBIER B. (1982), "L'impact des activités humaines (sports d'hiver) sur le milieu montagnard", *BAGF*, Paris, n°485-486, pp. 121-124.

BAUBY Ph. (1924), "Le reboisement en Provence (Basses Alpes : Ubaye...)", *Revue des Eaux et Forêts*, n°LXII, pp.357-361.

BOCQUET F. / CHARRE J.P. (1984), "Carte intégrée du danger en montagne : méthode d'évaluation et d'introduction des données naturelles et socio-économiques", *Mouvements de terrain : Colloque de Caen*, Document du BRGM N° 83, Orléans, pp.131-140.

BOUVET J. (1982), "Mémoires de l'Ubaye", Imprimerie L.Esmenjaud, Gardanne, 52p.

BOUVET J. (1986), "Visages de l'Ubaye", Imprimerie L.Jean, Gap, 56p.

CARTON A./ PELFINI M. (Octobre 1988), "Forme del paesaggio d'alta montagna", Zanichelli, stampato a Bologna dalla Lito Book, 134 p.

CHEVALLIER F. (1971), "Photographie aérienne", A.Colin, Paris, 240p.

CHONDROYANIS P., "La vallée des torrents", Digne, plaquette 9p.

CHONDROYANNIS P. (1992), "Ubaye, la forêt reconstruite ; le sentier de découverte du Riou Bourdoux", L. Esmenjaud, Gardanne, 112p.

Chronique (1992-1993), "La carte de localisation probable des avalanches et sa rénovation", *Revue géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest*, Toulouse, Tome 63, Fasc. 1, pp.97-112.

COJEAN R. / GAUTIER P. (1984), "Elaboration de cartes de sensibilité aux mouvements de terrain pour l'établissement de plans d'exposition aux risques (Decazeville-Aveyron)", *Mouvements de terrain : Colloque de Caen*, Document du BRGM N° 83, Orléans, pp.153-161.

COLAS G./ PAYNY M./ BLONDEAU F. (1981), "Etude des glissements de terrain survenus dans la commune du Beausset, Var, France" Bulletin de liaison des laboratoires des Ponts et Chaussées, Risques géologiques/ Mouvements de terrain 26ème congrès géologique international, Paris, pp.71-80.

COMBES F. (1989), "Restauration des terrains en montagne : du rêve à la réalité", *Revue Forestière Française*, XLI, pp.91-105.

COUZY A. (1981), "La télédétection", PUF, Paris, 128p.

DE REPARAZ A. (1980), "Morphogénèse et évolution des paysages dans les Alpes de Haute Provence depuis le Tardiglaciaire", *BAGF*, Paris, n°472, pp.295-304.

DE VILLENEUVE-BARGEMONT (1815), "Voyage dans la vallée de Barcelonnette, département des Basses Alpes", R. Noubel, Agen, 164p. (Laffite reprints, Marseille 1979).

DUMAS B. / GUEMERY P. / LHENAFF R. / RAFFY J. (1984), "Mouvements de terrain et risques associées : présentation d'un essai cartographique", *Mouvements de terrain : Colloque de Caen*, Document du BRGM N° 83, Orléans, pp.163-171.

DURBIANO C. / DE REPARAZ A. (1983), "Espace rural et restauration foncière dans la moyenne montagne et les plateaux de Haute-Provence", *BAGF*, Paris, n°497-498, pp.261-268.

E.J. (fév 1994), "Restauration des terrains en montagne : lutter contre l'érosion", n°9, pp.31-35.

ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE, PROJET D'ÉCOLE (juin 1985), Détection et Utilisation des Terrains Instables (DUTI), rapport final (rapport général), Lausanne, 240 pages.

ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE, PROJET D'ÉCOLE (mai 1984), Détection et Utilisation des Terrains Instables (DUTI), rapport d'activité à fin 83, Lausanne, 140 pages.

EISENMENGER G./CAUVIN C. (1914), "La Haute Provence ; étude de géographie régionale", Imprimerie P. Jacques, Aix-les-Bains, 250p.

EVIN M. (1990), "Le glissement de la Valette (Barcelonnette)", *BAGF*, n°2, pp.149-158.

FANTHOU T./GAMBIER G.(1991), "un atlas des risques majeurs dans les Hautes-Alpes", *BAGF*, Paris, 68^{ème} année-n°3, pp.205-210.

FANTHOU Th /KAISER B. (1990), "Evaluation des risques naturels dans les Hautes-Alpes et la Savoie. Le recours aux documents d'archives et aux enquêtes", *BAGF*, Paris 67^{ème} année-n°4, pp.323-341.

FLAGEOLLET J.C. (1988), "Les mouvements de terrain et leur prévention", Masson, Collection Géographie, Paris, 224p.

FORT M.B. / WHITE P.G. / SHRESTHA (1984), " 1:50 000 geomorphic hazards mapping in Nepal ", *Mouvements de terrain : Colloque de Caen*, Document du BRGM N° 83, Orléans, pp.185-194.

GAGNON H. (1971), " La photo aérienne dans l'étude du glissement de terrain de Saint-Jean Vianney ", *Géoscope*, vol II n°2, pp.41-54.

GAGNON H. (1972), " La photographie aérienne dans les études de glissements de terrain ", *Revue de Géographie de Montréal*, vol 26, pp.381-406.

GAUTIER E. (1994), " Permanence de la structure du paysage d'une commune du pays des 'Terres Noires' de 1835 à nos jours : l'exemple de Savournon (Hautes-Alpes) ", *BAGF*, Paris, 71^{ème} année-n°1, pp.36-51.

GISPERT. C.M. (1992-1993), " Les risques naturels dans les Pyrénées Orientales : de l'inventaire au zonage, question d'échelle et de méthode ", *Revue géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest*, Toulouse, Tome 63, Fasc. 1, pp.7-32.

GOGUEL J./ PACHOUD A. (1981), " Les mouvements de terrain du versant sud du massif de Platé ; Haute Savoie, France " Bulletin de liaison des laboratoires des Ponts et Chaussées, Risques géologiques/ Mouvements de terrain 26ème congrès géologique international, Paris, pp.15-26.

HAWKING A.B. (1987), " Slopes of south Cotswolds ", *ANZSLIDES. 5th IFCL*, Christchurch, New Zealand, pp. 129-136.

JORDA M. (1983), " Eboulis et glaciers rocheux ", *BAGF*, Paris, n°491, pp.15-24.

JOURNAUX A. (1978), " Eboulements, ravinements et mouvements de masse dans la Serra Do Mar (Brésil) " *BAGF*, Paris, n°450, pp. 75-81.

JULIAN M. (1978), " Les risques contemporains dans les vallées étroites des Alpes Maritimes ", *BAGF*, Paris, n°450, pp. 193-197.

JULIAN M. / J. MARTIN (1982), " Risques naturels et catastrophes ", *BAGF*, Paris, n°485-486, pp.295-304.

KIENHOLZ H. (1984), " Landslide hazard assesment for landslide zonation ", *Mouvements de terrain : Colloque de Caen*, Document du BRGM N° 83, Orléans, pp.317-326.

KIENHOLZ H./ SCHNEIDER G./ BISCHER M./ SAMARASENA U. (1987), " Landslide hazards in the mountain region of Sri Lanka, *ANZSLIDES. 5th IFCL*, Christchurch, New Zealand, pp. 243-252.

KIRCHHOFFER S. (1994), " Végétation arborée et mouvements de terrain dans le secteur de la Frache ", Mémoire de Maîtrise, UFR de géographie, Strasbourg, 132p.

KOEHLER G. (1994), " Cartographie géomorphodynamique d'un versant instable (Poche, Bois Noir, La Frache) ", Mémoire de Maîtrise, UFR de géographie, Strasbourg, 99p.

LEGIER A. (1977), " Mouvements de terrain et évolution récente du relief dans la région de Barcelonnette ", Thèse, Université de Grenoble, 163p.

LEONE F. / ASTE J.P. / LEROI E. (1996), " L'évaluation de la vulnérabilité aux mouvements de terrain : pour une meilleure quantification du risque ", *Revue de Géographie Alpine*, Grenoble, Tome 84 n°1, pp.9-21.

MAC CALPIN J. / RICE J.B. (1984), " Spatial and temporal analysis of 1200 landslides in a 900 km² area, Middle Rocky Mountains Wyoming USA " *ANZSLIDES. 5th IFCL*, Christchurch, New Zealand, pp. 137-146.

MASSEPORT J. (1972), " Le flysch de l'Embrunais-Ubaye ", *RGA*, n°LX, pp.387-389.

MEYZENC C. (1984), " Hautes Alpes, Ubaye, Haut-Drac, Préalpes Drômoises. Pays de ransition entre Alpes du Nord et Alpes du Sud ", Edition OPHRYS, Gap, 954p.

MINISTERE DE L'ENVIRONNEMENT, " Mesures de prévention, mouvements de terrain " PER.

MOUGIN P. (1931), " La restauration des Alpes ", Ministère de l'agriculture/ Direction générale des Eaux et Forêts/ Eaux et génie rural, Paris, Imprimerie Nationale, 583p.

NEBOIT-GUILHOT (1990), " Les contraintes physiques et la fragilité du milieu méditerranéen ", *Annales de Géographie*, Paris, n°551, pp.1-20.

NOVERRAZ F. (1984), " Cartographie des glissements de terrain : méthode de levé ; objectif et fonction des cartes d'instabilité ", *Mouvements de terrain : Colloque de Caen*, Document du BRGM N° 83, Orléans, pp.217-223.

PACHOUD A. (1981), " Influence de la disparition de l'activité agricole traditionnelle sur la stabilité des pentes en montagne " *Bulletin de liaison des laboratoires des Ponts et Chaussées, Risques géologiques/ Mouvements de terrain 26ème congrès géologique international*, Paris, pp.49-53.

PECH P. (1988), " Méthode statistique pour la cartographie des zones exposées à des risques (l'exemple de l'Ossola-Italie du Nord-46°N) " *Revue de Géomorphologie Dynamique*, Tome XXXVII,?, pp.49-59.

PIGEON P. (1985), " Géomorphologie et évolution récente d'un versant en glissement sur la commune de Vailly-Lullin. Apports de la photo-interprétation " *Photo-interprétation*, n°6 fascicule 4, Edition Technip, Paris XVème, pp. 35-43.

QUINTLE L. (1995), " Repérage des anciens glissements de terrains dans le bassin de Barcelonnette, d'après la photo-interprétation, l'étude de cartes... Vérifications sur le terrain (secteur sud Jausiers/Enchastrayes) ", Mémoire de Maîtrise, UFR de géographie, Strasbourg, 107p.

SCHNEEGANS D. (1938), " Ministère des travaux publics : mémoires pour servir à l'explication de la carte géologique détaillée de la France. La géologie entre la Durance et l'Ubaye ", Imprimerie Nationale, Paris, 339p.

SHIMIZU F.S. (1987), " Significance of the fossil periglacial slopes in a generation of the large-scale landslide in the Northern Japan Alps " *ANZSLIDES. 5th IFCL*, Christchurch, New Zealand, pp. 157-164.

SPAGNA V. (1984), " Stabilité des terrains et cartographie géotechnique pour l'aménagement du territoire au niveau communal dans la région de la Vénétie (Nord-Est de l'Italie) ", *Mouvements de terrain : Colloque de Caen*, Document du BRGM N° 83, Orléans, pp.234-245.

TAKESHITA K. (1987), " Geomorphological relation between the vicissitudes of forest circumstances and the occurrence of landslides ", *ANZSLIDES. 5th IFCL*, Christchurch, New Zealand, pp. 257-262.

TINCHANT F.(mai 1980), " Un siècle de protection de la nature en Ubaye ", Digne, plaquette 9p.

TRICART J. (1958), " Etude de la cure de la mi-juin 1957 dans les vallées du Guil, de l'Ubaye et de la Cerveyrette et des aspects géomorphologiques de leur reconstruction-1ère partie ", Imprimerie Allier, Grenoble, 68p.

TRICART J. (1958), " Les modalités de la morphogénèse de la crue dans le lit du Guil au cours de la crue de la mi-juin 1957 ", *Extrait de la publication n°53 de l' A.I.H.S. Commission d'Erosion Continentale*, pp. 65-73.

VANDEMOORTELE D. (1990), " Ubaye ", Conseiller Bernard Giacometti, 66p.

VEYRET P. (1964), " Une thèse de géologie sur la Haute-Ubaye ", *RGA*, n°LII, pp.367-369.

VEYRET P. et G. (1970), " Les grandes Alpes ensoleillées ", Edition Arthaud, Grenoble, 130p.

VIERS G. (1967), " Géographie zonale des régions froides et tempérées ", Fernand Nathan, Paris, 204p.

WAY D.C. (?), " Terrain analysis (Second Edition). Community development series ", Dowden, Hutchinson et Ross Inc, Stroudsburg, Pennsylvania, 438 p.

Documents divers :

Carte topographique Jausiers-Le Sauze, *IGN 3539 au 1/25 000 (1991)*.

Carte géologique Barcelonnette au 1/50 000, *BRGM XXXV-39 (1974)*.

Carte géomorphodynamique d'Enchastrayes au 1/10 000 *Mémoire de maîtrise, UFR de Géographie, Strasbourg (1990)*.

Photographies aériennes 3539 3639 300 mission Barcelonnette-Larche (1988) voir tableau d'assemblage

Photographies anciennes du fond photographique du RTM de Digne et de l'ONF de Barcelonnette

Remerciements

Un mémoire se constitue très rarement seul(e). Il nécessite le plus souvent l'aide, l'intervention ou tout simplement la gentillesse de personnes annexes que je vais tâcher d'énumérer ci-dessous.

Je remercie donc :

- M. Flageollet d'avoir été mon directeur de mémoire et de m'avoir donné les moyens de mener à bien ce travail,
- toutes les personnes qui l'entourent au CERG,
- A.R.Cloots d'avoir bien voulu accepter d'être mon deuxième jury,
- F.Combes de nous avoir accueillies (Alexia et moi) chez lui pour nous parler des glissements de terrain de la vallée,
- M. Borelli et M.André de m'avoir accueillie à l'ONF de Jausiers, de m'avoir donné un si grand nombre de renseignements et d'avoir mis à ma disposition des photographies aériennes,
- les administrations de la vallée que j'ai pu consulter :
 - *la mairie de Jausiers
 - *la mairie d'Enchastrayes
 - *la sous-préfecture de Barcelonnette
 - *l'ONF de Barcelonnette (et de m'avoir permis de reproduire des photographies anciennes)
 - *la DDE de Barcelonnette...(je m'excuse si j'ai pu en oublier)
- le RTM de Digne pour les photographies anciennes de la vallée de Barcelonnette que j'ai pu photocopier,
- Alexia et Gérard d'avoir été présents sur le terrain,
- Nathalie et J.François Kieffer pour avoir mis à ma disposition leur matériel informatique,
- mes parents pour m'avoir prêté leur voiture et pour m'avoir soutenue financièrement et moralement tout au long de cette année,
- tous mes amis qui ont été là pour moi et en particulier un qui se reconnaîtra peut-être.

Annexes

Sommaire :

Annexe 1 : présentation du secteur et localisation des photographies

Annexe 2 : tableau de superposition des indicateurs

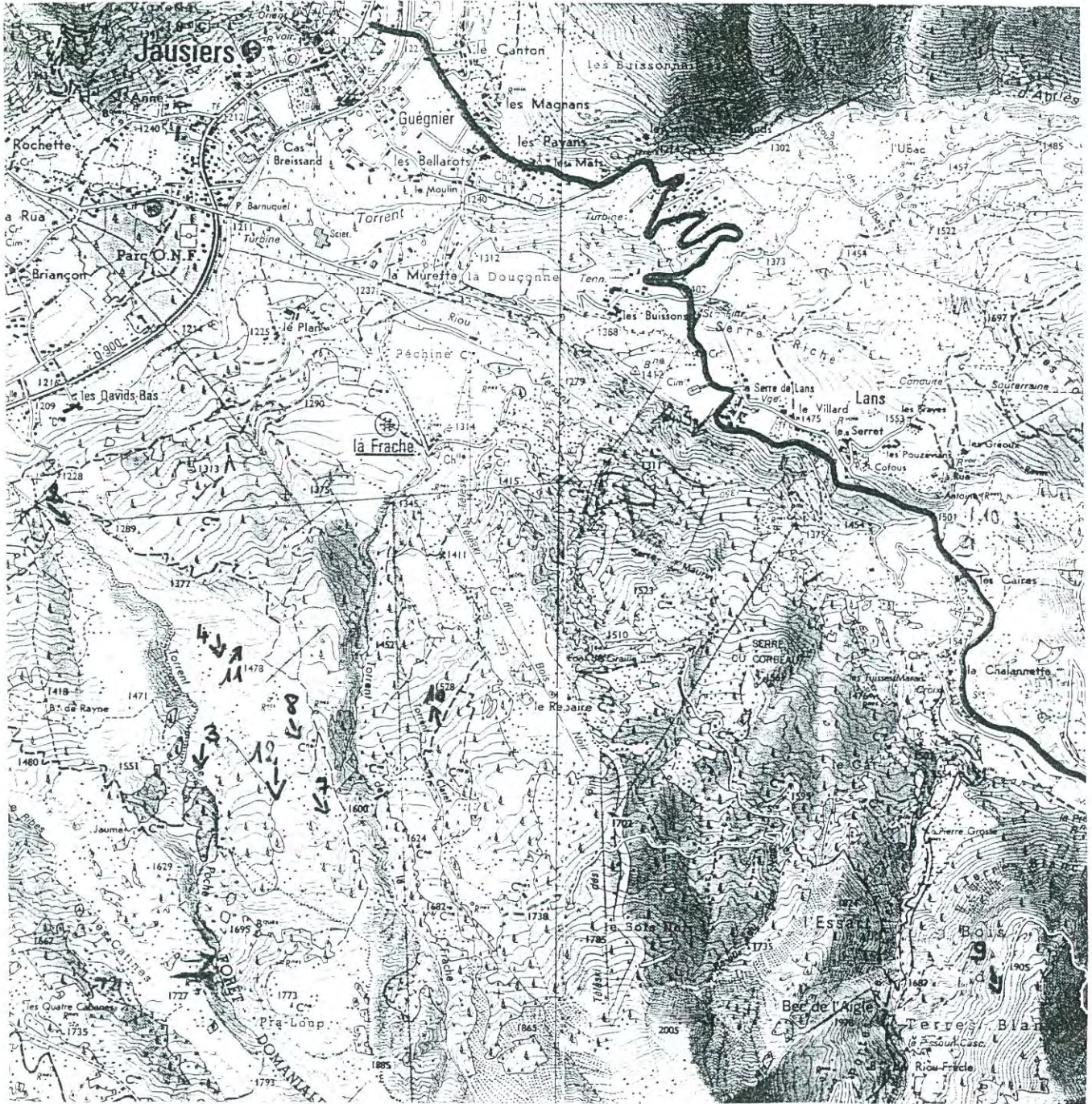
Annexe 3 : tableau final des indicateurs

Annexe 4 : les supports sur transparents :

- carte de localisation
- localisation des zones servant à la superposition des cartes
- localisation des escarpements et des flancs
- état des routes
- localisation des zones de bossellements
- localisation des espèces d'arbres feuillus et des zones humides
- zones d'arbres perturbés
- perturbations dans le réseau hydrographique

Annexe 1

PRESENTATION DU SECTEUR ET LOCALISATION DES PHOTOGRAPHIES



L. QUINTLÉ

Annexe 2 «tableau de superposition des indicateurs»

Type de superposition	Zone	Arbres perturbés (AP)	Bosselle-ments (B)	Zones humides (ZH)	Réseau hydrographique (RH)	Etat des routes (ER)	Escarpe-ment (E)	indicateur final d'activité
AP + B	a	oui	oui	oui				3
	b	oui	oui	oui	oui(1)		1 2	5
	c	oui	oui	oui	oui(3)		7 + 8	5
	d	oui	oui	oui	oui(5)		3	5
	e	oui	oui	F			1 4	4
	f	oui	oui	oui			9	4
	g	oui	oui				1 7	3
	h	oui	oui	FC			1 8	4
	i	oui	oui	oui +FC	oui(4)		2 0	6
	j	oui	oui	FC				3
	k	oui	oui	oui+F			2 8	5
	l	oui	oui	oui			2 7	4
	m	oui	oui	oui+F	oui(2)		2 7	5
	n	oui	oui				2 7	3
	o	oui	oui		oui(6)			3
	p	oui	oui			oui		3
	q	oui	oui	F				3
	r	oui	oui	oui	oui(6)		1 0	5
	s		oui	drain	oui(5)		2 7	4
	t	oui	oui					2
B+ZH	u	oui	oui	oui	oui(2)			4
	v	oui	oui	oui	oui(6)		8 + 9	5
	w	oui	oui	oui	oui(2)		8	5
	x		oui	oui	oui(5)		1 6	4
	y		oui	oui+FC	oui(5)		1 8	5
	z		oui	oui+F	oui(5et6)		1 5	5
	aa			oui+F	oui(2)		1 4	4
	ba		oui	oui+F			1 5	4
	ca		oui	F			1 9	3
	da	oui	oui	oui+FC			1 8	5
	ea		oui	F			1 7	3
	fa		oui	oui+F		oui	1 5	5
	ga	oui	oui	oui			1 3	4
	ha			oui+F	oui(5)		1 7	4
	ia	oui	oui	oui+F	oui(6)			5
	ja	oui	oui	F	oui(2)		1 4	5
AP+ZH	ka	oui	oui	oui+F		oui	2 8	6
	la	oui		oui+F				3
	ma	oui	oui	oui	oui(2)		1 6	5
	na	oui		oui	oui(2)		1 6	4
	ca	oui		oui	oui(6)		1 7	4
	pa	oui	oui	oui	oui(4et5)		2 0	5
	qa	oui		oui+F				3
	ra	oui		oui	oui(5)			3

	sa	oui	oui	oui				3
	ta	oui	oui	oui	oui(3)	oui		5
	ua	oui		F			1 9	3
	va	oui	oui	F			2 0	4
	wa	oui	oui	F	oui(3)		Bois Noir	5
	xa	oui	oui	drain	oui(5)		1 0	5
	ya	oui		F				2
	za	oui		F		oui		3
	ab	oui	oui	F			1 5	4
	bb	oui	oui	oui+FC			2 7	5
ZH seul	cb			oui				1
	db			F				1
	eb			F	oui(5)			2
	fb			oui	oui(6)		2	3
	gb		oui	oui			1 5	3
	hb	oui					1 6	2
	ib	oui		drain	oui(6)			3
	jb	oui			oui(1)			2
	kb	oui	oui					2
	lb	oui	oui					2
	mb			oui				1
	nb			FC	oui(2)		2 7	3
	ob	oui					1 4	2
	pb			F	oui(5)		1 5	3
	qb	oui	oui	F				3
B seul	rb		oui	drain	oui(3)			3
	sb		oui		oui(5)		2 5	3
	tb		oui			oui	2 8	3
	ub		oui					1
	vb	oui	oui	oui	oui(5)		6	5
	wb		oui		oui(3)		1 1	3
	xb		oui				1 9	2
	yb		oui		oui(5)			2
	zb	oui	oui				1 9	3
	ac		FC					1
	bc		F					1
	cc		F				4	2

Pour les zones de feuillus :

F=zone de feuillus

FC=zone de feuillus avec présence de conifères

Pour les perturbations du réseau hydrographique :

1=modifications dans l'encaissement d'un torrent

2=torrent non-encaissé

3=un drain temporaire qui disparaît

4=marais

5=dissymétrie dans l'encaissement d'un torrent

6=source

Annexe 3 «tableau final des indicateurs»

	Zone	Arbres perturbés (AP)	Bosselle -ments (B)	Zones humides (ZH)	Réseau hydrogra- phique (RH)	Etat des routes (ER)	Escarpe- -ments (E)	indicateur final d'activité
Escarpement 1								
Escarpement 2	fb			oui	oui(6)		2	3
Escarpement 3	d	oui	oui	oui	oui(5)		3	5
Escarpement 4	cc		F				4	2
Escarpement 5								
Escarpement 6	vb	oui	oui	oui	oui(5)		6	5
Escarpement 7	c	oui	oui	oui	oui(3)		7	5
Escarpement 8	w	oui	oui	oui	oui(2)		8	5
	v	oui	oui	oui	oui(6)		8+9	5
Escarpement 9	f	oui	oui	oui			9	4
Escarpement10	r	oui	oui	oui	oui(6)		10	5
	xa	oui	oui	drain	oui(5)		10	5
Escarpement11	wb		oui		oui(3)		11	3
Escarpement12	b	oui	oui	oui	oui(1)		12	5
Escarpement13	ga	oui	oui	oui			13	4
Escarpement14	e	oui	oui	F			14	4
	aa			oui+F	oui(2)		14	4
	ja	oui	oui	F	oui(2)		14	5
	ob	oui					14	2
Escarpement15	z		oui	oui+F	oui(5et6)		15	5
	ba		oui	oui+F			15	4
	fa		oui	oui+F		oui	15	4
	ab	oui	oui	F			15	4
	gb		oui	oui			15	3
	pb			F	oui(5)		15	3
Escarpement16	x		oui	oui	oui(5)		16	4
	ma	oui	oui	oui	oui(2)		16	5
	na	oui		oui	oui(2)		16	4
	hb	oui					16	2
Escarpement17	g	oui	oui				17	3
	ea		oui	F			17	3
	ha			oui+F	oui(5)		17	4
	oa	oui		oui	oui(6)		17	4
Escarpement18	h	oui	oui	FC			18	4
	y		oui	oui+FC	oui(5)		18	5
	da	oui	oui	oui+FC			18	5
Escarpement19	ca		oui	F			19	3
	ua	oui		F			19	3
	xb		oui				19	2
	zb	oui	oui				19	3
Escarpement20	i	oui	oui	oui +FC	oui(4)		20	6
	pa	oui	oui	oui	oui(4et5)		20	5
	va	oui	oui	F			20	4
Escarpement21								

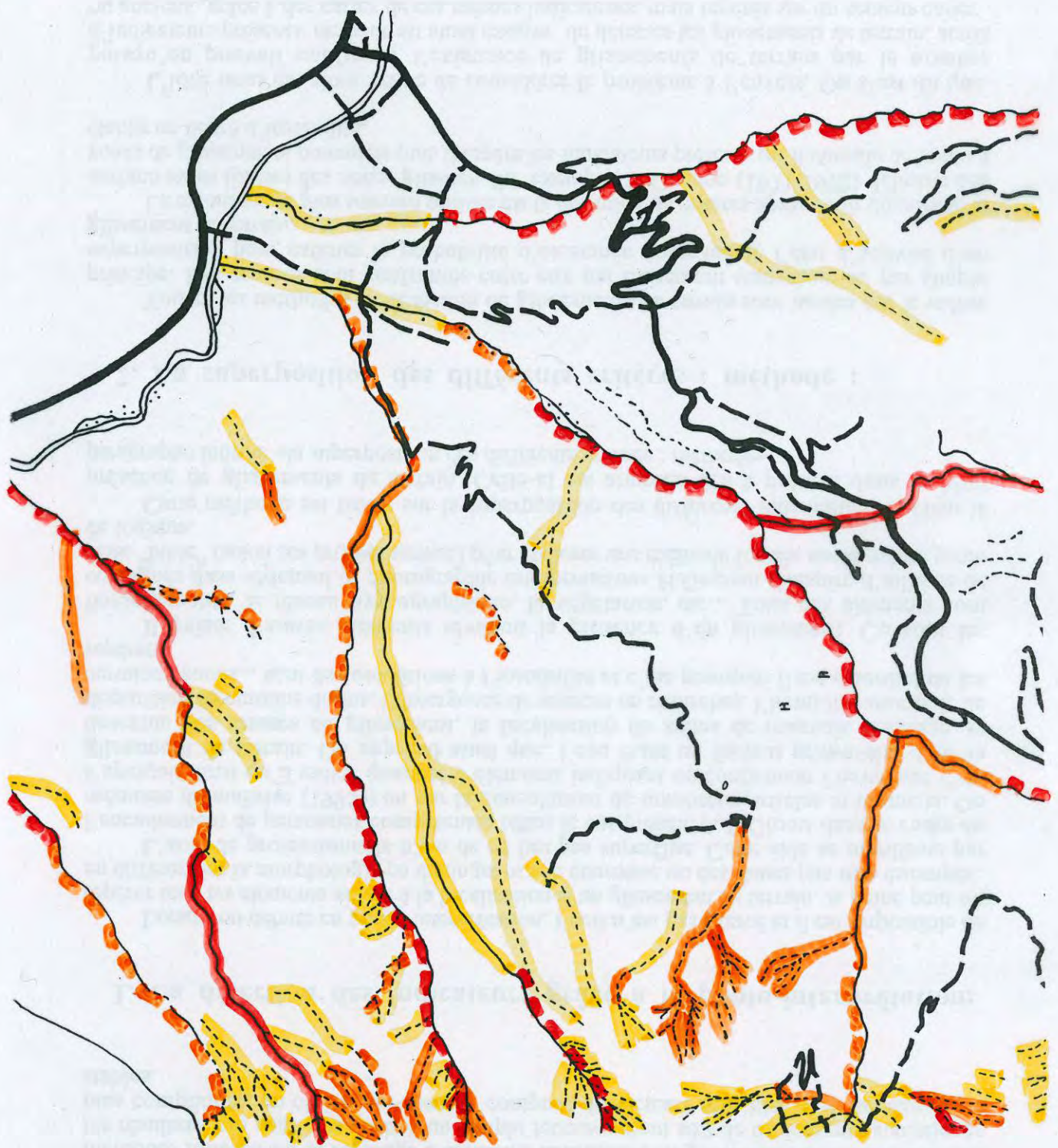
Escarpement22								
Escarpement23								
Escarpement24								
Escarpement25	sb		oui		oui(5)		25	3
Escarpement26								
Escarpement27	l	oui	oui	oui			27	4
	m	oui	oui	oui+F	oui(1)		27	6
	n	oui	oui				27	3
	s		oui	drain	oui(5)		27	4
	bb	oui	oui	oui+FC			27	5
	nb			FC	oui(2)		27	3
Escarpement28	k	oui	oui	oui+F			28	5
	ka	oui	oui	oui+F		oui	28	6
	tb		oui			oui	28	2
Bois Noir	wa	oui	oui	F	oui(3)		BN	5
1	a	oui	oui	oui				3
2	j	oui	oui	FC				3
3	o	oui	oui		oui(6)			3
4	p	oui	oui			oui		3
5	q	oui	oui	F				3
6	t	oui	oui					2
7	u	oui	oui	oui	oui(2)			4
8	ia	oui	oui	oui+F	oui(6)			5
9	la	oui		oui+F				3
10	qa	oui		oui+F				3
11	ra	oui		oui	oui(5)			3
12	sa	oui	oui	oui				3
13	ta	oui	oui	oui	oui(3)	oui		5
14	ya	oui		F				2
15	za	oui		F		oui		3
16	cb			oui				1
17	db			F				1
18	eb			F	oui(5)			2
19	ib	oui		drain	oui(6)			3
20	jb	oui			oui(1)			2
21	kb	oui	oui					2
22	lb	oui	oui					2
23	mb			oui				1
24	qb	oui	oui	F				3
25	rb		oui	drain	oui(3)			3
26	ub		oui					1
27	yb		oui		oui(5)			2
28	ac		FC					1
29	bc		F					1

81 zones

29 zones sont en-dehors d'un glissement supposé

Pour les perturbations du
réseau hydrographique :
1=modifications dans
l'encaissement d'un torrent
2=torrent non-encaissé

PERTURBATIONS DANS LE RESEAU HYDROGRAPHIQUE

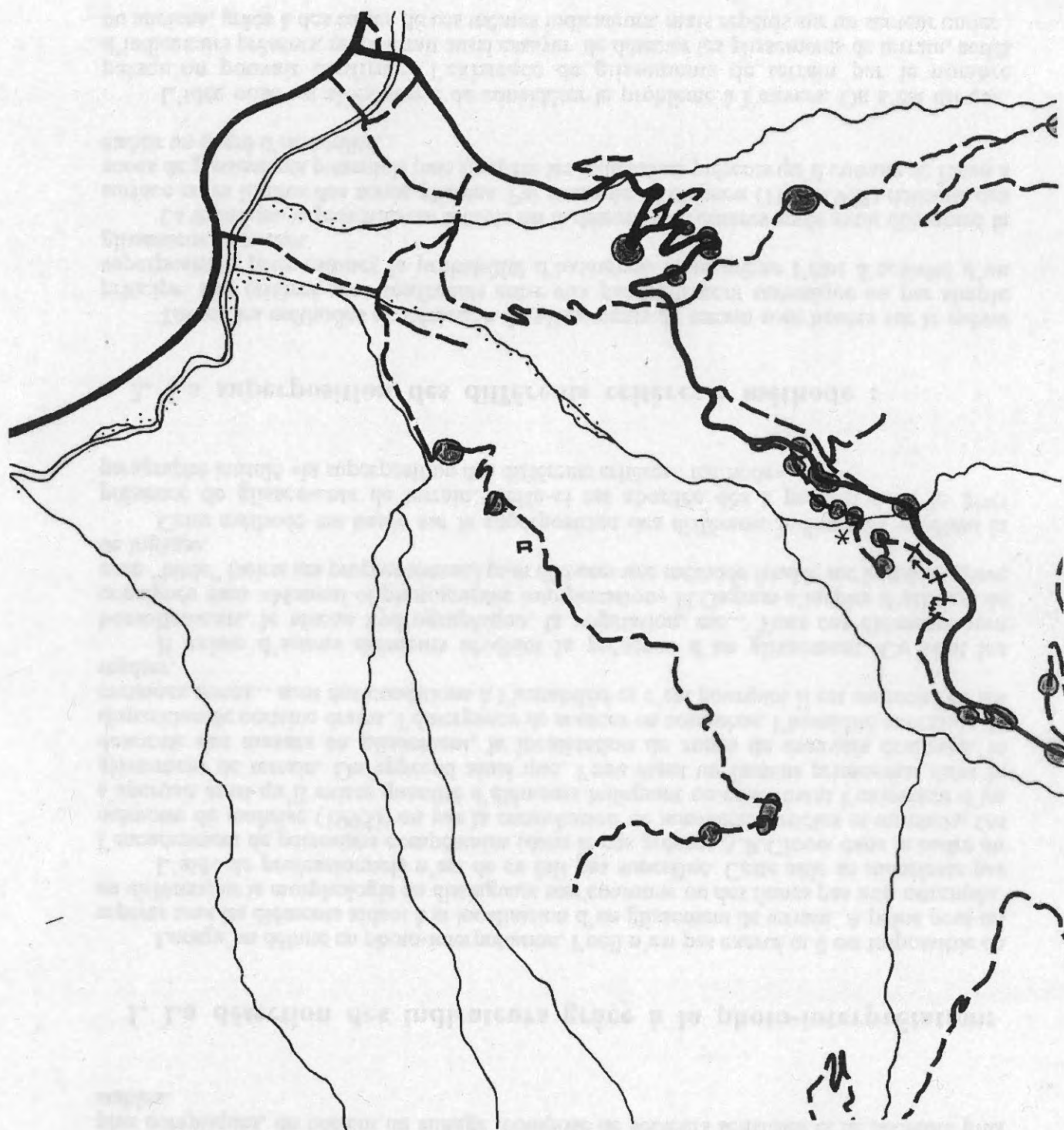


		Degré d'encaissement		
		Profond	Moyen	Faible
Type d'encaissement	Symétrique			
	Dissymétrique rive droite			
	Dissymétrique rive gauche			



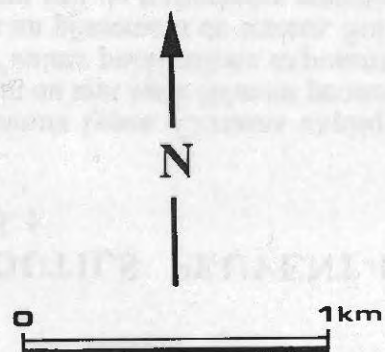
0 1km

ETAT DES ROUTES

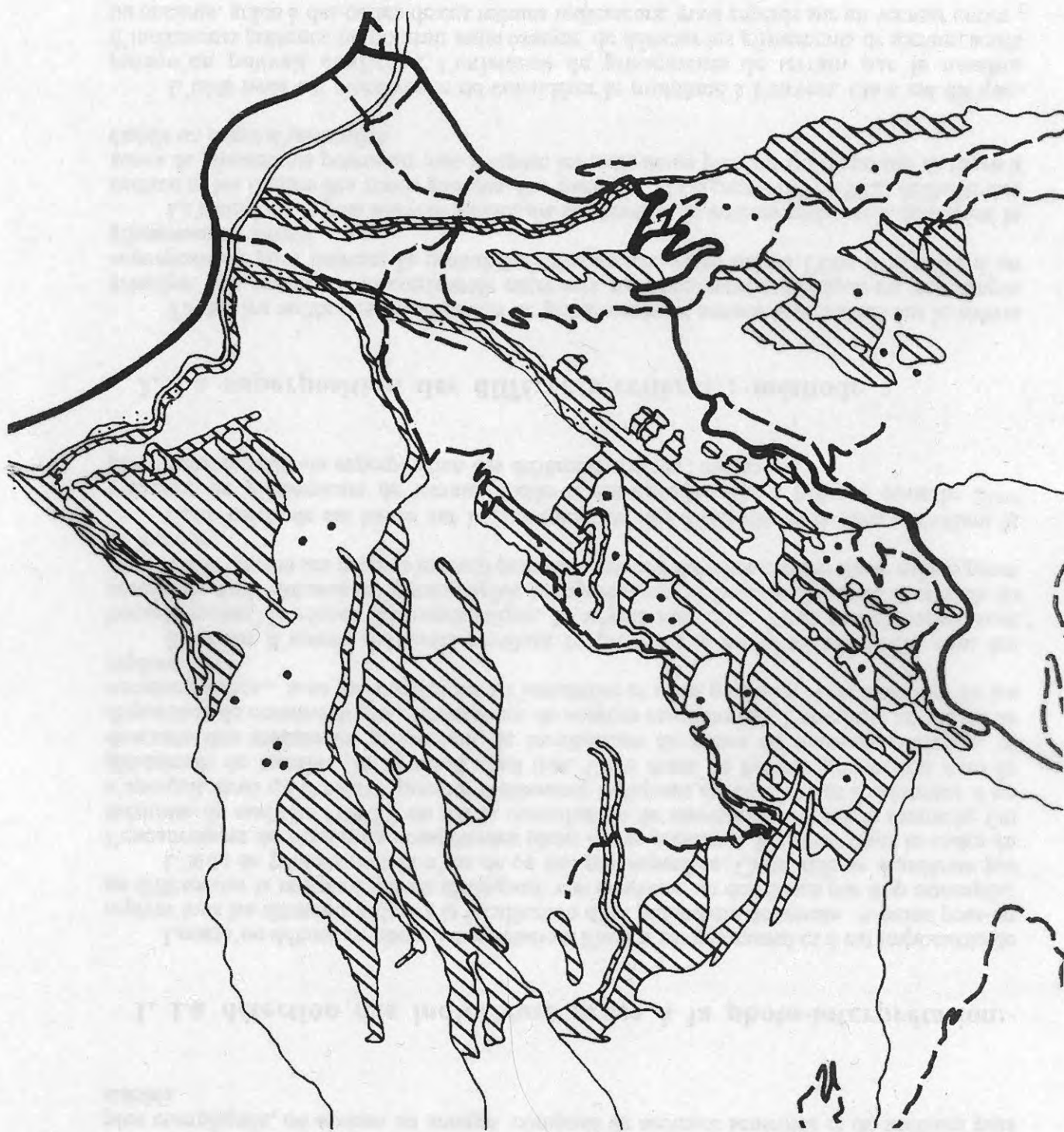


-  détériorations de la route
-  ravine qui entrave la route
-  marche d'effondrement
-  zones bosselées + mauvais drainage

L.QUINTLÉ



ZONES D'ARBRES PERTURBES



zones d'arbres perturbés



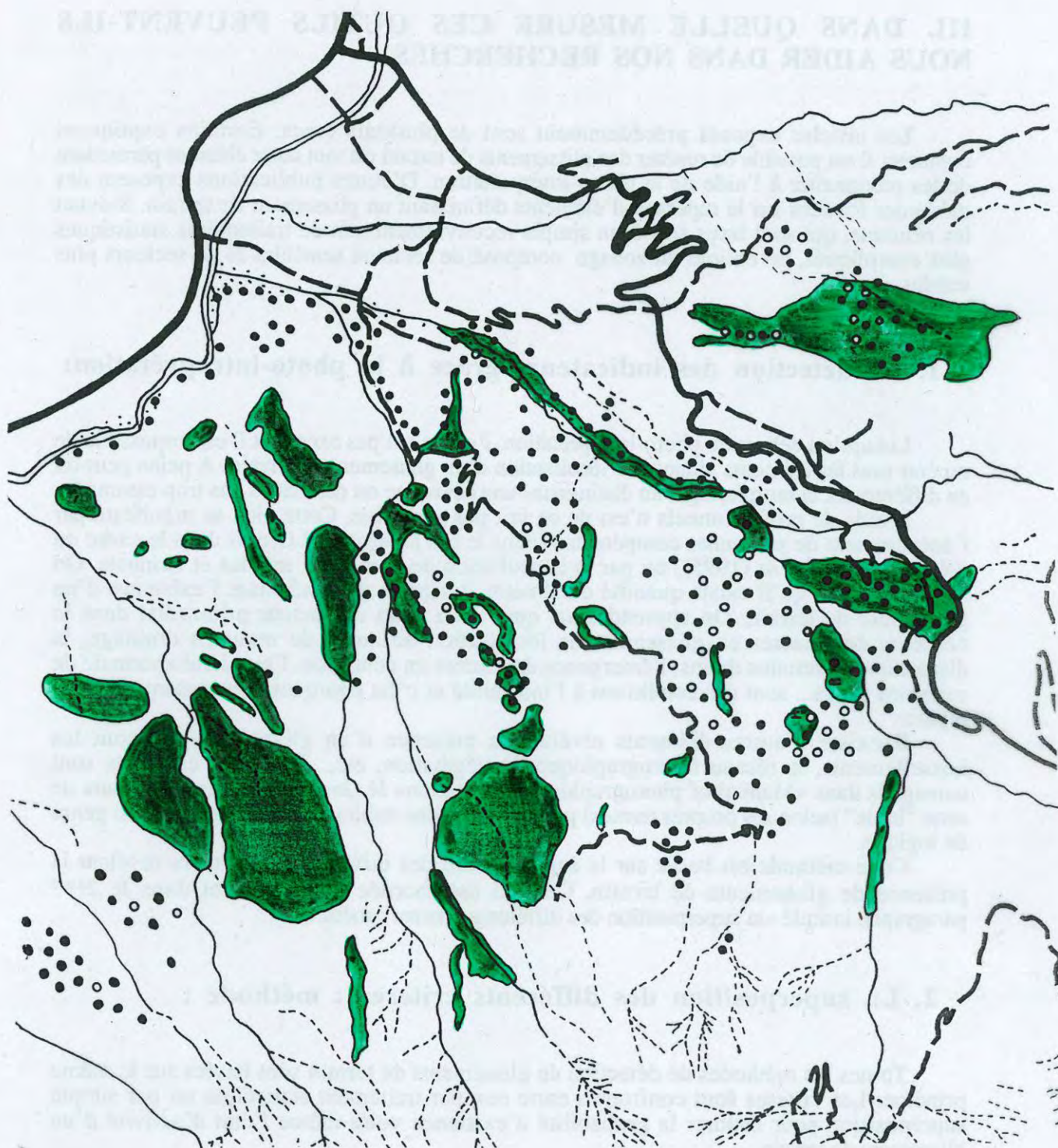
arbres perturbés isolés

L.QUINTLÉ



0 1km

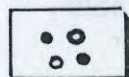
LOCALISATION DES ESPECES D'ARBRES FEUILLUS ET DES ZONES HUMIDES



zone humide



espèces feuillues



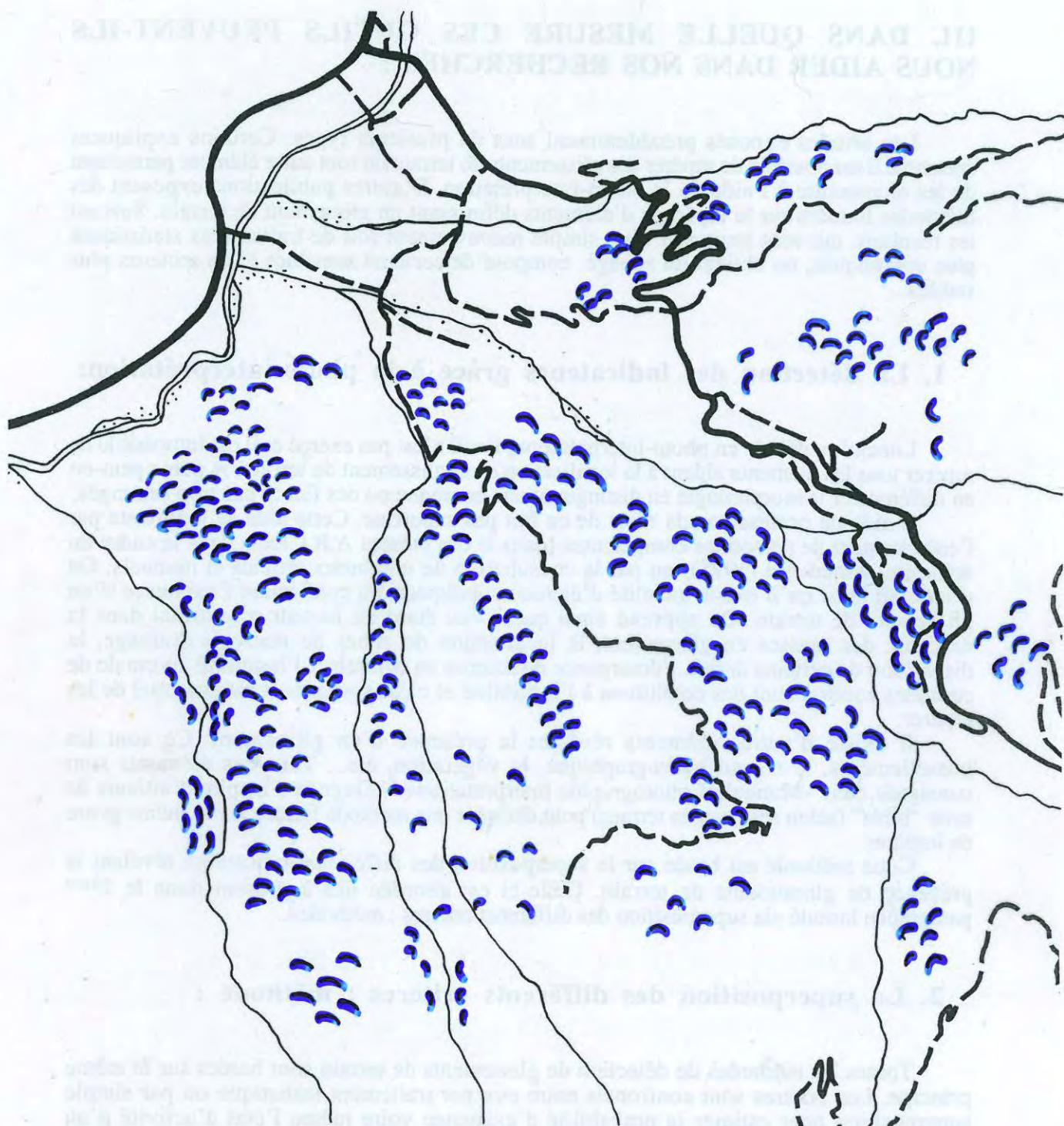
espèces feuillues mélangées à des conifères

L. QUINTLÉ



0 1km

LOCALISATIONS DES ZONES DE BOSSELLEMENTS



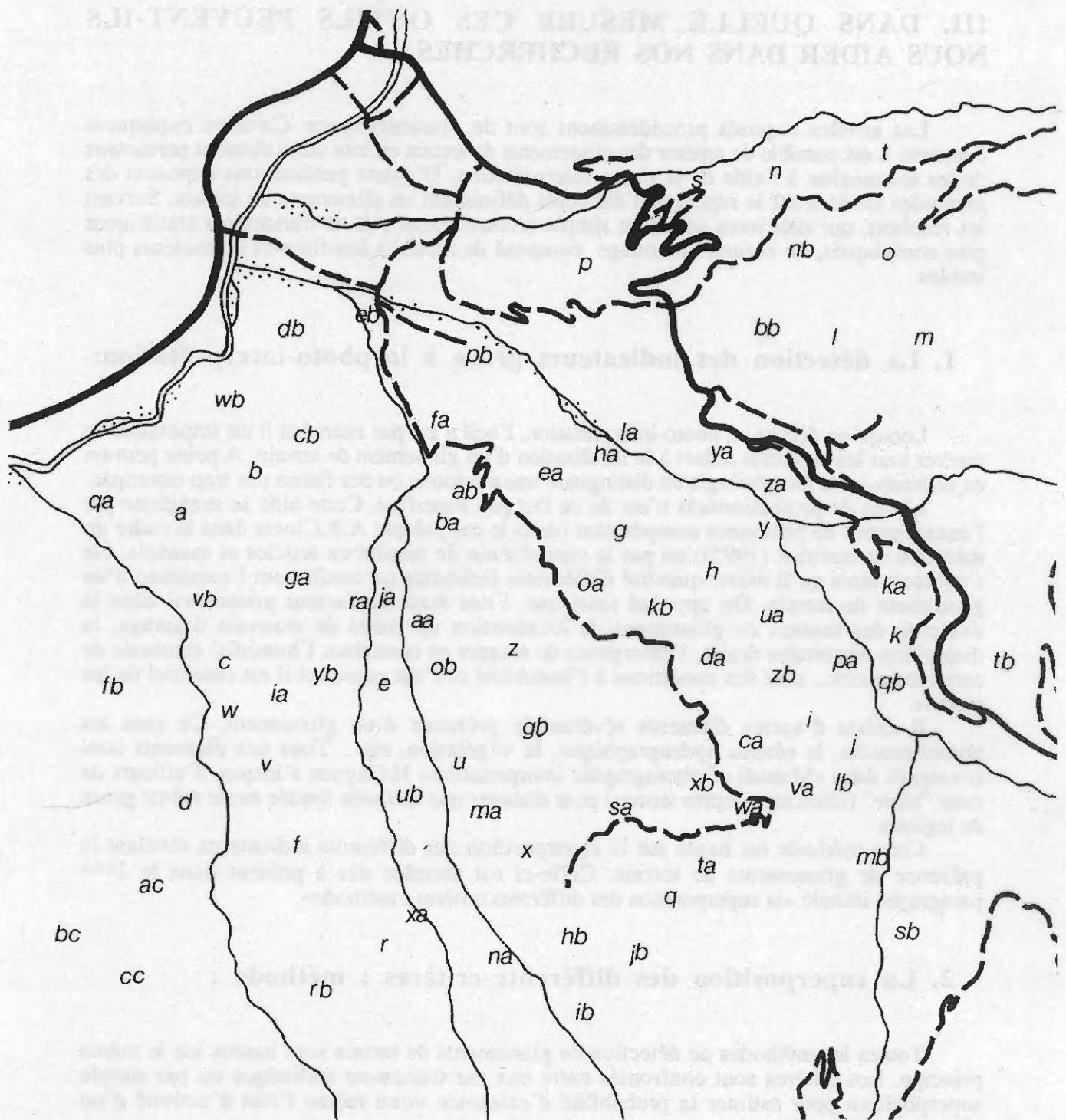
bossellements



0 1km

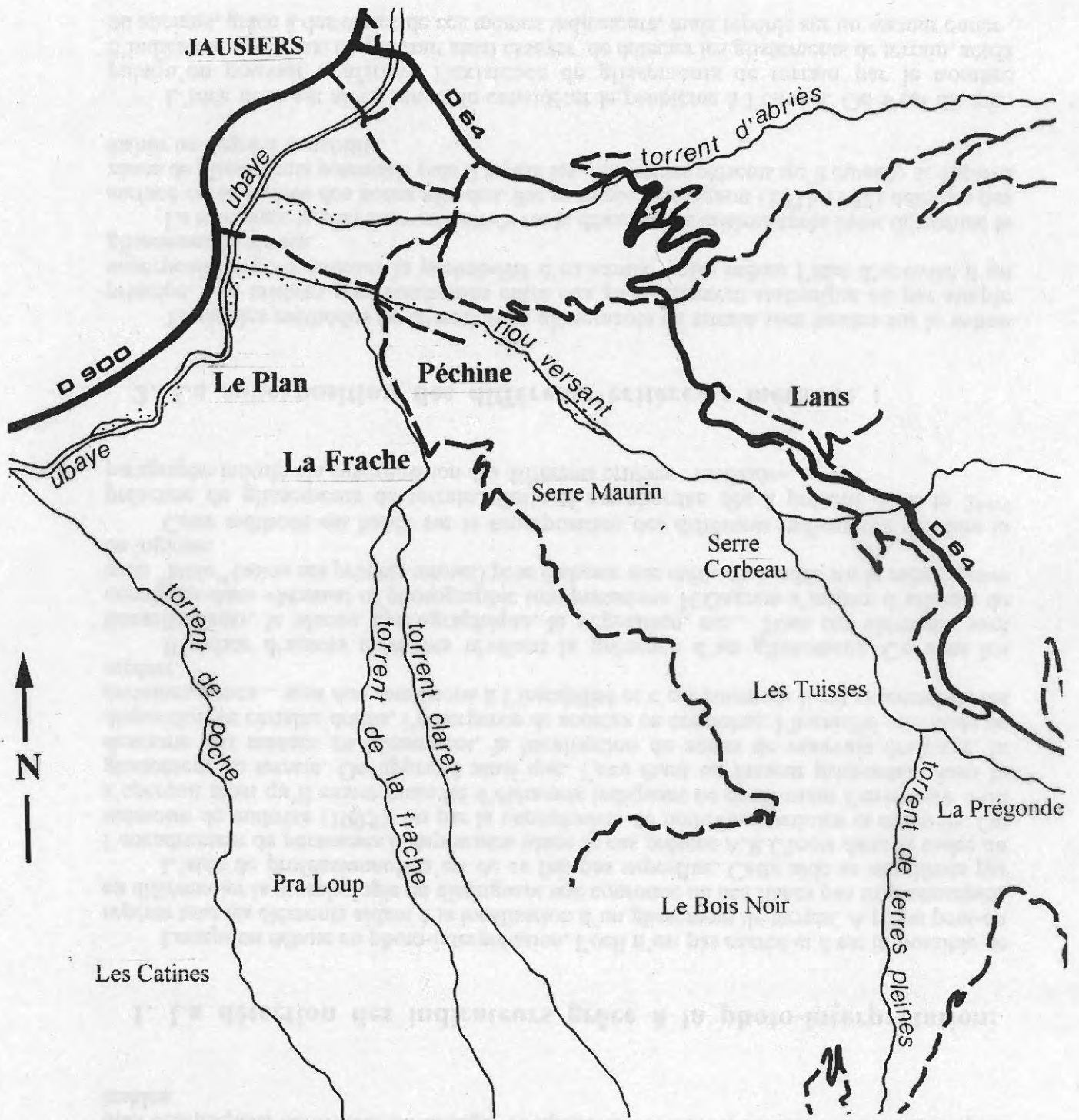
L. QUINTLÉ

LOCALISATION DES ZONES SERVANT A LA SUPERPOSITION DES CARTES



L.QUINTLÉ

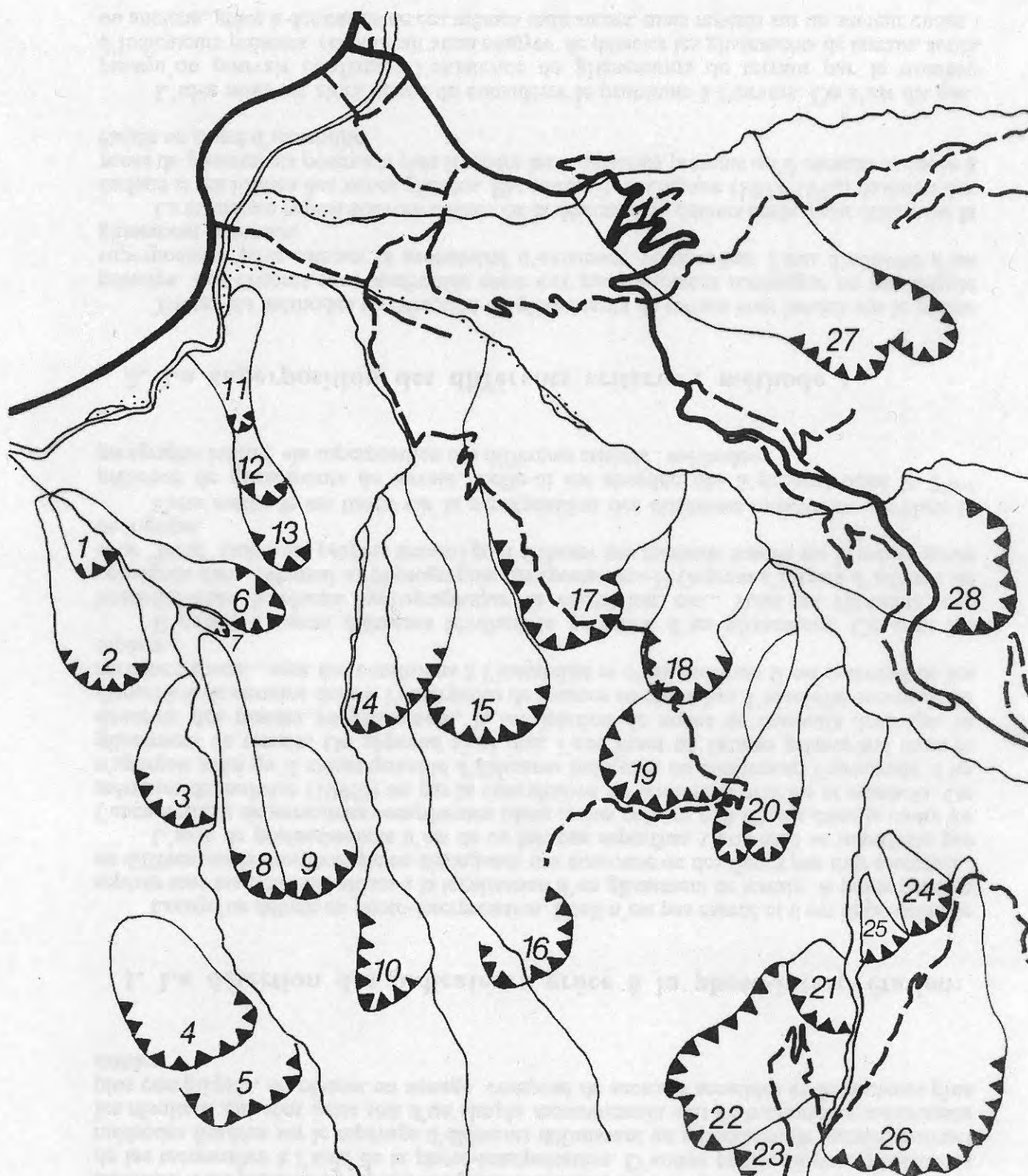
CARTE DE LOCALISATION



-  route (D64)
-  chemin forestier
-  torrent
-  cours d'eau

L.QUINTLÉ

LOCALISATION DES ESCARPEMENTS ET DES FLANCS



escarpement

flanc

L.QUINTLÉ



0 1km

Le concept de risque naturel (dans le sens aléa) que représente un glissement de terrain

Annexe au mémoire intitulé :
“Essai méthodologique sur le repérage d’anciens glissements de terrain : application à la
Moyenne Ubaye (Sud de la Commune de Jausiers)”

Laurence QUINTLÉ
DEA “Systèmes Spatiaux et Environnement”
Option 1
1996

1. Le concept d'aléa

2. L'historique des glissements de terrain dans la région de Barcelonnette

- 2.1. Le tardiglaciaire
- 2.2. Le "Petit Age Glaciaire"
- 2.3. La fin du XIXème siècle et la mise en place de la Restauration des Terrains en Montagne
- 2.4. Aujourd'hui

3. Le glissement de terrain en terme d'occupation du sol dans la région de Barcelonnette

- 3.1. Les méthodes de cultures pratiquées par les Anciens en rapport avec les glissements de terrain
- 3.2. Les mesures de préventions prises par l'Etat ou les collectivités locales

Le milieu montagnard que représente les Alpes est un relief jeune qui s'élève encore progressivement. Il se produit donc un phénomène de façonnement des versants qui se manifeste par des mouvements de terrain de toutes sortes, en particulier les glissements de terrain, qui constituent un risque important pour les populations qui y vivent.

Le but de ce travail est d'exposer les contraintes que représentent les glissements de terrain en prenant pour exemple le site de Barcelonnette. Ces contraintes d'ordre historiques et même préhistoriques sont plus ou moins bien maîtrisées suivant les périodes climatiques qui intensifient ou calment les manifestations de terrain et suivant les capacités de l'homme à les maîtriser ou du moins à les prévenir.

1. Le concept d'aléa :

Par définition l'aléa est un phénomène néfaste qui s'apprécie selon quelques critères simples que Haggett a défini comme suit :

- la **magnitude** ou importance du phénomène,
- la **fréquence** définie par la probabilité d'occurrence ou le temps de retour,
- la **durée** et l'**espacement** entre 2 phénomènes.

Pour définir le niveau de l'aléa, les ingénieurs utilisent 2 paramètres simples qui sont :
-l'**intensité**, qui rassemble la dimension, la vitesse, la gravité,
-l'**occurrence**.

Ils évaluent l'**intensité** grâce aux systèmes de prévention, c'est à dire qu'ils estiment les aménagements qu'il faudrait faire pour prévenir un mouvement de terrain. C'est en effet plus facile que mesurer un volume, une surface. La vitesse de l'aléa, lorsqu'il est possible de la mesurer, permet aux ingénieurs d'établir un niveau de gravité au plan des préjudices humains. En synthétisant les 2 échelles de mesures dans un tableau à double entrée, on obtient une échelle unique à quatre niveaux d'intensités.

L'occurrence constitue la probabilité de survenance d'un phénomène. Ainsi, quand le glissement est déclaré, la probabilité est notée 1 et quand la probabilité de survenance est presque nulle, elle est estimée à 0.

Pour définir une probabilité d'occurrence, on repère tout d'abord des signes avant-coureurs permettant de déceler un aléa (ce qui est faisable dans le cas d'un mouvement de terrain) puis on cherche des exemples déclarés similaires. Deux notions caractérisent la probabilité d'occurrence:

- la notion d'**antécédent**, c'est à dire s'il y a déjà eu des manifestations identiques auparavant (par exemple, lorsqu'on est sur un glissement ancien ou tout près). On repère donc les secteurs qui ont déjà été soumis au même type de phénomène,
- la notion de **prédisposition** ou conditions du milieu (par exemple, la pente, la roche...)

Dans la région de Barcelonnette, on cherche principalement à relever les secteurs où les antécédents sont sérieux car on sait déjà que sa prédisposition y est importante.

Dans la notion de risque naturel, on doit aussi compter sur les **composantes humaines et sociales**. Il s'agit en effet de prendre en compte parmi les phénomènes naturels, principalement ceux qui mettent en danger les populations, les biens et les équipements. En d'autres termes, on parle de **vulnérabilité**. Des cartes de vulnérabilité sont ainsi construites. Celles-ci, combinées à des cartes d'aléas permettent de créer des cartes de risques, principales sources d'un PER (Plan d'Exposition aux Risques). Le PER est un plan consignant l'intensité de l'aléa ainsi que sa nature, et le danger auquel peuvent être soumis les populations et les biens (ou patrimoine)

Nous n'irons pas plus loin dans l'explication de la notion de vulnérabilité et de risque puisque ce n'est pas le sujet à traiter. Seul l'aléa nous intéresse dans le cas présent.

L'aléa prend donc en compte toutes les données naturelles en laissant de côté les composantes humaines, sociales et économiques.

La recherche des zones actives et celle des anciens glissements de terrain intervient dans la notion de carte d'aléa. Elles sont donc importantes puisque les zones sensibles et les anciens glissements apparaissent d'une certaine façon sur la carte d'aléas. En effet, il faut savoir que les zones déjà affectées sont celles qui sont le plus susceptibles de l'être à nouveau et sont de ce fait considérées d'office comme zones sensibles. D'après F. Noverraz (1984), dans les régions tempérées, les problèmes d'instabilité relèvent dans 90% des cas de glissements déclarés latents, souvent anciens. On comprend donc mieux le but de ce genre de recherche. Mais attention, l'absence de mouvements passés ou récents n'est pas une

garantie pour l'avenir. Des mouvements de terrain peuvent survenir en fonction de l'évolution des conditions naturelles ou des activités humaines.

2. L'historique des glissements de terrain dans la région de Barcelonnette :

Pour pouvoir expliquer la répartition des glissements de terrain passés et/ou actuels, il est nécessaire de faire un retour en arrière dans le but de décrire les principales périodes responsables de ces phénomènes.

Quatre périodes où de nombreux glissements de terrain se sont produits ressortent particulièrement. Celles-ci font l'objet de quatre chapitres distincts (voir **figure 1**).

<i>Grands appareils torrentiels</i>	20-15 000 BP (= <i>dernière déglaciation</i>)
<i>Reforestation générale</i>	7 600-4 700 BP (= « <i>l'Atlantique</i> »)
<i>Vastes incendies d'origine humaine</i> (on retrouve des sols enfouis très riches en charbons de bois)	6 000 BP
<i>Epais manteau d'éboulis (2m)</i> (cela suppose un couvert végétal dégradé du aux essartages)	3 700-2 000 BP
<i>Reprise d'activité des torrents après l'installation des villages. L'homme défriche et pâture plus que de raison, ce qui aggrave les conditions climatiques du Petit Age Glaciaire</i>	XV^{ème} siècle

Figure 1: les principales périodes de l'histoire de l'Ubaye

2.1. Le tardiglaciaire :

La principale période durant laquelle se produit des glissements de terrain se situe après la dernière déglaciation pendant le tardiglaciaire. On explique ceci par une rupture dans l'équilibre de la roche. En effet, la glace qui permettait de retenir les sols fond et les terrains ne sont plus retenus. Autrement dit, pour reprendre les termes de M. Julian (1978), "la détente postglaciaire des versants de la vallée libérée des glaces est à l'origine des tassements du terrain" Les glissements de terrain engendrés sont parfois de taille gigantesque c'est pourquoi ils peuvent dans certains cas remanier totalement les versants. Certains sont encore repérables à l'heure actuelle.

La reforestation pendant la période dite de "l'Atlantique" permet une certaine stabilisation. On pense que les torrents sont restés "sages" pendant très longtemps puisque des villages ont été installés sur des cônes de déjection. Les habitants n'auraient, en effet, pas pris le risque de s'installer dans ces endroits sachant que le village pouvait être sinistré à tout moment.

2.2. Le "Petit Age Glaciaire" :

On constate une reprise d'activité pendant la période 1550-1850 ou "Petit Age Glaciaire". D'après M. Jorda (1980), "les grands ravinements dans les marnes noires détruisent localement les couvertures morainiques ou holocènes (...). En Ubaye, la fin de la période médiévale et les Temps Modernes correspondent par ailleurs à un regain de torrentialité responsable de la progression des grands cônes torrentiels lors de crues violentes" F. Arnaud (1895) avait constaté que "la répétition de crues catastrophiques coïncide avec la dégradation climatique du Petit Age Glaciaire. Mais il est probable aussi que le phénomène ait été aggravé par l'état de surpeuplement rural qu'a connu la région dès la Moyen Age et qui a conduit les hommes à défricher et à mettre en valeur des pentes de plus en plus difficiles".

Pour remédier à cette dégradation, des mesures ont été prises très tôt dans la vallée de Barcelonnette :

- la limitation des effectifs admis au pâturage,
- l'interdiction des transhumants, de l'écobuage,
- la mise en défens de quartiers de forêt, c'est à dire les "Devens" où sont bannis les troupeaux,
- les corvées pour la construction et l'entretien des fragiles digues bordant les torrents dans la traversée des villages.

Mais les hommes deviennent incapables de contenir cette érosivité qui se fait de plus en plus présente et qui bouleverse leur vie quotidienne. Les crues, les laves torrentielles et les glissements de terrain se succèdent.

2.3. La fin du XIXème siècle et la mise en place de la Restauration des Terrains en Montagne :

Toutes ces prescriptions réitérées au fil des ans se révèlent impuissantes à dominer l'érosion malgré les peines sévères qui les sanctionnent. Sous l'emprise des contraintes démographiques et économiques, la Vallée voit empirer l'état de ses montagnes, sans posséder la capacité ni les ressources d'y remédier.

Vers 1840, l'Académie des Sciences ordonne une mission d'évaluation dans les Alpes. Le rapport est désolant. Mais c'est seulement en 1860 qu'est mis en oeuvre la Restauration des Terrains en Montagne dont l'exécution est confiée à l'Administration Forestière (**voir figures 2, 3 et 4**).

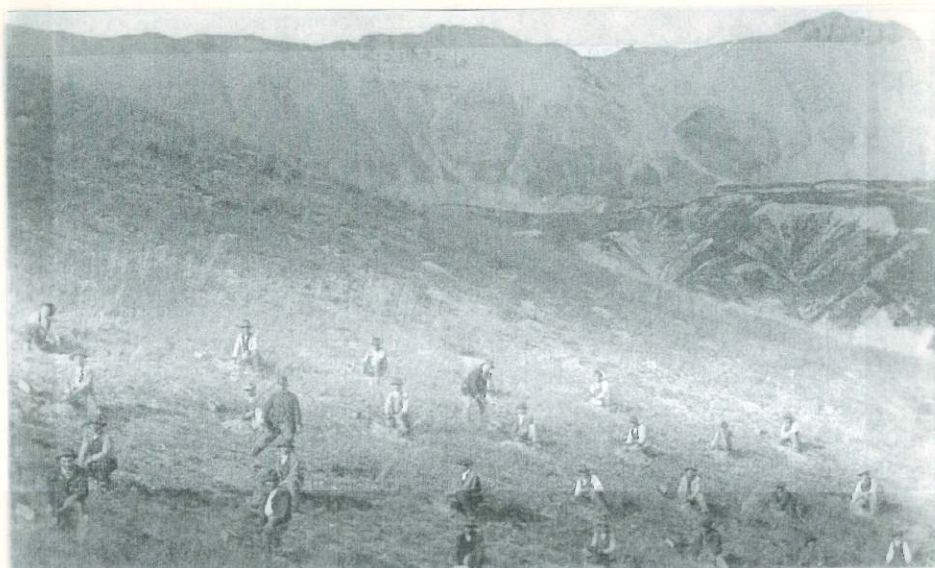


Figure 2 : 5 octobre 1904. Chantier exécutant des plantations de mélèzes sur terrains déjà enherbés (les Courts). P. Chondroyannis (1992)



Figure 3 : 19 avril 1907. Plantation de mélèzes et pins à crochets dans le ravin des Aiguettes en haut à droite de la Grande Epervière (2778m). P. Chondroyannis (1992).

Ces travaux gigantesques ont permis une stabilisation très précaire de certains versants. Il n'en reste pas moins que certaines zones sont toujours en mouvement comme la région de Barcelonnette, et plus précisément le versant sud de la commune de Jausiers en rive gauche de l'Ubaye choisi comme site expérimental pour l'essai méthodologique que l'on effectuera dans la 3^{ème} partie intitulée «la méthode envisagée pour la détection de glissements de terrain anciens».

La loi du 18 juillet 1860 :

Elle confère un caractère d'utilité publique au reboisement des montagnes. Ces reboisements sont réalisés par l'Administration forestière.

Des périmètres de reboisement obligatoires dans les secteurs les plus menacés sont ordonnés. L'expropriation peut être prononcée et les travaux mis à la charge des propriétaires qui bénéficient alors de subventions après enquête publique et décret du Conseil d'Etat.

La loi du 18 juin 1864 :

Elle concerne le gazonnement des montagnes. Le gazonnement est substitué au reboisement chaque fois que cela est possible. Cette loi prévoit l'indemnisation lors d'une privation de jouissance résultant de l'interdiction du parcours pendant la durée des travaux.

On constate cependant que le gazonnement est irréalisable sur des terrains instables et dégradés.

La loi du 4 avril 1882 :

C'est une "charte de gestion des terres d'altitude". L'Etat assure intégralement la charge financière et technique des travaux. Elle consacre le double aspect curatif et préventif des travaux en instaurant des incitations financières à la remise en état des terres de montagnes non encore dégradées.

Le seul problème est que cette loi ne permet d'intervenir que sur les berges vives des torrents.

La loi du 16 août 1913 :

Cette nouvelle loi étend ces dispositions aux "terrains dont la restauration et le reboisement sont nécessaires à la régularisation du régime des eaux", autrement dit à tout le bassin-versant. Les textes sont toujours en vigueur de nos jours malgré la baisse notable de la pression foncière depuis le début du siècle.

Figure 4 : les lois fondatrices de la Restauration des Terrains en Montagne

2.4. Aujourd'hui :

A l'heure actuelle, il reste de nombreuses traces de ces phénomènes passés sur lesquelles se superposent des phénomènes actuels. Depuis, la dernière déglaciation, il n'y a plus eu de glissements d'une telle ampleur, mais très souvent d'anciens glissements se réactivent soit entièrement, soit en partie. Ainsi, on peut citer en exemple tout le versant qui longe le Riou Versant et le torrent de Clapouse et qui comprend le Serre Maurin, le Serre Corbeau et le Bois Noir. Ce versant, comme nous le verrons dans la 3^{ème} partie, semble totalement instable. Il apparaît néanmoins que certains endroits sont plus marqués par l'activité comme le glissement du Bois Noir ou près de la cabane des Tuisses (voir notes du mois d'avril).

Les principaux facteurs responsables de cette réactivation sont les torrents et les sapements de berges qui créent des ruptures d'équilibre à la base du versant (sapement de berge par exemple): la stabilité étant détruite localement, il se produit un "coup de cuillère", qui de proche en proche met tout le versant en mouvement. Sur le secteur étudié, on peut citer un exemple flagrant qui est le glissement de Lans. Dans un même ordre d'idées, nous pouvons aussi citer les sapements de routes qui agissent le plus souvent à échelle réduite mais qui existent néanmoins.



- 30 -

Fig. 3.1 - 1 : Extrait de la carte d'instabilité régionale de lausanne-Est, au 1:5000

(Plan reproduit avec l'autorisation de la Direction du Cadastre-Vaud du 6 juin 1984)

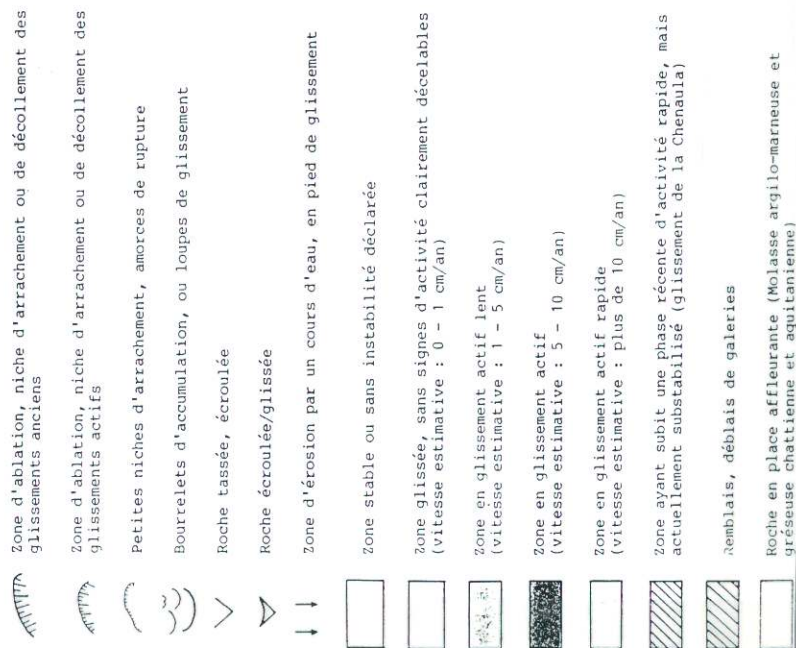


Figure 5 : extrait de la carte d'instabilité régionale, au 1/5 000 (réduite /2)

- Deux principales actions ont permis de stabiliser provisoirement les versants :
- le reboisement des terrains les plus menacés par la RTM,
 - la mise en culture qui nécessite la maîtrise de l'eau par des systèmes de drainage.

Le reboisement des terrains les plus menacés est toujours d'actualité. De nombreuses équipes de la RTM sont affectées à l'entretien des versants notamment dans la vallée de Barcelonnette et les effets semblent convainquants (**photos 1 et 2**). Malheureusement, l'exode rural a entraîné une déprise agricole depuis la fin du siècle dernier qui semble avoir l'effet inverse sur ces terrains de stabilité précaire.

Actuellement, certains endroits se stabilisent alors que d'autres se réactivent.

Voyons donc comment les populations s'en accommodent et comment ils ont vécu avec ce danger depuis toujours.

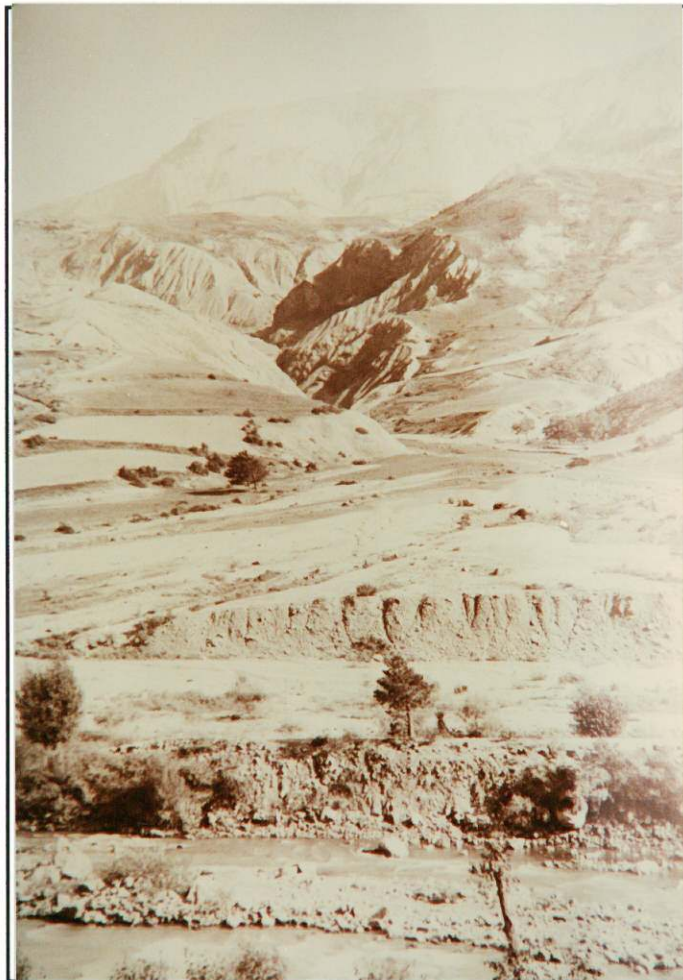


Photo 1 : 8 septembre 1908 (M. Barré). Torrent de Poche : vue d'ensemble du torrent depuis sa source à la crête jusqu'au confluent avec l'Ubaye qu'on voit couler au premier plan.



Photo 2 : le glissement de Poche en 1996. Vue de la route (D900). Fonds photographiques RTM (Barcelonnette).

3. Le glissement de terrain en terme d'occupation du sol dans la région de Barcelonnette :

Comme nous l'avons vu dans le paragraphe précédent, les mouvements de terrain sont un phénomène courant dans la vallée de l'Ubaye (et plus généralement dans de nombreux sites des Alpes) et ceci depuis plusieurs milliers d'années. Ces mouvements ont façonné les paysages que nous avons sous nos yeux aujourd'hui. Cette activité se poursuit encore à l'heure actuelle.

Les mouvements de terrain et plus particulièrement les glissements sont des phénomènes fréquents et commun pour les Ubayens. Ils ont appris à vivre avec et s'en accommodent en appliquant certaines mesures de prévention.

Deux types de mesures de prévention peuvent être distingués :

- les pratiques agricoles adaptées à un milieu hostile ; ce sont le plus souvent des pratiques ancestrales,
- la création par voie administrative ou législative de mesures de prévention destinées à obliger ou à interdire certains actes, certaines constructions... de manière à protéger au mieux les habitants et à maintenir le milieu. Celles-ci sont valables à l'échelle de la région de Barcelonnette, mais aussi à l'échelle de toute la France.

3.1. Les méthodes de cultures pratiquées par les Anciens en rapport avec les glissements de terrain :

A. De Reparaz (1980), dans son article intitulé "Morphogénèse et évolution des paysages dans les Alpes de Haute Provence depuis le Tardiglaciaire" a fait une très belle description des pratiques culturelles d'antan. Il pense que "les plus importants ravinements et bad-lands taillés dans les marnes noires, témoins d'une morphogénèse largement antérieure étaient déjà là, plutôt moins développés et encadrés par un espace agropastoral entretenu". Ceci laisse donc penser que, tant que l'espace agropastoral était entretenu, il permettait de maintenir une stabilité précaire des versants. Ainsi, "ce qu'un très maigre boisement ne protégeait pas, était en revanche largement défendu par une agriculture qui "construisait" des banquettes, drainait par concentration des écoulements et aménageait diversement. (...) Les zones de roubines étaient le plupart du temps entourés par des fossés entretenus qui "bloquaient" l'érosion vers l'amont et détournaient les eaux de ruissellement hors des bassins des roubines".

Sur le versant sud de la vallée de Barcelonnette en rive gauche de l'Ubaye, on retrouve encore de nombreux espaces entretenus et cultivés comme le Canal de Terres Pleines au-dessus du Ravin des Flourats), des réservoirs (notamment sous les Catines), des banquettes le long des chemins à la sortie des Flourats (à l'est du Villard de Faucon)... qui sont des témoins actuels de ces pratiques de culture.

D'autres traces, plus nombreuses témoignent bien de l'abandon progressif des versants. On peut citer plusieurs exemple bien explicites :

- près des Catines à l'ouest du torrent de Poche, il n'y a pas d'habitations mais seulement des ruines avec des terrasses de culture nombreuses et anciennes ainsi que des épierrements.
- au-dessous de Lans, un hameau entier appelé l'Ubac est laissé à l'abandon (voir **photo 3**), mis à part une ruine qui est en cours de restauration depuis un peu plus d'un an. On retrouve près de ce hameau de nombreuses traces de culture anciennes ainsi que des anciens vergers repris par l'humidité (sagnes) et par l'érosion. Ces traces anciennes sont mêlées à une occupation actuelle du sol.
- près du torrent de la Frache, à la cote 1 500 m, une zone de prairie fortement bosselée mais aussi fortement retravaillée par l'homme qui y exerçait une activité agricole. On distingue en effet de nombreuses traces d'anthropisme comme les pierriers, les terrasses de culture (au nord-ouest de la zone) et plusieurs ruines.



Photo 3 : la déprise agricole : des villages entiers sont laissés à l'abandon, ici l'Ubac à l'est de Jausiers.

On constate que le milieu naturel est soumis à une érosion que la déprise rurale a accentué. Le scénario de Ch. Avocat en 1978 dans son article intitulé «Mutations contemporaines dans les vallées des grandes Alpes ensoleillées» est que le rôle et la signification des vallées ont été bouleversées par l'irruption de l'économie moderne. Certaines communes ont ainsi été dévalorisées et des difficultés quasiment insurmontables en résultent pour la communauté montagnarde. La vie économique s'est lentement dégradée d'où une rétraction de l'espace cultivé, une disparition des bovins, une utilisation de plus en plus extensive des alpages, une emprise des transhumants.

Ceci entraîne, par voie de conséquence, l'abandon des réseaux d'irrigation et de drainage, l'abandon des espaces cultivés et des terrassettes de culture... favorisant l'apparition de bas-fonds marécageux autrefois herbagers, une circulation de l'eau anarchique, une reprise de l'érosion qui se manifeste par des mouvements de terrain comme les glissements et les éboulements.

La nécessité d'une prévention se fait donc sentir et c'est ce que nous allons exposer dans le paragraphe 3.2. intitulé «Les mesures de préventions prises par l'Etat ou les collectivités locales».

3.2. Les mesures de préventions prises par l'Etat ou les collectivités locales :

Comme nous l'avons vu précédemment dans le paragraphe 2.3. intitulé «La fin du XIX^{ème} siècle et la mise en place de la Restauration des Terrains en Montagne (RTM)» et dans le paragraphe 3.1. intitulé «Les mesures de prévention prises par les Anciens» que le problème de la protection des versants s'est toujours posée.

Les Anciens se "protégeaient" grâce à des systèmes de culture stabilisant au maximum les versants instables, mais cela ne constituait en aucun cas un système de défense contre les événements catastrophiques.

Il faut attendre le XIX^{ème} siècle pour que les gens prennent conscience du fait que pour limiter les dégâts il faut employer des moyens à l'échelle des catastrophes. C'est ainsi qu'a été créée la RTM avec un certain nombre de lois qui sont encore en vigueur à l'heure actuelle. Il faut par contre attendre le début des années 1970 pour entamer une procédure de réglementation fondée sur des cartes indicatrices ou réglementaires (comme les cartes d'inventaires qui ont donné lieu aux cartes ZERMOS et au PER) et 1982 pour la mise en place d'une loi capitale en ce qui concerne les catastrophes naturelles et leur indemnisation par les assurances.

a) Les différentes cartes :

-Les cartes les plus anciennes sont des cartes d'inventaires comprenant les mouvements actuels et les mouvements plus ou moins anciens. Beaucoup de cartes géologiques laissent apparaître les glissements de terrain, anciens ou non et peuvent, à juste titre, être signalés comme des cartes d'inventaires.

-**Les cartes de zones à risque de mouvement** : elles donnent des indications sur les zones de mouvements et sur les zones de mouvements potentiels. Ces cartes, localisant un mouvement probable se fondent sur la détermination de facteurs d'instabilité. L'accumulation de ces facteurs permanents défavorables conduit à localiser les zones à risques et à hiérarchiser ce risque.

Les plus connues en France sont les **cartes ZERMOS** (carte des Zones Exposées aux Risques de Mouvements du Sol et du sous-sol) au 1/25 000 lancées en 1972 par le BRGM. Ces cartes définissent trois catégories de zones :

*la 1^{ère} en rouge définit des zones d'instabilité très favorable (elle est divisée en deux dans plusieurs cartes),

*la 2^{ème} en orange définit des facteurs défavorables qui peuvent être des indices de mouvements anciens et/ou des incertitudes sur les facteurs de stabilité,

*la 3ème en vert définit des zones stables, présumées stables, apparemment non-exposées. Dans la région étudiée, une carte ZERMOS a été faite dans la région La Condamine/Larche, mais ne recouvre pas le secteur d'étude pour l'essai méthodologique.

-Les **PER** (Plan d'Exposition aux Risques) sont constitués par la superposition deux éléments principaux : les cartes qui localisent la probabilité d'apparition d'un mouvement d'un certain type et d'une certaine intensité, et les cartes de vulnérabilité ou carte de "coûts" prévisibles qui sont destinées à se faire une idée plus précise des dommages, compte tenu de la capacité de résistance des constructions ou des infrastructures et de l'intensité du phénomène.

Les PER sont prévus par la loi n°82-600 du 13 juillet 1982 et ont pour but de réglementer ou d'éviter les constructions et installations dans les zones à risque d'instabilité. Par contre, elles doivent être confortées dans les zones instables ou déjà construites.

La légende est constituée comme suit :

*en rouge, les zones interdites à la construction,

*en bleu, les zones de constructions nouvelles autorisées sous réserve de l'observation de prévention de mesures fixées par le règlement (règles constructives, règles de travaux de protection, règles d'urbanisme...)

*en blanc, les zones constructibles sans mesures précises.

Ces PER ont été effectués pour Barcelonnette, pour Jausiers... mais la procédure est longue et pas toujours très aisée.

-D'autres cartes existent comme les **PZERN** (Plan des Zones Exposées aux Risques Naturels) datant de 1974 et dont les communes de montagnes ont été dotées.

b) Les lois destinées à la protection des populations :

-Il existe principalement une loi qui a été adoptée le 13 juillet 1982 lorsque H.Tazieff était secrétaire d'état attaché au Premier Ministre (L.Fabius) sur la "Prévention des Risques Naturels et Technologiques Majeurs". Cette loi déclare l'état de "Commune Sinistrée". Elle est relative à l'indemnisation des victimes de catastrophes naturelles et stipule que l'état de "Catastrophe Naturelle" est arrêté par Conseil Interministériel.

L'assurance "Catastrophe Naturelle" qui découle de cette loi couvre donc les tempêtes, les ouragans, les inondations, les chutes de neige, les avalanches, les tremblements de terre, les raz de marée, les chutes de grêle, les mouvements de terrain, etc... Les victimes d'"éléments naturels ayant une intensité anormale" sont désormais indemnisés par leurs compagnies d'assurance selon cette loi. En contrepartie, il y a une majoration obligatoire de 9% du montant de la "Multirisque Habitation", et de 0,85% de la prime dommage (collision ou tout accident) ou 9% de la prime vol ou incendie.

-Les lois concernant la Restauration des Terrains en Montagne ont déjà été citées précédemment étant donné qu'elles datent du siècle dernier (voir paragraphe 2.3. intitulé «La fin du XIXème siècle et la mise en place de la Restauration des Terrains en Montagne»). Voir figure ?

Les deux principales lois à retenir sont la loi du 18 juillet 1860 qui confère un caractère d'utilité publique au reboisement des montagnes, et celle 4 avril 1882 qui est une "Charte de Gestion des Terres d'Altitude".

c) L'achat de terrains par l'Etat :

L'état, parti de rien au XXème siècle, est devenu propriétaire considérable. Il s'est approprié 75000 ha dans la seule P.R.A. "Montagne de Haute Provence et les paysans et éleveurs doivent compter avec ces périmètres de Restauration des Terrains en Montagne, ses forêts de protection défendue et ses alpages. Ces terrains sont la plupart du temps non-

constructibles et sont soumis à la gestion de l'ONF ou de la RTM qui s'occupent de leur réhabilitation ou de leur mise en valeur

Les mesures de prévention sont donc essentiellement axées sur des lois et sur la mise en place de procédures administratives par l'Etat, celles-ci étant appliquées par les collectivités locales (cartes ZERMOS, PER...). Ce qui au départ avait un caractère incitateur est devenu à l'heure actuelle réglementaire de manière à pouvoir éviter les erreurs catastrophiques voire meurtrières.

Les mouvements de terrain, et plus précisément les glissements de terrain et les coulées ont, depuis toujours, constitué un risque majeur pour l'homme dans les vallées montagnardes et dans le cas présent dans la vallée de Barcelonnette.

Cette vallée a subi la déprise rurale et tous les effets qui en ont résulté en matière de glissements de terrain. C'est pourquoi elle constitue un terrain favorable pour la mise en place d'un protocole d'étude concernant le repérage de glissements de terrain anciens qui est exposé dans le mémoire de DEA intitulé «Essai méthodologique sur le repérage d'anciens glissements de terrain : application à la Moyenne Ubaye (Sud de la commune de Jausiers)»..

Bibliographie :

- ARNAUD F. (1898), " Documents et notices historiques sur la vallée de Barcelonnette ; Notice historique sur les torrents de la vallée de l'Ubaye ", Imprimerie Chaspoul et V^e Barbaroux, Digne, 200p. env. (Laffite reprints, Marseille 1979).
- AVOCAT C. (1978), " Mutations contemporaines dans les vallées des grandes Alpes ensoleillées ", *BAGF*, Paris, n°453, pp. 179-185.
- AVOCAT C. (1979), " Montagnes de lumière " Villeurbanne.
- BARBIER B. (1982), " L'impact des activités humaines (sports d'hiver) sur le milieu montagnard ", *BAGF*, Paris, n°485-486, pp. 121-124.
- BAUBY Ph. (1924), " Le reboisement en Provence (Basses Alpes : Ubaye...) ", *Revue des Eaux et Forêts*, n°LXII, pp.357-361.
- BOUVET J. (1982), " Mémoires de l'Ubaye ", Imprimerie L.Esmenjaud, Gardanne, 52p.
- BOUVET J. (1986), " Visages de l'Ubaye ", Imprimerie L.Jean, Gap, 56p.
- CHONDROYANIS P., " La vallée des torrents ", Digne, plaquette 9p.
- CHONDROYANNIS P. (1992), " Ubaye, la forêt reconstruite ; le sentier de découverte du Riou Bourdoux ", L. Esmenjaud, Gardanne, 112p.
- COMBES F. (1989), " Restauration des terrains en montagne : du rêve à la réalité ", *Revue Forestière Française*, XLI, pp.91-105.
- DE REPARAZ A. (1980), " Morphogénèse et évolution des paysages dans les Alpes de Haute Provence depuis le Tardiglaciaire ", *BAGF*, Paris, n°472, pp.295-304.
- DE VILLENEUVE-BARGEMONT (1815), " Voyage dans la vallée de Barcelonnette, département des Basses Alpes ", R. Noubel, Agen, 164p. (Laffite reprints, Marseille 1979).
- DURBIANO C. / DE REPARAZ A. (1983), " Espace rural et restauration foncière dans la moyenne montagne et les plateaux de Haute-Provence ", *BAGF*, Paris, n°497-498, pp.261-268.
- E.J. (fév 1994), " Restauration des terrains en montagne : lutter contre l'érosion ", n°9, pp.31-35.
- EISENMENGER G./CAUVIN C. (1914), " La Haute Provence ; étude de géographie régionale ", Imprimerie P. Jacques, Aix-les-Bains, 250p.
- FLAGEOLLET J.C. (1988), " Les mouvements de terrain et leur prévention ", Masson, Collection Géographie, Paris, 224p.
- GAUTIER E. (1994), " Permanence de la structure du paysage d'une commune du pays des 'Terres Noires' de 1835 à nos jours : l'exemple de Savournon (Hautes-Alpes) ", *BAGF*, Paris, 71^{ème} année-n°1, pp.36-51.
- LEGIER A. (1977), " Mouvements de terrain et évolution récente du relief dans la région de Barcelonnette ", Thèse, Université de Grenoble, 163p.

- MASSEPORT J. (1972), " Le flysch de l'Embrunais-Ubaye ", *RGA*, n°LX, pp.387-389.
- MEYZENC C. (1984), " Hautes Alpes, Ubaye, Haut-Drac, Préalpes Drômoises. Pays de transition entre Alpes du Nord et Alpes du Sud ", Edition OPHRYS, Gap, 954p.
- MINISTERE DE L'ENVIRONNEMENT, " Mesures de prévention, mouvements de terrain " PER.
- MOUGIN P. (1931), " La restauration des Alpes ", Ministère de l'agriculture/ Direction générale des Eaux et Forêts/ Eaux et génie rural, Paris, Imprimerie Nationale, 583p.
- NEBOIT-GUILHOT (1990), " Les contraintes physiques et la fragilité du milieu méditerranéen ", *Annales de Géographie*, Paris, n°551, pp.1-20.
- PACHOUD A. (1981), " Influence de la disparition de l'activité agricole traditionnelle sur la stabilité des pentes en montagne " *Bulletin de liaison des laboratoires des Ponts et Chaussées, Risques géologiques/ Mouvements de terrain 26ème congrès géologique international*, Paris, pp.49-53.
- QUINTLE L. (1995), " Repérage des anciens glissements de terrains dans le bassin de Barcelonnette, d'après la photo-interprétation, l'étude de cartes... Vérifications sur le terrain (secteur sud Jausiers/Enchastrayes) ", Mémoire de Maîtrise, UFR de géographie, Strasbourg, 107p.
- TINCHANT F.(mai 1980), " Un siècle de protection de la nature en Ubaye ", Digne, plaquette 9p.
- TRICART J. (1958), " Etude de la cure de la mi-juin 1957 dans les vallées du Guil, de l'Ubaye et de la Cerveyrete et des aspects géomorphologiques de leur reconstruction-1ère partie ", Imprimerie Allier, Grenoble, 68p.
- TRICART J. (1958), " Les modalités de la morphogénèse de la crue dans le lit du Guil au cours de la crue de la mi-juin 1957 ", *Extrait de la publication n°53 de l' A.I.H.S. Commission d'Erosion Continentale*, pp. 65-73.
- VANDEMOORTELE D. (1990), " Ubaye ", Conseiller Bernard Giacometti, 66p.
- VEYRET P. et G. (1970), " Les grandes Alpes ensoleillées ", Edition Arthaud, Grenoble, 130p.