

## TECTONIQUE RECENTE ET SISMOTECTONIQUE DES ALPES DU SUD: analyse en termes de contraintes

■  
Jean-François RITZ\*

### RESUME

La tectonique récente des Alpes du Sud est étudiée à l'aide des méthodes de la microtectonique cassante. Les résultats permettent de reconstituer l'évolution du champ de contraintes depuis la fin de l'Oligocène. Nous montrons que celle-ci dépend des conditions aux limites propres à chaque domaine. La variation rapide des directions de contraintes observée dans les arcs de Digne et de Nice est liée à la présence de bordures libres situées au front de ces deux nappes (respectivement les bassins de Valensole et du Var). Celles-ci ont permis l'expression de phénomènes gravitaires dans les parties internes des nappes, soumises à un soulèvement. La nappe de Castellane, bloquée à son front contre le massif des Maures, montre une plus grande stabilité des directions de contraintes. A partir des données de contraintes pour la période quaternaire, les mécanismes aux foyers des failles susceptibles d'être actives sont calculés. Ce modèle sismotectonique est discuté par rapport aux données de la sismicité historique et instrumentale. Un modèle d'évolution géodynamique est proposé en conclusion.

**Mots-clés:** Alpes du Sud, tectonique récente, sismotectonique, microtectonique cassante, champ de contraintes, mécanismes aux foyers.

### ABSTRACT

RECENT TECTONICS AND SEISMOTECTONICS IN THE SOUTHERN ALPS: stress analysis.

Recent tectonics in the southern Alps is studied by means of a brittle microtectonics analysis. The results enable reconstruction of the stress field evolution since late Oligocene. We show that this evolution depends on the boundary conditions for each domain. The quick variation of stress directions in the Digne and Nice nappes are due to the free boundary conditions which exist in their fronts (Valensole and Var basins respectively). They have favoured gravitational phenomena in the uplifted inner parts of the nappes. The Castellane nappe, which is locked in its front against the Maures massif, displays a more stable stress field. The reconstruction of the quaternary stress field allows us to determine focal mechanisms of possibly active major faults. These results are compared with historical seismicity and earthquake focal mechanisms. A geodynamical model is proposed in conclusion.

**Key-words:** Southern Alps, recent tectonics, seismotectonics, brittle microtectonics, stress field, focal mechanisms.

### INTRODUCTION

Le but de cette publication est de présenter de façon très synthétique les résultats d'une étude sur la tectonique récente et la sismotectonique des Alpes du Sud (Ritz, 1991). On sait que la région des Alpes du Sud, située au carrefour de plusieurs grands domaines tectoniques (Alpes, Appennins, bassin Ligure, bloc corso-sarde), a été soumise à des changements géodynamiques importants depuis l'Oligocène, avec notamment l'ouverture d'un bassin océanique profond au voisinage d'une chaîne de montagnes récente. Deux objectifs principaux ont donc guidé cette étude: 1) clarifier l'évolution géodynamique récente de cette région durant les derniers 25 millions d'années; 2) définir les caractéristi-

ques de la tectonique actuelle et de la sismicité.

Pour atteindre ces deux objectifs, nous avons basé notre étude sur une analyse détaillée en microtectonique cassante qui nous a permis de reconstituer l'évolution du champ de contraintes dans les nappes subalpines de Digne, Castellane et Nice, depuis l'Oligo-Aquitainien jusqu'au Quaternaire inclus.

### I - METHODOLOGIE

Le problème général auquel on était confronté concernait la datation et la corrélation des épisodes tectoniques observés et analysés de façon ponctuelle dans les différents domaines de la région étudiée.

Pour le résoudre, on s'est intéressé dans un premier

\* Laboratoire de Géologie Structurale, U.S.T.L., place E. Bataillon, 34095 MONTPELLIER Cedex 05.

Manuscrit reçu le 15/09/1991, accepté le 29/01/1993.

Contribution au Colloque AFEQ «Néotectonique quaternaire et sismicité des Alpes à la Méditerranée», organisé par Michèl Dubar, le 8 mai 1991 à Sophia-Antipolis.

temps aux indices de déformation les plus récents. Ceux-ci sont généralement situés à la périphérie des chaînes, c'est-à-dire dans les zones de bassins dits d'avant-chaînes où se déposent les sédiments récents issus de l'érosion des reliefs. Ces bassins ont enregistré les déformations qui se sont produites au front des nappes. Ainsi, l'étude microtectonique des bassins conglomératiques de Valensole et du Var, d'âge mio-pliocène, a permis de mettre en évidence des déformations qui se sont produites au cours du Néogène et du Quaternaire au front des nappes de Digne et de Nice. On a constaté que cette tectonique est en général monophasée, sauf à la bordure ouest de la nappe de Digne où deux épisodes tectoniques en compression ont pu être caractérisés.

Dans un deuxième temps, on s'est intéressé aux déformations dans les zones situées à l'intérieur de la chaîne où, à cause de l'érosion ou du non dépôt des sédiments, on ne trouve pas de marqueurs stratigraphiques récents. On a donc été contraint de se tourner vers l'étude des déformations qui affectent les terrains plus anciens. On y a observé en général une tectonique polyphasée.

L'analyse microtectonique nous a permis alors d'établir la chronologie relative des différents épisodes tectoniques observés. Cette succession d'événements a été ensuite corrélée à la chronologie des épisodes tectoniques bien datés dans les terrains récents des zones externes.

## II - RESULTATS DE L'ETUDE MICROTTECTONIQUE

Cette étude s'appuie sur l'analyse de 198 stations microtectoniques réparties sur la région des Alpes du Sud et de la Provence occidentale (fig. 1). 145 ont été analysées par l'auteur dans le cadre de son travail de thèse (Ritz, 1991); 45 ont été analysées par Ph. Combes dans le cadre de son travail sur la Provence occidentale (1984) et 8 ont été analysées par S. Rebai dans le cadre de son étude sur le décrochement Peille-Laghet dans l'arc de Nice (1988).

L'analyse des fentes de tensions, des stylolites et surtout des stries sur les plans de failles nous a permis,

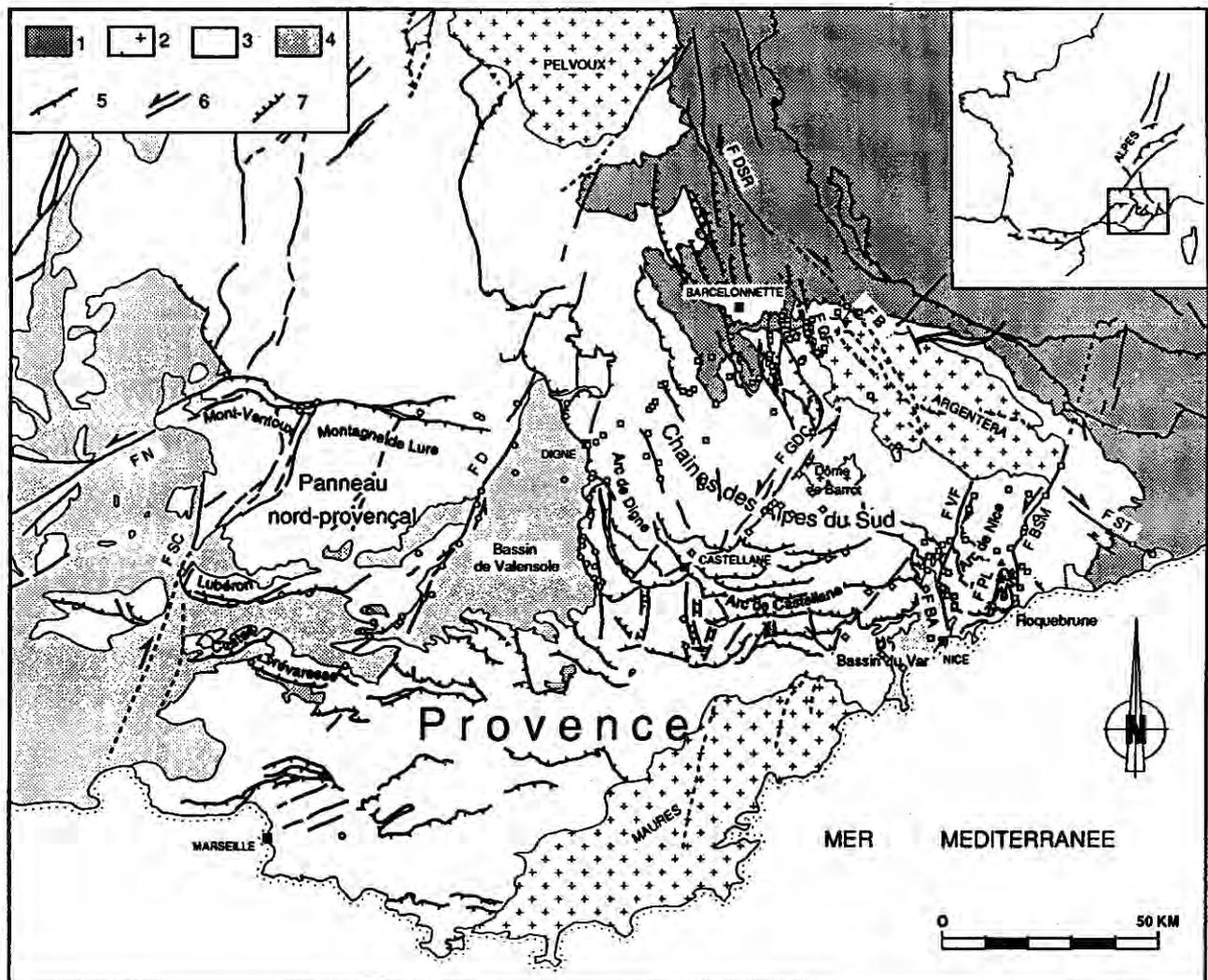


Fig. 1: Schéma structural du Sud-Est de la France: 1) Nappes des unités internes; 2) massifs cristallins externes; 3) terrains mésozoïques à oligocènes; 4) terrains mio-plio-quaternaires; 5) chevauchement; 6) décrochement; 7) faille normale. Stations microtectoniques: □ J.F. Ritz; ○ Ph. Combes; △ S. Rebai.  
FN: faille de Nîmes; FSC: faille de Salon-Cavaillon; FD: faille de la Durance; FGDC: faille Guillaume-Daluis-Castellane; FVF: faille Vésubie-Mont Féron; FBA: faille St Blaise-Aspremont; FBSM: faille Breil-Sospel-Monaco; FPL: faille de Peille-Laghet; FST: faille Saorge-Taggia; FCF: faille du Camp des Fourches; FBSR: faille de Durance-Serrenne-Roburent.

Fig. 1: Structural sketch map of South-East of France: 1) Nappes of internal units; 2) external crystalline massifs; 3) mesozoic to oligocene deposits; 4) mio-plio-quaternary deposits; 5) thrust; 6) strike-slip fault; 7) normal fault.

grâce notamment à la méthode inverse de détermination des tenseurs des contraintes mise au point par Etchecopar *et al.* (1981), de caractériser en termes de contraintes les divers épisodes tectoniques qui affectent chaque secteur. Pour chacun d'eux les chronologies relatives entre les différents épisodes ont pu être également établies (fig. 2). Puis, chaque succession d'événements tectoniques a pu être corrélée aux épisodes datés dans les zones externes des chaînes subalpines.

Ainsi, la compression N-S qui affecte l'ensemble de la nappe de Digne a pu être datée du Quaternaire par comparaison avec l'épisode de compression N-S d'âge quaternaire mis en évidence au front de cette nappe (Gigot *et al.*, 1974; Clauzon, 1975; Jorda, 1982; Combes, 1984). De même, la compression N-S dans les zones internes de la nappe de Castellane et de Nice a pu être datée du Néogène-Quaternaire par comparaison avec l'épisode de compression N-S d'âge néogène-quaternaire mis en évidence au front des ces mêmes nappes (Goguel, 1936; Gèze, 1963; Vernet, 1968) et qui déforme notamment les conglomérats pliocènes du Var (Campredon *et al.*, 1977; Ritz, 1986).

La compression NE-SW qui affecte la partie externe de la nappe de Digne a été corrélée à la compression ENE-WSW d'âge mio-pliocène qui déforme les conglomérats de Valensole au front de la nappe (Combes, 1984). De même, la compression NE-SW qui affecte la partie interne de la nappe de Digne a été rattachée à cet épisode et donc datée du Miocène moyen-Miocène supérieur. On en déduit donc que l'extension ENE-WSW postérieure, correspondant au jeu des failles normales orientées N150 présentes dans ce secteur de la nappe, a un âge compris entre le Miocène supérieur et le Quaternaire.

L'extension NW-SE qui affecte l'ensemble de la nappe de Digne a été corrélée à l'extension WNW-ESE d'âge

oligocène durant laquelle se sont formés les fossés N-S situés au front de la nappe de Castellane (Giannérini *et al.*, 1977; Giannérini, 1980-1981).

Cette extension est contemporaine, à l'Oligo-Aquitainien (âge du volcanisme du cap d'Ail, de Biot et d'Antibes (Bellon et Brousse, 1971)), d'une phase de compression orientée ENE-WSW qui affecte la partie frontale de la nappe de Nice (Gèze, 1960a; Bulard *et al.*, 1975; Perez, 1975; Irr, 1984; Ritz, 1986). On peut donc en conclure que la compression ENE-WSW qui affecte les zones plus internes de la nappe de Nice est de même âge.

Enfin, la compression NNW-SSE enregistrée dans la nappe de Digne, antérieure à l'ensemble des épisodes tectoniques, a pu être corrélée aux plis orientés N070-N080 d'âge crétacé supérieur-éocène que l'on peut observer dans la vallée de la Bléone (Kerkhove, 1969; Debats *et al.*, 1972; Kerkhove *et al.*, 1978).

### III - RECONSTITUTION DES TRAJECTOIRES DE CONTRAINTES

La première étape de notre étude nous a permis d'établir une chronologie des épisodes tectoniques qui ont affecté la région des Alpes du Sud et de la Provence pendant le Tertiaire et le Quaternaire.

Dans une deuxième étape, nous avons reconstruit pour chaque épisode tectonique le champ de contraintes à partir des données microtectoniques.

Pour ce faire, nous avons fait l'hypothèse que les données ponctuelles de palé contraintes avaient une signification à l'échelle régionale. Pour dessiner le champ de contraintes à partir des cartes de données, nous avons utilisé un programme d'interpolation linéaire en éléments finis (Rebai *et al.*, 1991).

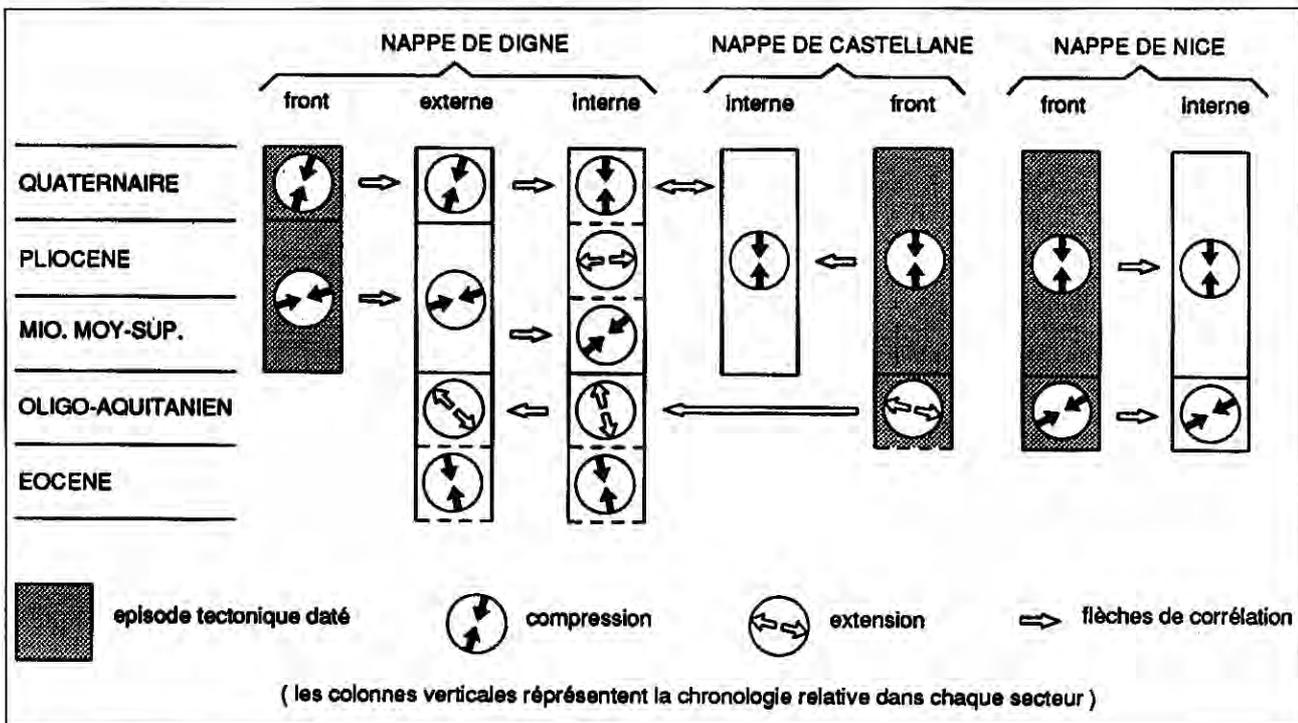


Fig. 2: Tableau des corrélations chronologiques entre les différents épisodes tectoniques mis en évidence par l'étude microtectonique dans chaque secteur des Alpes du Sud.

Fig. 2: Chronological correlations between the different tectonic stages shown by microtectonics in each of the domains of the southern Alps.

## 1 - LE CHAMP DE CONTRAINTES A L'OLIGO-AQUITANIEN

**Les données.-** Les indices microtectoniques de la période oligo-aquitaniennne correspondent soit à une compression NE-SW soit à une extension NW-SE. On remarque (fig. 3a) que les indices compressifs sont localisés uniquement dans l'arc de Nice et la partie orientale de l'arc de Castellane, alors que les indices distensifs se regroupent essentiellement dans la nappe de Digne, jusque dans sa partie la plus interne, et dans la partie méridionale de l'arc de Castellane. Quelques indices se trouvent également localisés dans l'avant-pays (secteur de Biot).

**Modèle de trajectoires de contraintes.-** Le champ de contraintes pour la période oligo-aquitaniennne ne pouvait pas être dessiné par interpolation car la plupart de ces indices ont été déplacés à la suite de la tectonique alpine postérieure et ont subi des rotations importantes. Cependant les données de paléocontraintes sont en assez grand nombre pour nous permettre de distinguer plusieurs secteurs, qui s'individualisent par des régimes de contraintes différents, et également de proposer un modèle du champ de contraintes pour cette période (fig. 3b).

Le décalage du front compressif à l'Oligocène coïncide avec l'emplacement de l'accident Guillaume-Da-luis-Castellane qui aurait joué un rôle transformant

dextre. On sait en effet que cet accident correspond à une limite paléogéographique pendant le Mésozoïque (Dardeau, 1984; Dardeau, 1987; De Graciansky, 1987; Delpech, 1988). Dans ce modèle, on envisage que le front compressif, juste après la période oligo-aquitaniennne, aurait peu varié dans sa partie la plus méridionale alors qu'il se serait déplacé de plusieurs dizaines de kilomètres dans sa partie nord. D'autre part, on peut relier les variations de l'orientation de la contrainte  $\sigma_3$  dans l'avant-pays (au nord du massif des Maures), soit à des phénomènes de perturbations du champ de contraintes à l'Oligocène, soit à une rotation postérieure contemporaine de la mise en place finale des nappes au Mio-Pliocène.

## 2 - LE CHAMP DE CONTRAINTES AU MIOCENE MOYEN-SUPERIEUR

**Les données.-** La carte des données de paléocontraintes (fig. 4a) fait clairement apparaître deux domaines distincts:

(1) Dans la nappe de Digne et la partie Nord de la Provence occidentale, la contrainte majeure  $\sigma_1$  est orientée en moyenne NE-SW; le régime de contraintes est de type compressif le long du chevauchement frontal de la nappe de Digne ainsi que dans l'avant-pays provençal. A l'intérieur de la nappe, le régime de contraintes est variable avec cependant une prédominance du régime décrochant.

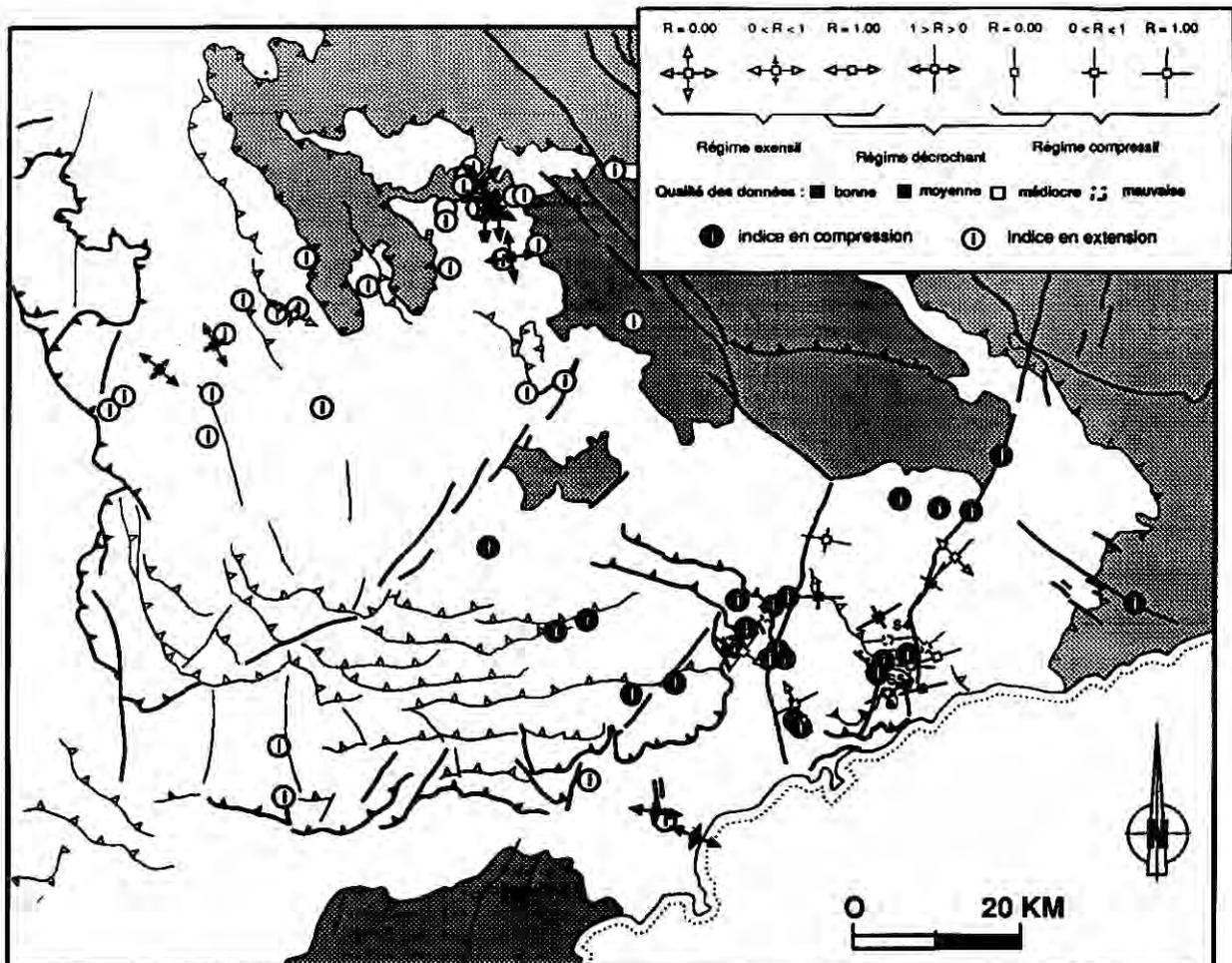


Fig. 3a: Paléocontraintes et indices tectoniques dans les Alpes du Sud pour la période oligo-aquitaniennne.

Fig. 3a: Paleostresses and tectonic indications in the southern Alps during the oligo-aquitaniennne period.

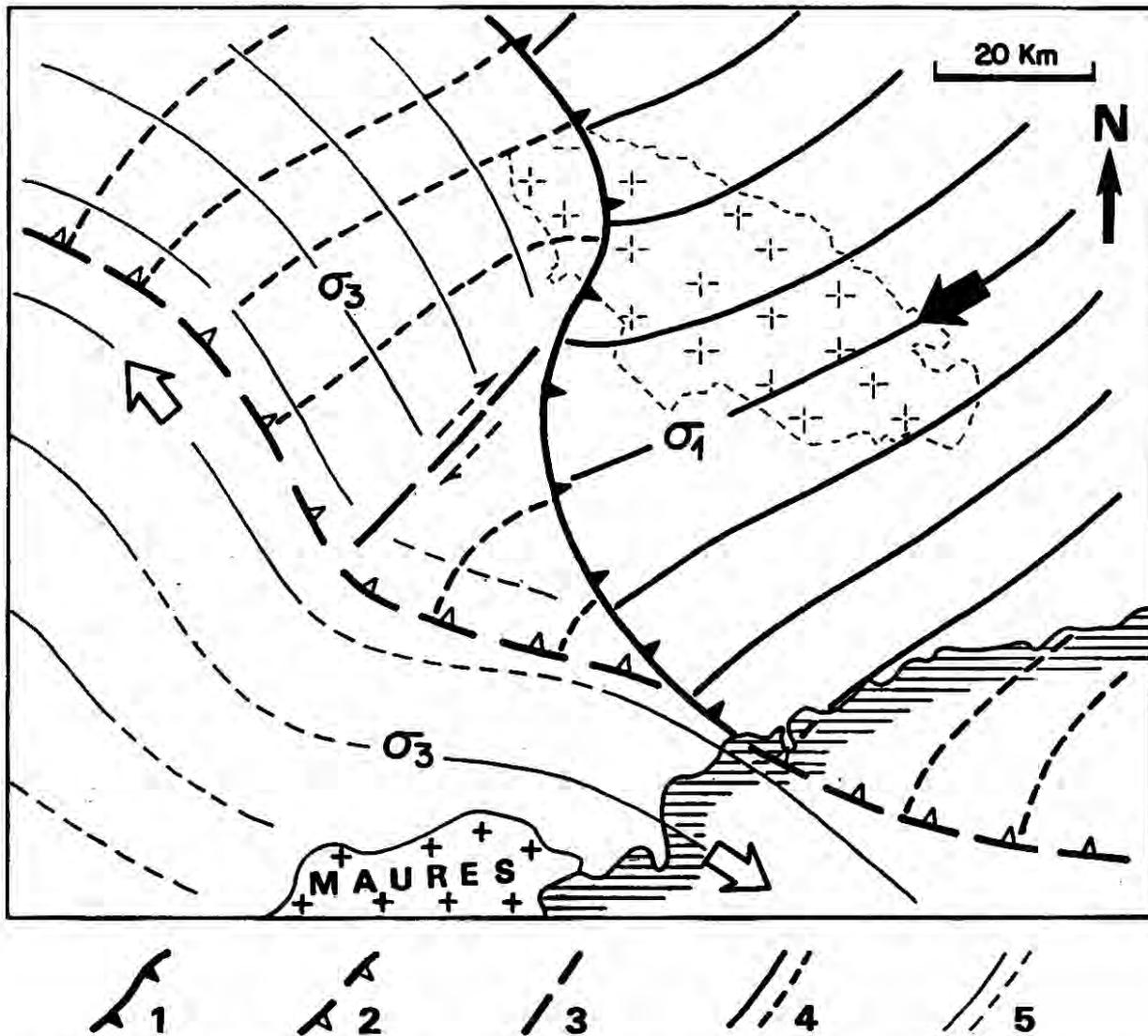


Fig. 3b: Modèle de trajectoires de contraintes pour la période oligo-aquitainienne dans les Alpes du Sud. 1) front compressif; 2) position du front compressif après l'Oligo-Aquitainien; 3) Faille de Guillaume-Daluis-Castellane; 4) trajectoires de  $\sigma_1$ ; 5) trajectoires de  $\sigma_3$ .

Fig. 3b: Model of stress trajectories during oligo-aquitainian period. 1) compressive front; 2) position of the compressive front after the oligo-aquitainian period; 3) Guillaume-Daluis-Castellane fault; 4)  $\sigma_1$  trajectories; 5)  $\sigma_3$  trajectories.

(2) Dans les nappes de Castellane et de Nice, la contrainte majeure  $\sigma_1$  est orientée en moyenne NNW-SSE avec des variations autour de cette direction pouvant être assez importantes. C'est notamment le cas le long de l'accident qui borde à l'ouest la nappe de Nice où  $\sigma_1$  est en moyenne NE-SW. Le régime de contraintes est en général variable sauf le long des failles Vésubie-Mont Férier-St Blaise-Aspremont et Breil-Sospel-Monaco où il est clairement de type décrochant.

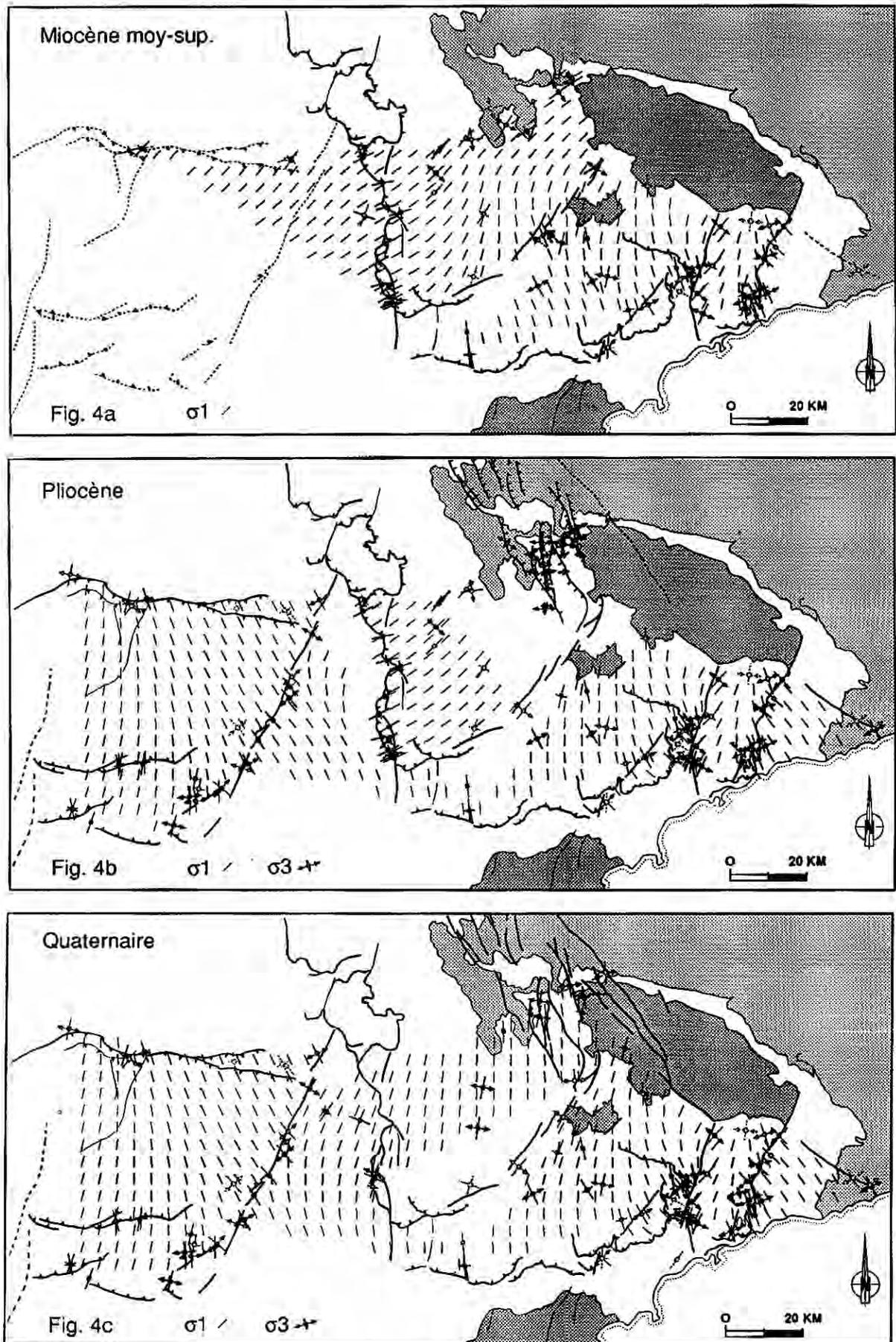
**Modèle de trajectoires de contraintes.**- Les trajectoires de la contrainte  $\sigma_1$  décrivent un éventail depuis le massif cristallin externe de l'Argentera-Mercantour vers l'extérieur de la chaîne (fig. 4a). Elles sont perturbées le long de trois limites tectoniques majeures qui sont: le front chevauchant de la nappe de Digne où  $\sigma_1$  est N070; l'accident Guillaume-Daluis-Castellane séparant les nappes de Digne et de Castellane, le long duquel  $\sigma_1$  est N140, c'est-à-dire sub-perpendiculaire à l'accident dans sa partie médiane; l'accident Vésubie-Mont Férier qui sépare les nappes de Nice et de Castellane, de part et d'autre duquel la direction de  $\sigma_1$  change brutalement (à l'est de la faille,  $\sigma_1$  est orientée NE-SW; à l'ouest de la faille,  $\sigma_1$  est orientée NW-SE).

**Implications tectoniques.**- Dans l'avant-pays de la nappe de Digne, nous avons mis en évidence une direction de contrainte majeure horizontale orientée N045 que nous avons reliée aux effets de la compression NE-SW dans la nappe elle-même (fig. 4a). Cette tectonique est postérieure au Miocène inférieur car elle affecte les calcaires coquilliers d'âge burdigalien à Montbrun, au nord du Mont-Ventoux.

Cette direction de compression a également été mise en évidence par Villéger (1984) dans la région du Lubéron et de la Trévaresse qui attribue cette phase au Langhien. L'auteur parle de phase E-W (N070) «discrète»; aucun tenseur n'a été calculé.

Chenevas-Paule (1987) mentionne également une compression N070-N080 dans son étude microtectonique le long du Verdon, au sud du plateau de Valensole.

Mais, en ce qui concerne la période du Miocène supérieur (à partir du Serravalien), l'ensemble des études microtectoniques (Villéger, 1984; Combes, 1984; Casagrande Fioretti, 1985; Bergerat, 1987; Qin Huang, 1987) s'accordent pour reconnaître que la Provence occidentale (panneau nord-provençal) est affectée par un épisode compressif N-S, contemporain d'une compression NE-SW dans la nappe de Digne.



**Fig. 4:** Cartes des champs de paléocontraintes dans les Alpes du Sud pour les périodes Miocène moyen-Miocène supérieur (a), Pliocène (b) et Quaternaire (c). Même légende que la figure 3a pour les données de paléocontraintes.

*Fig. 4: Paleostress field maps in the southern Alps during the following periods: middle-upper Miocene, Pliocene, Quaternary. The caption for the paleostress data is the same as figure 3a.*

Combes (1984) propose un modèle de champ de contraintes pour la période mio-pliocène où la direction moyenne de la contrainte  $\sigma_1$  est NNE-SSW sur l'ensemble de la région Alpes du Sud-Provence avec une déviation importante du champ de contraintes le long du chevauchement frontal de la nappe de Digne. Mais ce modèle s'accorde mal avec les résultats de notre étude qui montrent qu'à cette époque la contrainte majeure  $\sigma_1$  était orientée NE-SW. Cette phase de compression serait contemporaine de la mise en place finale des nappes du domaine externe sur l'avant-pays provençal et du soulèvement du massif cristallin externe de l'Argentera-Mercantour (Mansour *et al.*, 1990). Il paraît alors difficile d'envisager que plus à l'ouest, en Provence occidentale, la direction de la compression soit N-S. Ceci impliquerait en effet des déplacements dans le socle très différents d'un domaine à l'autre et par conséquent l'existence de phénomènes de perturbations de contraintes très importants dans le substratum.

Nous proposons donc que la compression NE-SW, mise en évidence dans le panneau nord provençal, dure jusqu'au Miocène supérieur. L'épisode tectonique N-S postérieur à cette phase serait donc plus récent et d'âge pliocène.

### 3 - LE CHAMP DE CONTRAINTES AU PLIOCENE

**Les données.**- La carte des données de paléocontraintes pour la période pliocène (fig. 4b) permet de distinguer quatre domaines:

1 - dans l'avant-pays provençal, la direction de la contrainte  $\sigma_1$  est orientée en moyenne N-S. Cette direction est déviée le long de la faille de la Durance: dans la partie médiane de l'accident,  $\sigma_1$  est orientée en moyenne N140; alors qu'aux extrémités du décrochement, la direction de  $\sigma_1$  est parallèle d'un côté de la faille et subperpendiculaire de l'autre. Le régime de contraintes est de type compressif au niveau des chevauchements du Mont-Ventoux-Montagne de Lure, du Lubéron et des Costes. Il est de type décrochant le long de la faille de la Durance.

2 - dans la partie externe de la nappe de Digne, la direction de la contrainte  $\sigma_1$  n'a pas changé par rapport à la période du Miocène moyen-supérieur. Elle est orientée en moyenne NE-SW. De même, le régime de contraintes est resté de type compressif.

3 - dans la partie la plus interne de la nappe de Digne, le régime de contraintes a radicalement changé par rapport à la période précédente puisqu'il est devenu extensif avec la contrainte mineure  $\sigma_3$  orientée en moyenne E-W.

4 - dans les nappes de Castellane et de Nice, le champ de contraintes a gardé les mêmes caractéristiques qu'au Miocène moyen-supérieur avec  $\sigma_1$  orientée en moyenne NNW-SSE. Il en est de même pour le régime de contraintes qui est resté de type décrochant le long des deux accidents qui limitent latéralement la nappe de Nice, ainsi que le long de l'accident Saorge-Taggia.

On note cependant deux changements très localisés dans ce domaine: il s'agit d'une part de l'existence d'une perturbation locale du régime des contraintes à l'extrémité nord-ouest de la faille Peille-Laghet où il est de type extensif avec  $\sigma_3$  orientée en moyenne WSW-ENE; d'autre part, dans la partie médiane de l'accident Guillaume-Daluis-Castellane, la direction de  $\sigma_1$  est devenue parallèle à celui-ci alors qu'elle était au contraire subperpendiculaire pendant le Miocène moyen-supérieur.

**Modèle de trajectoires de contraintes.**- En ce qui concerne la faille de la Durance, nous avons vu que la direction de la contrainte  $\sigma_1$  était très différente de part et d'autre des deux extrémités de la faille. Nous avons donc interpolé indépendamment les données situées à l'ouest et à l'est de la faille de la Durance (fig. 4b).

Dans le secteur situé à l'est de la faille, c'est-à-dire le plateau de Valensole, nous avons supposé que le champ de contraintes était continu avec la partie sud-ouest de la nappe de Castellane. De fait, pour la période pliocène, l'avant-pays provençal et la partie sud des chaînes subalpines (nappes de Castellane et de Nice) sont sous un régime de contraintes globalement N-S.

Dans la nappe de Digne, les phénomènes extensifs situés en arrière de la nappe sont contemporains des phénomènes compressifs localisés en avant de la nappe (Labaume *et al.*, 1989). On a proposé que cette disposition générale correspondait au glissement gravitaire de la couverture sédimentaire du massif cristallin externe de l'Argentera-Mercantour. Celui-ci serait contemporain du soulèvement de ce massif. Dans cette hypothèse, la direction de la contrainte  $\sigma_1$  NE-SW au front de la nappe, et la direction de la contrainte  $\sigma_3$  E-W à l'arrière, ne concerneraient alors que la couverture sédimentaire décollée de son substratum.

**Implications tectoniques.**- Au Pliocène, le domaine de la nappe de Digne s'individualise fortement du reste de la région (fig. 4b). En effet, à l'ouest et au sud, l'avant-pays provençal et les chaînes subalpines de Castellane et de Nice sont affectés par une tectonique compressive N-S, tandis qu'au nord la nappe de Digne est affectée à la fois par une tectonique compressive NE-SW dans sa partie externe, et par une tectonique extensive E-W dans sa partie interne.

L'individualisation de la nappe de Digne tient peut-être au fait de l'existence du bassin molassique de Valensole situé à son front, qui a joué le rôle de bordure libre permettant ainsi une avancée facile de la nappe et l'expression de phénomènes gravitaires. La nappe, guidée latéralement par l'accident Guillaume-Daluis-Castellane, aurait continué de glisser vers le SW et ceci indépendamment des mouvements du socle sous-jacent.

Par contre il n'y a pas de bassin d'avant-chaîne au front de la nappe de Castellane. Celle-ci s'est bloquée contre le massif des Maures, expliquant ainsi l'absence de structures gravitaires et, au contraire, un plus grand développement des structures compressives. La cinématique de la nappe de Castellane serait conforme aux jeux des failles dans le substratum.

Par conséquent le champ de contraintes que l'on peut reconstituer dans la nappe de Digne (compression NE-SW à l'ouest et extension E-W à l'est) ne concernerait que la couverture sédimentaire, tandis que dans le substratum, sous la nappe, ainsi que latéralement au niveau du plateau de Valensole et dans la nappe de Castellane, le champ de contraintes serait le même dans la couverture et dans le socle, c'est-à-dire avec  $\sigma_1$  orientée en moyenne N-S.

Ce phénomène de découplage socle-couverture peut être également proposé dans le cas de la nappe de Nice. En effet il faut expliquer l'allure du champ de contraintes en éventail qui a pour conséquence de faire fonctionner en décrochement dextre et senestre les deux accidents parallèles qui bordent la nappe (fig. 4b). Il est difficile d'envisager que, dans le socle, ces deux failles puissent également avoir des sens de jeux opposés (ceci entraînerait l'existence d'une «structure en tiroir» dans

le substratum sous la couverture). Dans ce cas également, il faut faire intervenir des phénomènes de découplages socle-couverture pour expliquer cette disposition générale.

#### 4 - LE CHAMP DE CONTRAINTES AU QUATERNAIRE

**Les données.-** La carte des données de paléocontraintes pour le Quaternaire (fig. 4c) montre que l'ensemble de la région Alpes du sud - Provence occidentale est dominé par une tectonique compressive N-S.

En ce qui concerne le domaine de la Provence occidentale et celui des nappes de Castellane et de Nice, on retrouve exactement les mêmes caractéristiques que celles du champ de contraintes pliocène. La contrainte  $\sigma_1$  est orientée en moyenne N-S. Cette direction est perturbée le long des accidents décrochants de la Durance, de Guillaume-Daluis-Castellane et de Vésubie-Mont Férion-St Blaise-Aspremont. De même le régime de contraintes est resté le même, à savoir compressif le long des chevauchements E-W du Mont Ventoux, de la Montagne de Lure, du Lubéron et des Costes, et décrochant le long des accidents de la Durance, de Guillaume-Daluis-Castellane, de Vésubie-Mont Férion-St Blaise-Aspremont, de Breil-Sospel-Monaco et de Saorge-Taggia.

Par contre, dans la nappe de Digne, les caractéristiques du champ de contraintes ont radicalement changé par rapport à la période précédente. L'ensemble de la nappe est affecté par un régime de contraintes globalement de type décrochant, et la direction de la contrainte majeure  $\sigma_1$  est en moyenne N-S.

**Interpolation des données.-** Nous avons interpolé séparément les données de part et d'autre du décrochement de la Durance. Le modèle de trajectoires obtenu est tout à fait semblable à celui proposé pour la période pliocène et montre clairement la perturbation liée à l'accident (fig. 4c). Dans ce dernier modèle nous n'avons pas interpolé les trajectoires de la contrainte  $\sigma_1$  le long

de l'accident Guillaume-Daluis-Castellane qui sépare les nappes de Digne et de Castellane, les données disponibles le long du décrochement n'étant pas assez nombreuses. Il est probable que le même type de perturbation que celui qui existe dans le cas de la faille de la Durance se produit ici, à savoir qu'à l'extrémité sud-ouest du décrochement  $\sigma_1$  serait subperpendiculaire à la faille du côté de la nappe de Castellane, et au contraire parallèle à la faille du côté de la nappe de Digne.

**Implications tectoniques.-** Les caractéristiques du champ de contraintes au Quaternaire sont les mêmes que celles de la période pliocène en ce qui concerne le panneau nord-provençal et les chaînes subalpines de Castellane et de Nice. Ceci implique que la cinématique des grands accidents est restée la même. Par contre elles ont radicalement changé dans la nappe de Digne. On passe d'une compression NE-SW dans la partie externe de la nappe, associée à une extension E-W à l'arrière, à une compression N-S généralisée sur l'ensemble de la nappe (fig. 4c). Ce changement rapide du régime de contraintes serait lié au blocage du chevauchement externe de la nappe qui coïncide avec la fin de la sédimentation dans le bassin de Valensole. La couverture sédimentaire redeviendrait alors solidaire de son substratum, entraînant la reprise en décrochements dextres des chevauchements frontaux et des failles normales situées à l'arrière de la nappe.

#### IV - CALCUL DES MECANISMES AUX FOYERS POSSIBLES SUR LES FAILLES SUSCEPTIBLES D'ETRE ACTIVES

L'étude de l'évolution du champ de contraintes dans les Alpes du Sud nous a permis de reconstituer l'histoire tectonique de la région depuis l'Oligocène-Aquatanién et avec plus de précision depuis le Miocène moyen-supérieur. Cette reconstitution spatio-temporelle nous a également permis de mettre en évidence les limites tectoniques importantes qui affectent la région. L'un

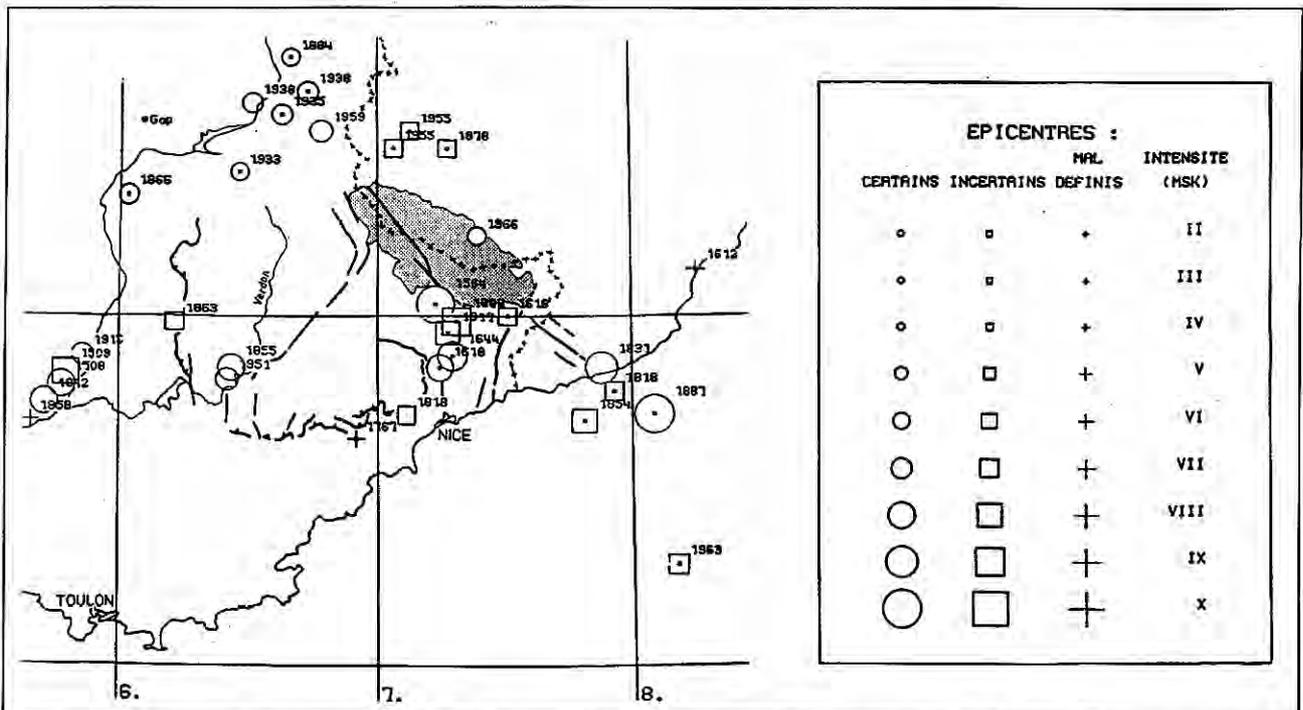


Fig. 5: Carte de la sismicité historique dans la région des Alpes du Sud. Epicentres (BRGM 84). Intensité  $\geq$  VI-VII. Schéma structural ajouté.

Fig. 5: Map of the historical seismicity in the southern Alps. BRGM epicenters (1984). Intensity  $\geq$  VI-VII. Structural features have been added.

des intérêts de notre étude est donc de pouvoir définir les caractéristiques cinématiques, et de ce fait les mécanismes aux foyers des failles susceptibles d'être actives, à partir de leur géométrie et des données de contraintes quaternaires. Les Alpes du Sud représentent en effet une des régions les plus sismiques de France: d'importants tremblements de terre (Intensité > VI-VII) ont eu

lieu au cours des derniers 500 ans (fig. 5). Parmi ceux-là deux ont occasionné des destructions importantes et la perte de nombreuses vies humaines (Vogt, 1979): il s'agit du séisme du 20/07/1564 de la Bollène dans la vallée de la Vésubie ( $I_0 = VII$ ) et du séisme ligure du 23/02/1887 ( $I_0 = VIII-IX$ ) situé dans le golfe de Gênes. Par ailleurs les données de la sismicité instrumentale

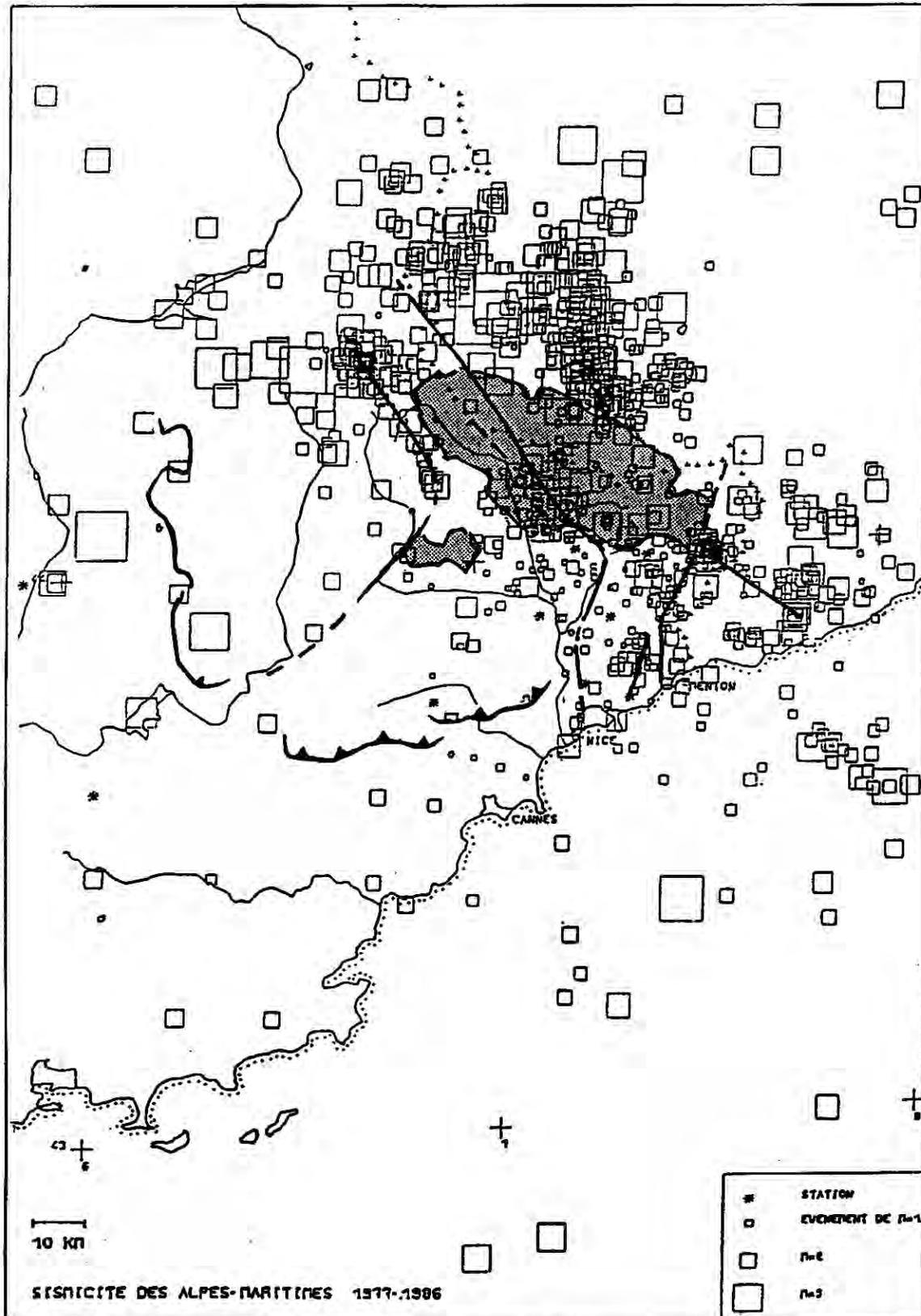


Fig. 6: Carte de la sismicité instrumentale des Alpes maritimes (1977-1986) (Hoang-Trong et Herquel, 1990). Schéma structural ajouté.

Fig. 6: Map of the recorded seismicity in the «Alpes maritimes» (1977-1986) (Hoang-Trong and Herquel, 1990). Structural features have been added.

(fig. 6) montrent que cette activité sismique n'est pas homogène sur l'ensemble de la région. L'essentiel de l'activité se situe dans les domaines internes et dans le bassin nord-ligure (golfe de Gênes).

Le modèle sismotectonique présenté ici est basé sur le calcul, comme l'avait fait Combes (1984) pour la Provence occidentale, des mécanismes aux foyers possibles dans les différents secteurs considérés comme sismiquement actifs. Pour ce faire une méthode graphique utilisant la projection stéréographique nous permet de calculer la localisation et le sens de la strie (Etchecopar, 1984; Combes, 1984; Ritz, 1991). La construction du plan perpendiculaire à la strie et passant par le pôle du plan de faille détermine le plan auxiliaire du mécanisme au foyer.

Quatorze mécanismes aux foyers ont été calculés (fig. 7). Nous les comparons et les discutons par rapport aux données sismologiques.

#### - LE SECTEUR DE BARCELONNETTE (mécanismes n° 1, 2 et 3)

Un réseau de grands décrochements orientés N150 en moyenne affecte ce secteur. Il s'agit d'un réseau de failles normales d'âge pliocène qui ont joué en décro-

chement dextre lors de l'épisode compressif N-S au Quaternaire. Sur la figure 6 on remarque que dans ce secteur les microséismes sont alignés selon une direction N150, parallèle donc aux accidents tectoniques reconnus.

Les mécanismes calculés à partir du champ de contraintes et de la géométrie des failles dans ce secteur donnent des solutions focales de type décrochant avec une composante normale (fig. 7). Il y a une très bonne cohérence entre les mécanismes n° 1 et n° 3 estimés à partir de nos données de contraintes et ceux calculés à partir des données sismologiques (fig. 8), qui correspondent respectivement à un mécanisme composite calculé à partir des enregistrements du réseau de surveillance des Alpes Maritimes dans la période de temps 05/83-09/85 (Ritz et Rivera, non publié) et au mécanisme du séisme du 09/05/87 déterminé par Bethoux *et al.* (1988).

#### - LA FAILLE DE BERSEZIO (mécanismes n° 4 et n° 5)

Située juste à l'est du précédent réseau de failles ce grand décrochement traverse le massif cristallin de l'Argentera-Mercantour. La sismicité instrumentale (fig. 6) ne montre pas d'alignement de séismes le long de cet

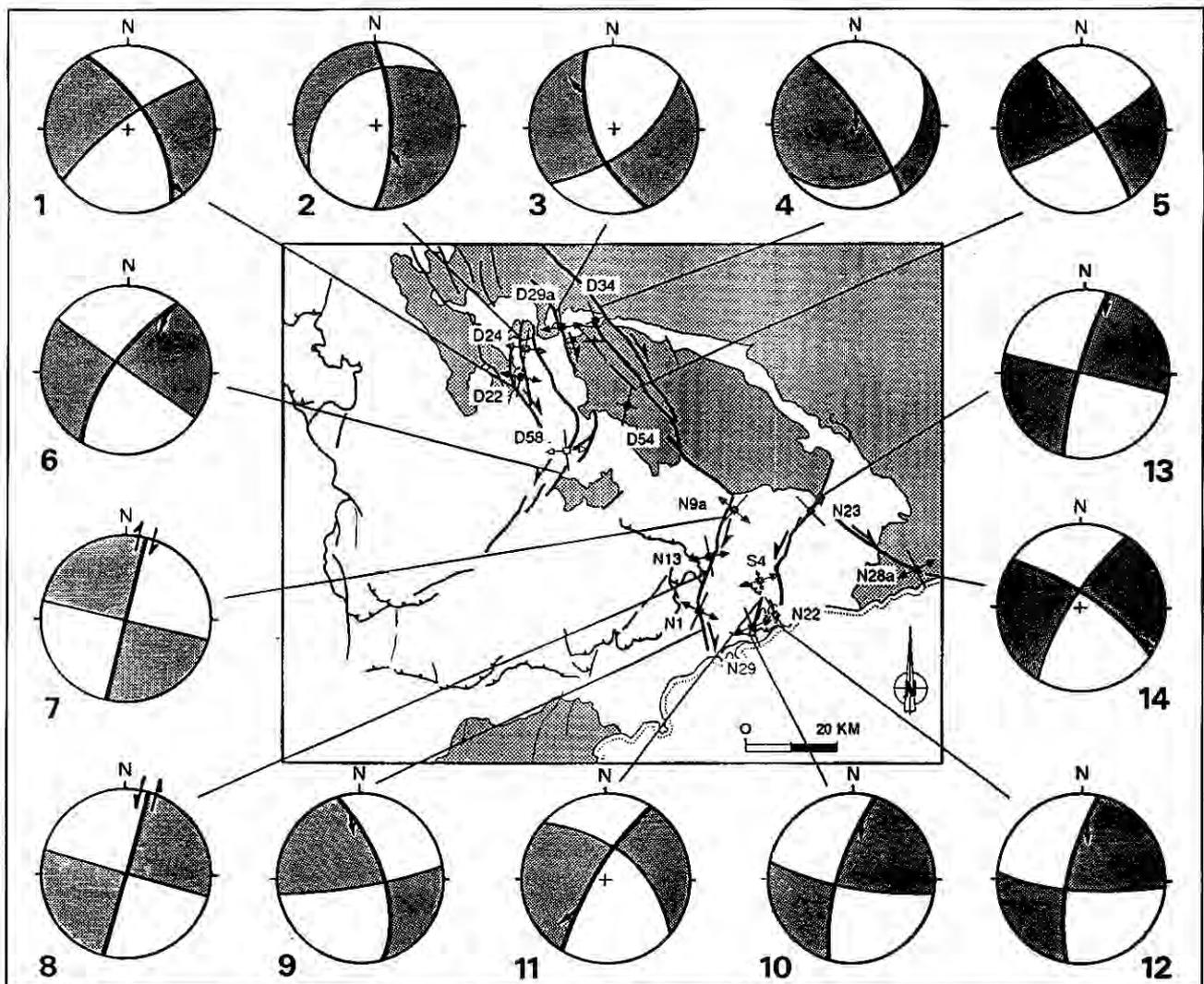


Fig. 7: Estimation des mécanismes aux foyers possibles dans les Alpes du Sud à partir des données de contraintes (diagramme de Wulff, hémisphère inférieur).

Fig. 7: Possible focal mechanisms in the southern Alps estimated from stresses data (Wulff diagram, lower hemisphere).

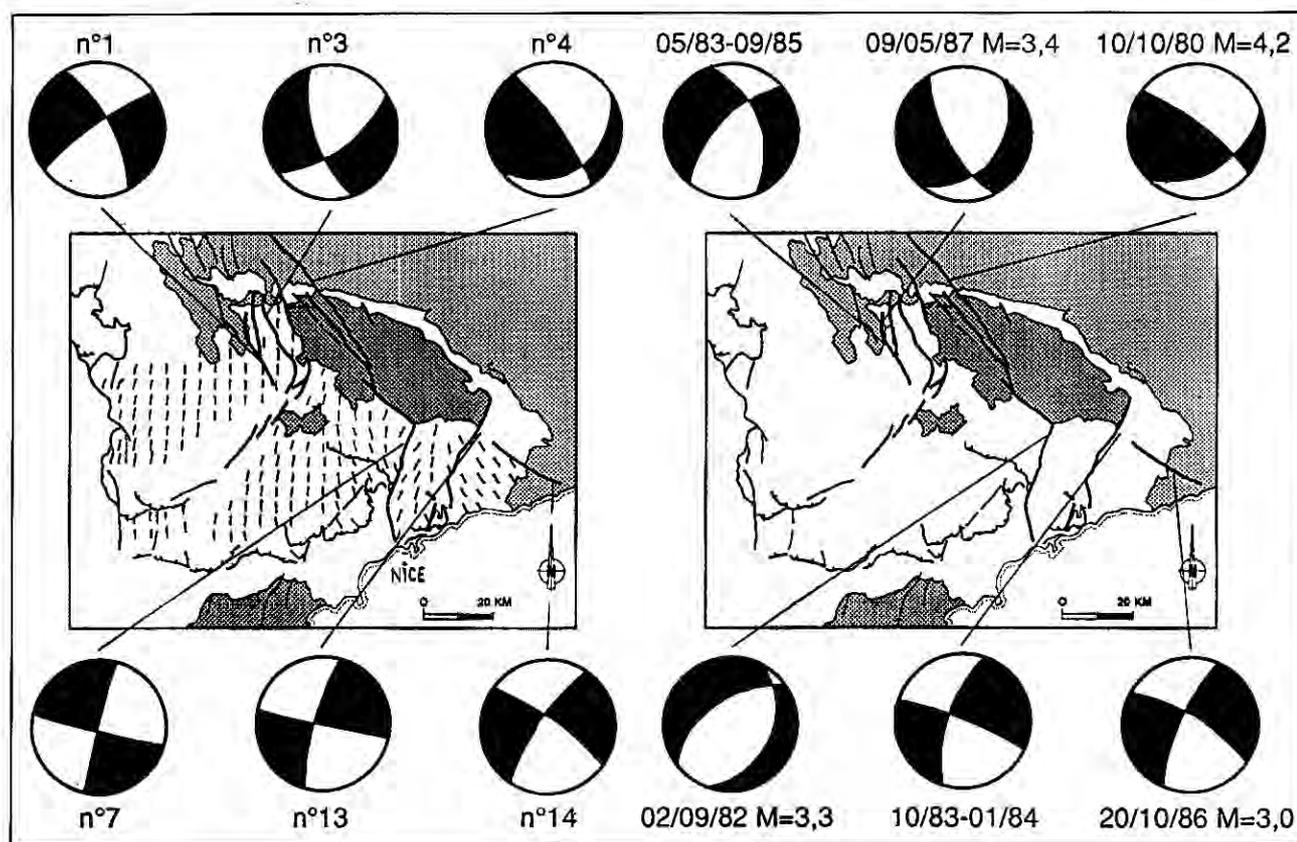


Fig. 8: Comparaison entre les mécanismes aux foyers estimés et les mécanismes aux foyers calculés à partir des données sismologiques (1980-1987).

Fig. 8: Comparison between estimated focal mechanisms and recent focal mechanisms calculated from sismological data (1980-1987).

accident; on constate toutefois qu'une activité relativement diffuse existe dans sa partie sud. Le séisme destructeur de la Bollène (1564) (fig. 5) pourrait être rattaché au jeu de cette faille.

Deux mécanismes aux foyers possibles ont été calculés (fig. 7). Dans la partie nord de l'accident le mécanisme n° 4 correspond au jeu inverse décrochant de la faille. Cette solution est très cohérente avec la solution focale proposée pour le séisme du 10/10/80 publié par Nicolas *et al.* (1990), localisé un peu plus au nord (fig. 8). Dans la partie médiane de la faille le mécanisme calculé n° 5 correspond à un jeu décrochant dextre.

#### - LE DECROCHEMENT GUILLAUME-DALUIS-CASTELLANE (mécanisme n° 6)

Cet accident qui sépare la nappe de Digne et la nappe de Castellane a fonctionné en décrochement senestre durant le Mio-Pliocène (fig. 4). L'étude néotectonique montre en outre que ce secteur s'est déformé au Quaternaire, notamment dans le secteur du Dôme de Barrot (Julian, 1984; Ritz, 1991). Si du point de vue de la sismicité instrumentale aucune activité particulière ne peut être associée à cette faille (fig. 6), on note cependant deux tremblements de terre historiques en 1855 et 1951, situés tous les deux à l'extrémité sud-ouest du décrochement, près de Castellane (fig. 5).

Le mécanisme n° 6 calculé à partir de l'état de contraintes de la station n° D58 correspond à un jeu senestre avec une strie sub-horizontale le long de l'accident (fig. 7).

#### - LE SECTEUR OUEST ET NORD-OUEST DE L'ARC DE NICE (mécanismes n° 7, 8, 9)

Il s'agit d'un secteur difficile à cerner sur le plan sismotectonique. Si de très gros séismes destructeurs y ont été ressentis (1564, 1618, 1644, 1817?, 1888?) (fig. 5), cette activité majeure ne se traduit pas du tout sur le plan de la sismicité instrumentale qui est peu importante et relativement diffuse (fig. 6). Les aires pleistoséistes déterminées à partir de l'étude de la sismicité historique sont regroupées dans le secteur de la vallée de la Vésubie, où les terrains évaporitiques du Trias supérieur affleurent largement. On peut donc se demander si les intensités macrosismiques localisées dans ce secteur ne sont pas liées à des effets cosismiques indirects très importants (glissements de terrains, éboulements, etc...).

Toutefois on doit considérer que l'axe tectonique qui correspond à cette vallée, l'accident Vésubie-Mont Férion, est susceptible de jouer étant donné l'orientation des contraintes dans ce secteur. Mais l'estimation des mécanismes aux foyers possibles est délicate, car elle est différente selon qu'on envisage un foyer près de la surface ou en profondeur. En effet cette étude a montré que le champ de contraintes en surface n'était probablement pas le même dans la couverture sédimentaire (où  $\sigma_1$  orientée N030 impliquerait un jeu dextre de la faille) et dans le socle (où  $\sigma_1$  orientée N150 impliquerait un jeu senestre) (cf. chap. III.3, fig. 4). Deux mécanismes décrochants de sens opposés sont donc possibles (n° 7 et 8) (fig. 7), mais ces deux estimations ne sont pas en accord avec le mécanisme du séisme du 02/09/82 en faille normale publié par Béthoux *et al.* (1988) (fig. 8).

D'autre part il n'est pas exclu qu'un chevauchement aveugle dans le socle, sous la couverture, ne soit pas actuellement actif.

#### - LA BORDURE EST DE L'ARC DE NICE (mécanismes n° 10, 11, 12 et 13)

La bordure est de la nappe de Nice est une zone sismotectonique importante. En effet on constate sur la figure 6 que ce secteur correspond à une zone d'activité sismique relativement marquée. Les séismes sont regroupés notamment autour de la faille Peille-Laghet dans la partie sud de la nappe, et le long de la faille Breil-Sospel-Monaco. Dans la partie nord de la nappe on remarque un foyer très dense de microséismes localisés à l'intersection des failles Breil-Sospel-Monaco et Saorge-Taggia.

Quatre mécanismes tectoniques possibles (n° 10, 11, 12 et 13) ont été calculés à partir des tenseurs des contraintes des stations n° N29, S4, N22 et N23 (fig. 7). Ils correspondent tous les quatre au jeu senestre des failles Peille-Laghet et Breil-Sospel-Monaco. Le mécanisme n° 11 comporte une composante normale importante étant donné le régime de contrainte extensif dans ce secteur. Le mécanisme n° 13 est très proche de la solution focale composite calculée par Hoang-Trong *et al.* (1987) à la suite de la crise sismique dans la vallée de la Roya pour la période 10/83-01/84 (fig. 8).

#### - L'ACCIDENT SAORGE-TAGGIA (mécanismes n° 14)

Cet accident orienté NW-SE correspond à une faille active conjuguée au décrochement senestre de Breil-Sospel-Monaco (Hoang-Trong *et al.*, 1987). Le séisme historique de 1831, localisé dans son prolongement sud-est, près de Taggia, ainsi que celui de 1818 situé en mer (fig. 5) pourraient lui être associés. Le mécanisme n° 14, calculé à partir des données de contraintes de la station n° N28a, correspond à un jeu senestre de la faille (fig. 7). Ce résultat est en accord avec le mécanisme du séisme du 20/10/86 calculé par Béthoux *et al.* (1988), localisé un peu plus au nord sur l'accident (fig. 8).

#### - LE NORD DE L'ARGENTERA-MERCANTOUR

La sismicité historique et actuelle du secteur situé entre le massif cristallin externe de l'Argentera-Mercantour et le massif cristallin interne de Dora-Maira est difficile à interpréter. Les nombreux mécanismes aux foyers calculés sont très variables; mécanismes décrochants, normaux ou inverses coexistent (Fréchet, 1978; Rehault et Bethoux, 1984; Bethoux *et al.*, 1988; Delpech, 1988; Nicolas *et al.*, 1990). Fréchet (1978) interprète l'ensemble de cette sismicité comme liée à une ligne active entre Briançon et Imperia correspondant à une série de failles longitudinales parallèles, décrochantes dextres. Bethoux *et al.* (1988) font l'hypothèse que les mécanismes en failles normales correspondent à des «mouvements secondaires intégrés dans un mouvement de plus grande ampleur décrochant dextre».

Nous n'avons pas de données de contraintes dans ce secteur et nous ne pouvons donc pas proposer de mécanismes. Cependant, dans le cas de la partie nord-ouest du massif de l'Argentera-Mercantour, on a vu que les solutions focales possibles pouvaient être très diverses (fig. 7, n° 1, 2, 3 et 4). Cette diversité des mécanismes aux foyers peut être expliquée avec de faibles variations de la direction des contraintes, et/ou du rapport de forme

de l'ellipsoïde des contraintes, et/ou de la direction et du pendage des failles (Ritz, 1991). On peut donc envisager que des états de contraintes peu différents puissent expliquer la variabilité des solutions focales calculées dans la région située entre l'Argentera et Dora-Maira.

#### - LE BASSIN OCEANIQUE LIGURO-PROVENÇAL

La sismicité historique (1818?, 1854?, 1887) (fig. 5) et instrumentale de ce secteur en fait un des domaines les plus actifs sur le plan sismotectonique. Cette activité se localise notamment au niveau des marges du bassin océanique. Les mécanismes aux foyers calculés à partir des séismes récents (Béthoux *et al.*, 1988; Delpech, 1988) et notamment le mécanisme du séisme du 19/07/63 (magnitude 6.0) Bossolasco *et al.*, 1972), indiquent une direction moyenne E-W de l'axe P. Cette direction est par conséquent très différente de la direction moyenne N-S des axes P sur la côte ligure. Béthoux *et al.* (1988), Delpech (1988), Réhault et Béthoux (1984) relient ce changement de direction aux caractéristiques crustales particulières de cette zone de transition entre domaine continental et domaine océanique.

Pour notre part nous interprétons ce changement de direction en termes de déviations de contraintes. La contrainte majeure  $\sigma_1$  serait déviée le long des accidents NE-SW qui limitent les marges nord et sud du bassin liguro-provençal. Ces accidents qui correspondent à d'anciennes failles normales jouent alors en failles inverses. Ce phénomène d'inversion tectonique a été observé dans le golfe de Gênes, au nord du bassin liguro-provençal dans les sédiments plio-quadernaires (Rehault, 1981).

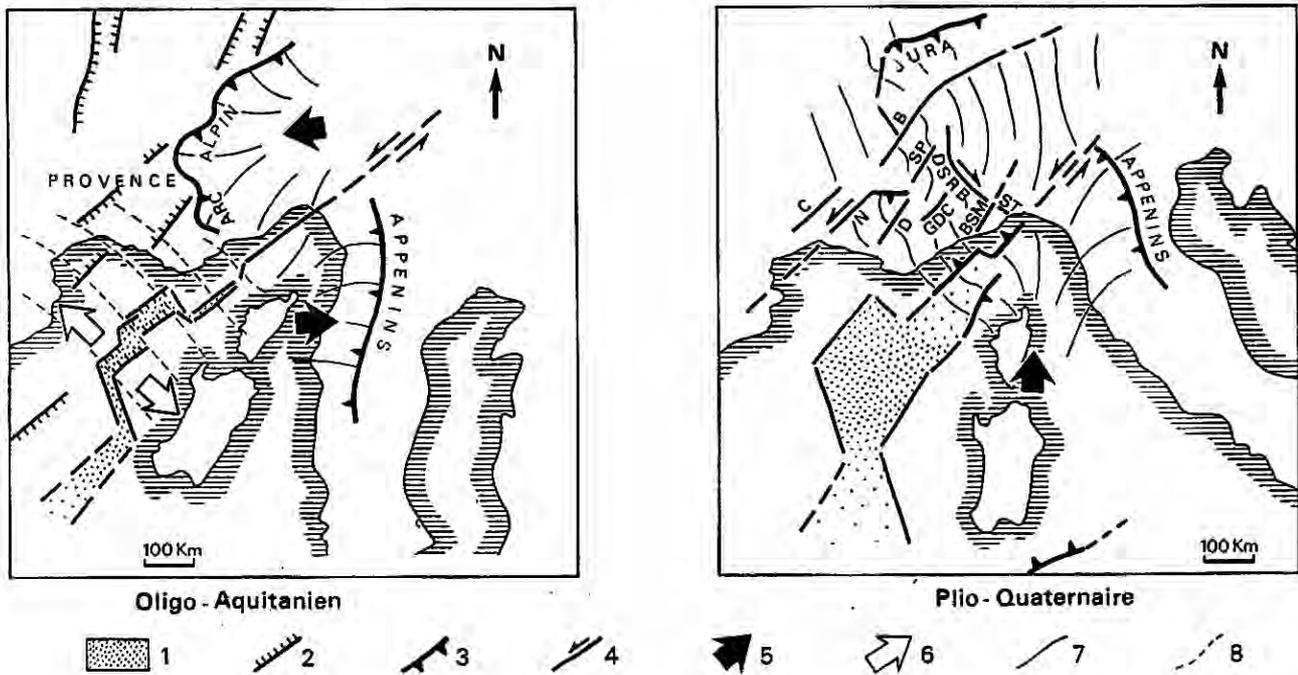
La solution focale du séisme du 26 décembre 1989 (Ritz *et al.*, 1990) localisé au niveau de la marge nord du bassin océanique, au large de Nice, donne une direction d'axe P N125, c'est-à-dire intermédiaire entre la direction N170, sur la côte, et la direction N080 dans le bassin. Ce résultat va dans le sens de l'hypothèse d'un champ de contrainte «continu» dont la variation rapide au niveau du bassin est à relier à des phénomènes de déviation le long d'accidents préexistants (anciennes failles normales NE-SW, failles transformantes NW-SE).

#### CONCLUSION: MODELE GEODYNAMIQUE

L'étude de l'évolution des paléochamps de contraintes dans la région des Alpes du Sud et de la Provence, depuis l'Oligo-Aquitainien jusqu'au Quaternaire, nous permet de proposer un modèle géodynamique et d'évolution du champ de contraintes pour l'ensemble Alpes du Sud-Provence/bassin liguro-provençal/bloc corso-sarde (fig. 9). Ce modèle comprend deux étapes successives.

La première correspond à la période oligo-aquitainienne au cours de laquelle des phénomènes compressifs liés à l'avancée du front alpin vers les zones externes et des phénomènes distensifs liés à l'ouverture du bassin océanique liguro-provençal (rotation du bloc corso-sarde) coexistent. A l'intérieur de l'arc alpin le régime de contraintes est de type compressif et les trajectoires de la contrainte majeure  $\sigma_1$  sont radiales. A l'extérieur de l'arc, le régime de contraintes est de type extensif avec une direction moyenne de  $\sigma_3$  NW-SE.

La deuxième étape correspond à la période plio-quadernaire durant laquelle un régime de contraintes différent affecte l'ensemble de la région. Celui-ci est



**Fig. 9: Modèle d'évolution géodynamique de l'ensemble Alpes/bassin océanique liguro-provençal/bloc corso-sarde.** 1) croûte océanique; 2) faille normale; 3) chevauchement; 4) décrochement; 5) déplacement par rapport à la plate-forme nord-européenne entraînant une compression; 6) déplacement par rapport à la plate-forme nord-européenne entraînant une extension; 7) trajectoires de  $\sigma_1$ ; 8) trajectoire de  $\sigma_3$ . C: faille des Cévennes; N: faille de Nîmes; D: faille de la Durance; GDC: faille Guillaume-Daluis-Castellane; BSM: faille Breil-Sospel-Monaco; ST: faille Saorge-Taggia; DSRB: faille de Durance-Serrenne-Roburent-Bersézio; SP: faille sud-Pelvoux; FB: faille de Beldonne.

*Fig. 9: Geodynamical model for the evolution of the Alps/Ligurian oceanic basin/Corso-sarde continental block system.* 1) oceanic crust; 2) normal fault; 3) thrust; 4) strike-slip fault; 5) movement with respect to the north European platform which implies compressive tectonics; 6) movement with respect to the north European platform which implies extensive tectonics; 7)  $\sigma_1$  trajectories; 8)  $\sigma_3$  trajectories.

globalement de type décrochant avec  $\sigma_1$  orientée en moyenne N-S. La plupart des accidents du domaine alpin jouent alors en décrochement. A partir de cette période la chaîne des Alpes cesse de fonctionner en tant qu'arc. Celui-ci est redécoupé par tout un ensemble de décrochements conjugués. Ce changement radical du régime de contraintes serait dû à la remontée vers le nord du bloc corso-sarde sous l'effet de la poussée de la plaque africaine. Cette deuxième étape permettrait ainsi d'expliquer les phénomènes d'inversion tectonique d'âge plio-quaternaire mis en évidence dans les sédiments de la marge nord-ligure (Rehault, 1981) ainsi que dans ceux du canal de Sardaigne (Tricart *et al.*, 1990).

#### REMERCIEMENTS

Ce travail a été réalisé dans le cadre d'une thèse de doctorat dirigée par Hervé Philip et financée par une bourse M.R.T. et une A.T.P. Sismogénèse-plis-failles. Je remercie Philippe Combes qui a mis à ma disposition l'ensemble de ses données sur la Provence occidentale, ce qui a permis de faire la synthèse de l'évolution du champ de contraintes dans les Alpes du Sud et son avant-pays provençal. Je remercie également les deux rapporteurs pour leurs commentaires sur l'article.

#### BIBLIOGRAPHIE

BELLON, H. et BROUSSE, R., 1971 - L'âge oligo-miocène du volcanisme ligure. *C.R. Acad. Sci. Paris*, 272, série D, 3109-3111.  
BERGERAT, F., 1987 - Paléo-champs de contraintes dans la plate-forme européenne au front de l'orogène alpin. *Bul. Soc. Géol. France*, 8, III, 611-620.

BETHOUX, N., CATTANEO, M., DELPECH, P.Y., EVA, C. et REHAULT, J.P., 1988 - Mécanismes aux foyers de séismes en mer ligure et dans les Sud des Alpes occidentales: résultats et interprétation. *C.R. Acad. Sci. Paris*, 307, II, 71-78.  
BOSSOLASCO, M., CICCIONI, G., EVA, C. et PASCALE, V., 1972 - La rete sismica dell'Istituto Geofisico di Genova e primi risultati sulla sismo-tettonica delle Alpi Marittime ed Occidentali et del Mar Ligure. *Riv. It. Geofis.*, 21, 5-6, 229-247.  
BULARD, P.F., CHAMAGNE, B., DARDEAU, G., DELTEIL, J., GIOAN, P., IVALDI, J.P., LAVAL, F., PEREZ, J.L. et POLVECHE, J., 1975 - Sur la genèse et les structures de l'Arc de Nice. *B.S.G.F.*, 17, 939-944.  
CAMPREDON, R., FRANCO, M., GIANNERINI, G., GIGOT, P., IRR, F., LANTEAUME, M., SPINI, H. et TAPOUL, J.F., 1977 - Les déformations de conglomérats pliocènes de l'arc de Nice (chaînes subalpines méridionales). *C.R. Somm. Soc. Géol. France*, 2, 75-77.  
CASAGRANDE FIORETTI, L., 1985 - Evolution tectono-sédimentaire post-écène de la bordure ouest du massif des Baronnies et du massif de Suzette (Chaînes subalpines des Baronnies). Thèse de Doctorat, Univ. Paris XI, 214 p.  
CHENEVAS-PAULE, F., 1987 - Contribution de l'analyse structurale à l'étude des fondations de barrages. Exemples de sites calcaires dans le Sud-Est de la France. Thèse de Doctorat de l'Université de Provence, 258 p.  
CLAUZON, G., 1975 - Sur l'âge villafranchien du chevauchement subalpin au droit de Puimoisson (Alpes de Haute-Provence). *C.R. Acad. Sci. Paris*, 280, 2433-2436.  
COMBES, P., 1984 - La tectonique récente de la Provence occidentale: microtectonique, caractéristiques dynamiques et cinématiques. Méthodologie de zonation tectonique et relations avec la sismicité. Thèse de Doctorat, Strasbourg, 182 p.  
DARDEAU, G., 1984 - Les mouvements de distension jurassique sur la marge européenne de la Téthys, d'après les éléments recueillis dans les Alpes Maritimes (France). *C.R. Acad. Sci. Paris*, 299, II, n° 5, 203-206.  
DARDEAU, G., 1987 - Inversion du style tectonique et permanence des unités structurales dans l'histoire mésozoïque et alpine du bassin des Alpes Maritimes, partie de l'ancienne marge passive de la Téthys. *C.R. Acad. Sci. Paris*, 305, II, 483-486.

- DE GRACIANSKY, P.C., ARNAUD, H., BUSNARDO, R., DARDEAU, G., GERLIER, A., LEMOINE, M., MASCLE, G. et PHILIP, J., 1987 - «Rifting» et basculement de blocs au Crétacé inférieur dans les Alpes occidentales françaises: un écho à l'ouverture du golfe de Gascogne. *C.R. Acad. Sci. Paris*, 305, II, 711-713.
- DEBATS, J.M., GAMOND, J.F., LAGABRIELLE, R. et TAPPONNIER, P., 1972 - Un exemple de superposition de deux phases de plissements dans les chaînes subalpines de la région de Digne. *Géol. Alpine*, Grenoble, 48, 2, 179-185.
- DELPECH, P.Y., 1988 - *Rifting jurassique de la marge nord-téthysienne au niveau du dôme de Barrot (Alpes Occidentales françaises)*. Thèse de Doctorat, Université Paris VI, 209 p.
- ETCHECOPAR, A., VASSEUR, G. and DAIGNIERES, M., 1981 - An inverse problem in microtectonics for the determination of stress tensors from fault striation analysis. *J. Struct. Geol.*, 3 (1), 51-65.
- ETCHECOPAR, A., 1984 - *Etude des états de contraintes en tectonique cassante et simulations de déformations plastiques (approche mathématique)*. Thèse d'Etat, Montpellier, 270 p.
- FRECHET, J., 1978 - *Sismicité du Sud-Est de la France et une nouvelle méthode de zonage sismique*. Thèse de Doctorat, Université de Grenoble, 159 p.
- GEZE, B., 1960 - La Genèse néogène de l'arc de Nice (Alpes Maritimes). *C.R. Somm. Soc. Géol. France*, 33-34.
- GIANNERINI, G., GIGOT, P. et CAMPREDON, R., 1977 - Le Tertiaire de la Roque-Esclapon (front sud de l'arc de Castellane): superposition de deux déformations synsédimentaires oligocène et miocène et des bassins sédimentaires associés. *Bul. B.R.G.M.*, section 1, 3, 179-188.
- GIANNERINI, G., 1980-1981 - analyse structurale de la bordure méridionale de l'arc de Castellane entre Mons et Bargème (Var): Relations entre les déformations tectoniques et la sédimentation au cours du Tertiaire. *Bul. B.R.G.M.* (deuxième série) section 1, 1, 43-67.
- GIGOT, P., GRANDJACQUET et HACCARD, D., 1974 - Evolution tectono-sédimentaire de la bordure septentrionale du bassin tertiaire de Digne depuis l'Eocène. *Bul. Soc. Géol. France*, 16, 128-139.
- GOGUEL, J., 1936 - Description tectonique de la bordure des Alpes de la Bléone au Var. *Mém. Sev. Carte Géol. France*, 4, 360 p., 1 pl., 1 carte.
- HOANG-TRONG, P., HAESSLER, H., HOLL, J.M. et LEGROS, Y., 1987 - L'essai sismique (oct. 83-Jan. 84) de la moyenne vallée de la Roya (Alpes Maritimes): activité récente d'un ancien système de failles conjuguées? *C.R. Acad. Sci. Paris*, 304, 419-424.
- HOANG-TRONG, P. et HERQUEL, G., 1990 - Note préliminaire sur le séisme du 26 décembre 1989 en Méditerranée au large de la Côte d'Azur. *Note du Bureau Central Sismologique Français*, I.P.G. Strasbourg, 24 p.
- HUANG, Q., 1987 - *Modélisation géométrique et dynamique de la fracturation. Application à la région de Sïsteron et au Golfe de Suez*. Thèse de Doctorat de l'Université Paris VI, 270 p.
- IRR, F., 1984 - *Paléoenvironnements et évolution géodynamiques néogènes et quaternaires de la bordure nord du bassin méditerranéen occidental. Un système de pente de la paléo-marge liguro-provençale*. Thèse de Doctorat d'Etat, Université de Nice, 464 p.
- JORDA, M., 1982 - La tectonique plio-quaternaire des préalpes de Digne et ses prolongements récents. L'enseignement des hautes nappes alluviales. In Colloque «Le Villafranchien méditerranéen», 2, Lille, 425-439.
- JULIAN, M., 1984 - Les déformations tectoniques récentes à la bordure des Alpes: essai de mise au point. Montagnes et Piémonts. *Rev. Géogr. Phys Sud-Ouest*, Toulouse, 443-456.
- KERCKHOVE, C., 1969 - La zone du Flysch dans les nappes de l'Embrunais Ubaye (Alpe Occidentale). *Géologie Alpine*, Grenoble, 45, 1-202.
- KERCKHOVE, C., DEBELMAS, J. et COCHONAT, P., 1978 - Tectonique du soubassement parautochtone des nappes de l'Embrunais-Ubaye sur leur bordure occidentale, du Drac au Verdon. *Géologie Alpine*, Grenoble, 54, 67-82.
- LABAUME, P., RITZ, J.F. et PHILIP, H., 1989 - Failles normales récentes dans les Alpes sud-occidentales: leurs relations avec la tectonique compressive. *C.R. Acad. Sci. Paris*, 308, 1553-1560.
- MANSOUR, M., BOGDANOFF, S. et POUPEAU, G., 1990 - Données par traces de fission dans le massif de l'Argentera. *13ème R.S.T.*, Grenoble, 2-4 avril 1990, 85.
- NICOLAS, M., SANTOIRE, J.P. and DELPECH, P.Y., 1990 - Intraplate seismicity: new seismotectonic data in western Europe. *Tectonophysics*, 179, 27-53.
- PEREZ, J.L., 1975 - La zone limite entre l'arc de Nice et l'arc de la Roya (Alpes Maritimes). Observations structurales. *Bul. Soc. Géol. France*, 7, VII, n° 6, 930-938.
- REBAL, S., 1988 - (1) *Le champ de contraintes actuel en Europe et dans les régions méditerranéennes*. (2) *Etude du décrochement sénestre plio-quaternaire de Lagnet-Peille (Nice) et signification des failles normales dans un contexte compressif*. D.E.A. de l'Université de Montpellier II, 68 p.
- REBAL, S., PHILIP, H. and TABOADA, A., 1992 - Modern tectonic stress field in the Mediterranean region: evidences for variation in the stress directions at different scales. *Geophys. J. Int.*, 110, 106-140.
- REHAULT, J.P., 1981 - *Evolution tectonique et sédimentaire du bassin ligure (Méditerranée occidentale)*. Thèse d'Etat, Université Paris VI, 132 p.
- REHAULT, J.P. and BETHOUX, N., 1984 - Earthquake relocation in the ligurian sea (Western Mediterranean): Geological interpretation. *Mar. Geol.*, 55, 429-445.
- RITZ, J.F., 1986 - (1) *Evolution du champ de contraintes dans l'arc de Nice depuis 25 millions d'années* - (2) *Etude microtectonique d'une dalle calcaire montrant deux phases de compression orthogonales. Essai d'interprétation en termes de déviations de contraintes*. D.E.A. de l'Université de Montpellier II, 70 p.
- RITZ, J.F., HOANG-TRONG, P., REBAL, S., PHILIP, H. et HERQUEL, G., 1990 - Le séisme du 26 décembre 1989 en Méditerranée, au large de la Côte d'Azur: tectonique active en compression, perturbation de contraintes et inversion tectonique au niveau d'une marge continentale. *C.R. Acad. Sci. Paris*, 310, 1505-1512.
- RITZ, J.F., 1991 - *Evolution du champ de contraintes dans les Alpes du Sud depuis la fin de l'Oligocène. Implications sismotectoniques*. Thèse de Doctorat de l'Université de Montpellier II, 187 p.
- TRICART, P., RORELLI, L., ZITELLINI, N., BOUHLEL, H., CREUZOT, G., DE SANTIS, L., MORLOTTI, E., OUALLI, J. et PEIS, D., 1990 - La tectonique d'inversion récente dans le canal de Sardaigne: résultats de la campagne MATS 87. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 310, Série II, 1083-1088.
- VERNET, J., 1962 - Contribution à l'étude du Pliocène niçois. *Trav. Lab. Géol. Fac. Sci. Grenoble*, 38, 249-274.
- VILLEGIER, M., 1984 - *Evolution tectonique du panneau de couverture nord-provençal (Mont Ventoux, Luberon, moyenne Durance) France*. Thèse de 3ème cycle, Université Paris XI, 178 p.
- VOGT, J., 1979 - Les tremblements de terre en France. *Mém. B.R.G.M.*, 96, 220 p.

# Persée

<http://www.persee.fr>

## Tectonique récente et sismotectonique des Alpes du Sud : analyses en termes de contraintes

Jean-François Ritz

Quaternaire, Année 1992, Volume 3, Numéro 3

p. 111 - 124

[Voir l'article en ligne](#)

La tectonique récente des Alpes du Sud est étudiée à l'aide des méthodes de la microtectonique cassante. Les résultats permettent de reconstituer l'évolution du champ de contraintes depuis la fin de l'Oligocène. Nous montrons que celle-ci dépend des conditions aux limites propres à chaque domaine. La variation rapide des directions de contraintes observée dans les arcs de Digne et de Nice est liée à la présence de bordures libres situées au front de ces deux nappes (respectivement les bassins de Valensole et du Var). Celles-ci ont permis l'expression de phénomènes gravitaires dans les parties internes des nappes, soumises à un soulèvement. La nappe de Castellane, bloquée à son front contre le massif des Maures, montre une plus grande stabilité des directions de contraintes. A partir des données de contraintes pour la période quaternaire, les mécanismes aux foyers des failles susceptibles d'être actives sont calculés. Ce modèle sismotectonique est discuté par rapport aux données de la sismicité historique et instrumentale. Un modèle d'évolution géodynamique est proposé en conclusion.

### Avertissement

L'éditeur du site « PERSEE » – le Ministère de la jeunesse, de l'éducation nationale et de la recherche, Direction de l'enseignement supérieur, Sous-direction des bibliothèques et de la documentation – détient la propriété intellectuelle et les droits d'exploitation. A ce titre il est titulaire des droits d'auteur et du droit sui generis du producteur de bases de données sur ce site conformément à la loi n°98-536 du 1er juillet 1998 relative aux bases de données.

Les oeuvres reproduites sur le site « PERSEE » sont protégées par les dispositions générales du Code de la propriété intellectuelle.

#### Droits et devoirs des utilisateurs

Pour un usage strictement privé, la simple reproduction du contenu de ce site est libre.

Pour un usage scientifique ou pédagogique, à des fins de recherches, d'enseignement ou de communication excluant toute exploitation commerciale, la reproduction et la communication au public du contenu de ce site sont autorisées, sous réserve que celles-ci servent d'illustration, ne soient pas substantielles et ne soient pas expressément limitées (plans ou photographies). La mention Le Ministère de la jeunesse, de l'éducation nationale et de la recherche, Direction de l'enseignement supérieur, Sous-direction des bibliothèques et de la documentation sur chaque reproduction tirée du site est obligatoire ainsi que le nom de la revue et- lorsqu'ils sont indiqués - le nom de l'auteur et la référence du document reproduit.

Toute autre reproduction ou communication au public, intégrale ou substantielle du contenu de ce site, par quelque procédé que ce soit, de l'éditeur original de l'oeuvre, de l'auteur et de ses ayants droit.

La reproduction et l'exploitation des photographies et des plans, y compris à des fins commerciales, doivent être autorisés par l'éditeur du site, Le Ministère de la jeunesse, de l'éducation nationale et de la recherche, Direction de l'enseignement supérieur, Sous-direction des bibliothèques et de la documentation (voir <http://www.sup.adc.education.fr/bib/> ). La source et les crédits devront toujours être mentionnés.