

Relations entre champs de contraintes et déformations le long d'une chaîne compressive-décrochante: Crimée et Caucase (Russie et Ukraine)

Jacques Angelier, Oleg Gushtenko, Aline Saintot, Alexandre Ilyin, Yuri Rebetsky, Nikita Vassiliev, Fyodor Yakovlev et Serge Malutin

C.R. Acad. Sci. Paris,
t. 319, série II,
p. 341 à 348,
1994

Résumé Les premiers résultats d'une étude préliminaire des paléocontraintes liées à la tectonique cassante de la Crimée et du Caucase nord-occidental éclairent les relations contraintes-déplacements au cours du Tertiaire sur cette frontière tectonique WNW-ESE entre plate-forme européenne et Mer Noire. Une extension importante, puis des proportions variables de serrage et de coulissement (principalement dextre) précèdent le régime actuel, compressif dextre.

Mots-clés : Tectonique cassante, Séismotectonique, Contraintes, Chaîne de montagnes.

Abstract Relationships between stress fields and deformation along a compressive strike-slip belt: Caucasus and Crimea (Russia and Ukraine)

The first results of a preliminary brittle tectonic palaeostress analysis carried out in Crimea and NW-Caucasus highlight the stress-displacement relationships during the Tertiary, along this WNW-ESE trending tectonic boundary between the European Platform and Black Sea domains. Following major extension, shortening and strike-slip (mostly dextral) occurred in variable proportions during the Tertiary; the present-day stress regime is compressional-dextral.

Keywords : Brittle tectonics, Seismotectonics, Stress, Mountain belt.

J. A., A. S. et A. I. : Laboratoire de Tectonique Quantitative, Tour 25-26, E-1, Boîte 129, 4, place Jussieu, 75252 Paris Cedex 05 France
et URA CNRS n° 1759 ;

O. G., Y. R. et F. Y. : Académie des Sciences, Institut de Physique de la Terre, Laboratoire de Tectonophysique, Bolshaya Gruzinskaya 10, Moscou, Russie ;

N. V. et S. M. : Académie de Prospection Géologique, Chaire de Géologie des Gisements de Minéraux Utiles, 23, rue Mikluro Maklaj, Moscou, Russie.

Abridged English Version

INTRODUCTION

BETWEEN the Black Sea domain and the East-European platform (figure 1) major deformation occurred during the Mesozoic-Cenozoic along the Crimea-Caucasus boundary (Rastsvetaev, 1977; Muratov *et al.*, 1984; Kazantsev and Bekher, 1989; Popadyuk and Smirnov, 1992). In this preliminary paper, we show that several characteristic stress regimes, mostly compressional, prevailed at different stages in the history of this WNW-ESE trending mountain belt. The tectonic chronology remains poorly constrained, but the variety of stratigraphic ages provides potential for complete determination.

PALAEOSTRESS ANALYSES AND REGIONAL APPLICATION

Understanding the structure and kinematics of major fault zones raises numerous problems in a deformed belt. Mechanical analyses of brittle deformation in moderately deformed blocks allow characterization of stress fields which have regional significance. This approach in terms of stresses provides powerful tools in tectonic analysis. The authors share this preference for methods combining analyses of kinematics-deformation and stress-forces. Techniques for stress reconstruction thus developed independently, based on the same principles of solid mechanics (Angelier, 1975 and 1984; Gushtenko, 1979 and 1982). These methods are valid for processing geo-

Note

présentée par Jean Dercourt.
remise le 21 février 1994,
acceptée après révision le 4 mai 1994.

logical (Angelier, 1994) as well as seismologic data (Gushtenko *et al.*, 1993 *b*). A major step in such studies concerns regional stress trajectory mapping (present-day tectonism as well as older events). In turn, the knowledge of stress fields (Rebetsky, 1991) allows determination of kinematics at major fault zones (Angelier *et al.*, 1982). Such investigation methods were successfully applied to the evolution of the Africa-Eurasia collision (Bergerat, 1987).

The first step in such studies includes local determination of stress tensors based on inversion of brittle structure data in suitable outcrops. Nine examples (Crimea, Kerch strait area, W-Caucasus) are shown in figures 1 to 5, which illustrate the five major events that we could identify (from youngest to oldest). Four contrasting types of stress regimes were thus identified: three are compressional, with different directions of compression (**figures 1-4**, from recent events to older ones; note that N-S compression has occurred twice). One is extensional, corresponding to an earlier event (**figure 5**). Stratigraphic and relative tectonic chronology observations brought some constraints on dating. The oldest studied events affect Palaeocene formations (**figure 5**); the most recent events affect Neogene ones (**figures 2 and 1**). In further studies, particular attention should be paid to sites in Tertiary formations of various ages.

THE RECENT COMPRESSION IN CRIMEA-CAUCASUS AREA

Based on space-time window techniques, a regional analysis of earthquake focal mechanisms was carried in terms of stress tensors (Gushtenko *et al.*, 1993 *b*). It is thus possible to map the present stress field, which is characterized in the studied area by N-S compression (predominant reverse faulting mode) east of Kerch strait, and by NW-SE compression (predominant strike-slip mode) to the West, as figure 1 shows. The most recent palaeostress that we could locally identify fits well with the present stress pattern: WNW-ESE compression, mostly "strike-slip" in type, in Crimea (**figure 2**) and last compression NNW-SSE, mostly "reverse-slip" in type, in the Neogene near Kerch (see diagram in **figure 1**).

TECTONIC CHRONOLOGY AND PALAEOSTRESSES

Sixteen major sites were studied, resulting in identification of twenty-three palaeostress states and indication of ten others. Although these numbers are small, major trends and overall chronology are recognized. Examples are shown in stereoplots for each major palaeostress regime. Based on previously described methods (Angelier, 1975, 1984 and 1994), the local attitudes of stress axes σ_1 , σ_2 , σ_3 (with $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$, pressure positive) and the value of the ratio $\Phi = (\sigma_2 - \sigma_3) / (\sigma_1 - \sigma_3)$ were determined in these sites, using data on fault slips and brittle structures.

In the eleven sites in Crimea, the following succession of events was reconstructed: (1) NW-SE compression corresponding to major thrusting (not illustrated, confirmation needed), (2) extension with large normal fault movements (N-S then NW-SE trends of σ_3 , see **figure 5**), and (3) several compressions which created strike-slip faults, reverse faults and folds with N-S, ENE-WSW and WNW-ESE trends of σ_1 axes: figures 3, 4 and 2 respectively. The last three compressions affect some Tertiary formations. The age of other tectonic regimes remains poorly constrained, at least part of extension (**figure 5**) being Tertiary in age. In the Kerch Strait area, compressions trending WNW-ESE (**figure 2**) then N-S (**figure 1**) affect Neogene formations. In the NW-Caucasus, four sites revealed the successions of (1) WNW-ESE to NNW-SSE extension (**figure 5**), (2) NNE-SSW compression (**figure 4**), and (3) younger compressions still poorly identified (ENE-WSW and NNW-SSE), all events affecting formations late Cretaceous and Palaeocene in age. Extensive regional analyses are needed in order to better constrain the mechanisms, importance and ages of tectonic events.

RELATION TO THE STRUCTURE OF CRIMEA-CAUCASUS BELT

These stress regimes are related to movement on major structures of the Crimea-Caucasus belt (**figure 1**). The earlier compressional events and the main extension (**figure 5**) are not discussed further here, owing to age uncertainties and possible rotations.

In contrast, the later compressional movements combine shortening and wrench faulting in variable proportions:

(1) N-S to NW-SE shortening with marked dextral component characterizes present-day tectonism and recent tectonics in the Kerch Strait (**figure 1**);

(2) dextral movement with shortening along the Caucasus-Crimea belt characterizes the previous stage (**figure 2**);

(3) combined shortening and strike-slip occurred during previous tectonic events, their order being still undetermined: compressions trend N-S (**figure 3**) and ENE-WSW (**figure 4**), the latter suggesting that sinistral slip may also have occurred in Crimea along the major tectonic boundary, although right-lateral motion prevailed.

This preliminary study was supported by the Peri-Tethys programme (field work), the French Embassy in Moscow and the French MESR (thesis grants).

CONCLUSIONS

Our preliminary study of brittle tectonics in Crimea and NW-Caucasus revealed excellent potential for extensive studies of regional displacements and deformation along the tectonic boundary between the Black Sea and the East-European platform. The most recent tectonic events identified involve transpression, with shortening and dextral strike-slip in variable proportions. The role of N-S compression probably increased during recent periods (in agreement with seismic information), and that of dextral strike-slip was probably more important before (during the Tertiary). The whole evolution of this main tectonic boundary, however, is more complex than shown here. Compression, extension and strike-slip took place during earlier stages.

INTRODUCTION

Entre le domaine océanique de la Mer Noire et la plate-forme continentale est-européenne (**figure 1**), la Crimée et le Caucase constituent une zone de grandes déformations mésozoïques et cénozoïques (Rastsvetaev, 1977; Muratov *et al.*, 1984; Kazantsev et Bekher, 1989; Popadyuk et Smirnov, 1992). Dans la présente Note, nous montrons que différents régimes de contraintes caractéristiques, pour la plupart compressifs, ont marqué l'évolution de cette chaîne WNW-ESE. La variété des séries stratigraphiques de la péninsule de Crimée et de l'extrémité nord-occidentale du Caucase permettra d'établir la chronologie tectonique détaillée recherchée.

APPROCHE EN TERMES DE PALÉOCONTRAINTES ET APPLICATION RÉGIONALE

Fondée sur l'analyse de la géométrie et de l'évolution cinématique des accidents majeurs, la reconnaissance des principales phases de déformation d'une chaîne pose de

nombreux problèmes, tant théoriques (relations entre déformation et mouvements aux limites) que pratiques (caractérisation géométrique et chronologique des grands jeux). L'étude mécanique des faibles déformations dans les zones relativement stables à proximité des accidents majeurs permet de caractériser des champs de contrainte régionale-ment représentatifs, par analyse des données de la tectonique cassante. Il s'agit d'un outil d'analyse tectonique plus puissant, par son caractère intégrateur, qu'une simple analyse géométrique des structures.

Les auteurs de la présente étude considèrent qu'une démarche analytique doit combiner géométrie (cinématique et déformations) et dynamique (forces et contraintes). Ils ont développé, de manière indépendante, des méthodes de reconstitution des contraintes faisant appel à des techniques différentes, mais fondées sur les mêmes principes mécaniques (Angelier, 1975 et 1984; Gushtenko, 1979 et 1982). Ces méthodes s'appliquent à la tectonique cassante reconstituée à partir d'observations géologiques (Angelier, 1994), comme à l'utilisation des données sismologiques (Gushtenko *et al.*, 1993 *b*). Une étape majeure dans de telles

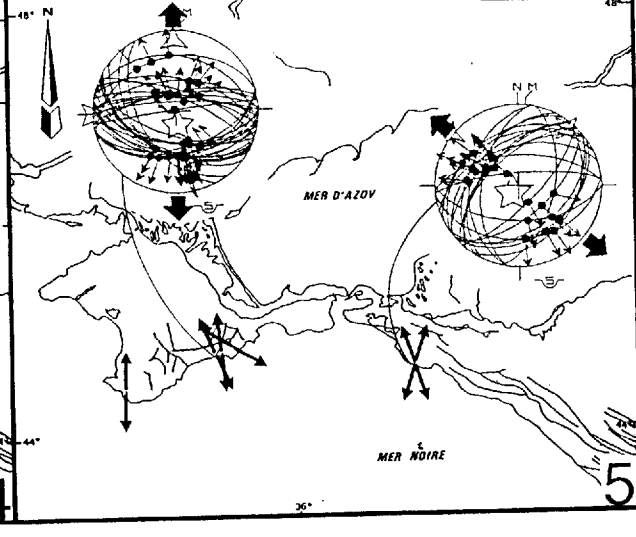
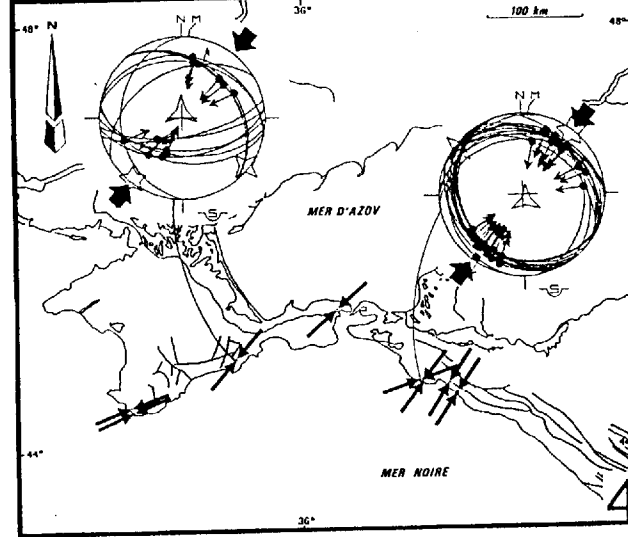
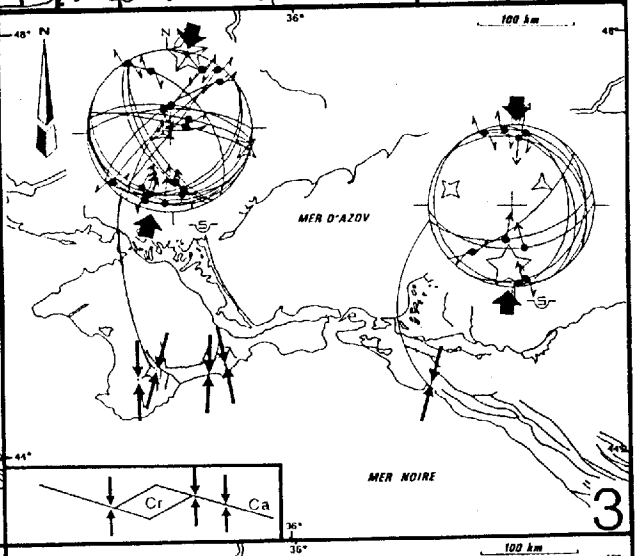
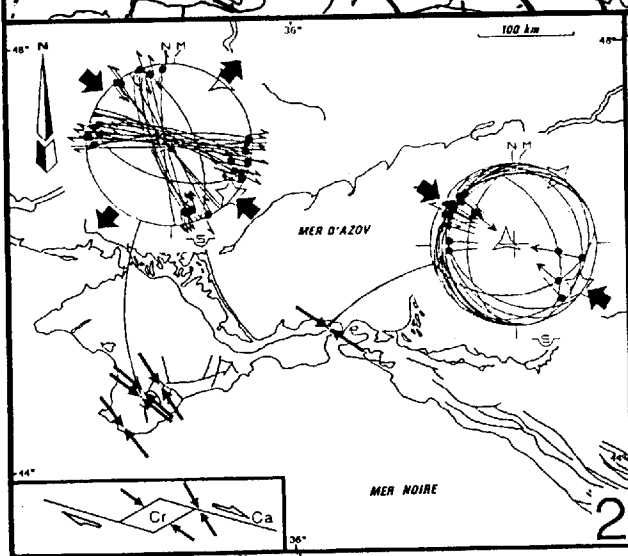
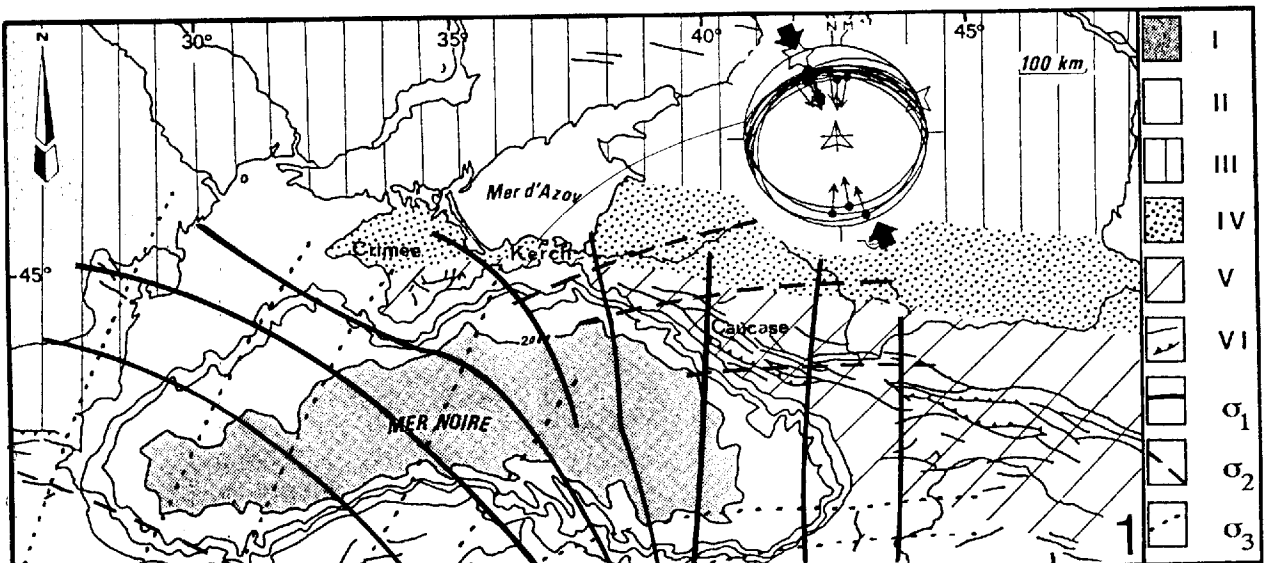


Figure 1 Cadre géotectonique de la région étudiée et champ de contraintes récent. *Cadre géologique* : I lithosphère océanique de la Mer Noire, II Anatolie, III plate-forme continentale est-européenne, IV bassins néogènes-quadernaires nord-Crimée et nord-Caucase, V chaînes de Crimée et du Caucase, VI accidents majeurs (chevauchements et décrochements). *Champ de contrainte actuel* : trajectoires des contraintes principales σ_1 (maximale, pression positive), σ_2 (intermédiaire) et σ_3 (minimale) obtenues par inversion des mécanismes au foyer des séismes (Gushtenko *et al.*, 1993 a et en prép.). Les trajectoires ne sont figurées que pour des inclinaisons faibles des axes correspondants ; leur non-perpendicularité reflète ces inclinaisons. *Diagrammes de projection* : exemple de failles affectant le Néogène (Kerch), compatibles avec le champ de contraintes actuel. Projection de Schmidt, hémisphère inférieur. Plans de failles en trait fin, stries avec de petites flèches (centripètes=inverses). Axes de contraintes calculés : étoiles à 5, 4 et 3 branches (σ_1 , σ_2 et σ_3 respectivement). Direction de compression : flèches larges convergentes.

Geotectonic framework and recent stress field. *Geologic framework*: I oceanic lithosphere of the Black Sea, II Anatolia, III east-European continental platform, IV late Cenozoic basins (north-Crimea, north-Caucasus), V Crimea-Caucasus mountain belts, VI main tectonic zones (thrusts, strike-slip faults). *Present-day stress field*: trajectories of principal stresses σ_1 (maximum, pression positive), σ_2 (intermediate) and σ_3 (minimum), based on regional of earthquake focal mechanisms (method: Gushtenko *et al.*, 1993 a and in prep.). Trajectories, shown only where plunges of corresponding axes are shallow, may be not be perpendicular owing to these plunges. *Stereoplot*: example of faults affecting the Neogene (Kerch), consistent with the present-day stress field. Schmidt's projection, lower hemisphere. Fault planes as thin lines, striae as small arrows (inward directed=reverse). Computed stress axes as 5-, 4- and 3- branch stars (σ_1 , σ_2 and σ_3 respectively). Direction of compression: inward directed arrows.

analyses est la caractérisation des trajectoires régionales de contraintes (dynamique actuelle aussi bien que paléocontraintes). Connaissant, pour diverses époques tectoniques, ces « champs » de contraintes (Rebetsky, 1991), il est possible de déterminer les caractéristiques cinématiques des grands accidents (Angelier *et al.*, 1982). De telles méthodes générales d'investigation ont été appliquées avec succès à l'évolution

Figure 2 La compression NW-SE (les couples de flèches sur la carte correspondent aux sites où nous avons reconstitué ce régime tectonique). *Diagrammes de projection* : exemples de sites montrant ce régime de paléocontraintes. Même explication que la figure 1 (stries décrochantes avec petites flèches doubles, direction d'extension avec flèches larges divergentes). *Petit schéma* (en bas à gauche) : relais compressif de Crimée, suivant l'interprétation de Rastsvetaev (1977), modifié.

NW-SE compression (couples of arrows in map indicate sites where we reconstructed this tectonic regime). *Stereoplots*: examples of sites showing this palaeostress regime. Same explanation as for figure 1 (strike-slip striae as couples of thin arrows, direction of extension as large divergent arrows). *Small sketch* (in lower-left corner): compressional push-up of Crimea, according to Rastsvetaev's interpretation (1977), modified.

Figure 3 La compression N-S. Noter que la compression N-S se produit aussi récemment (figure 1). *Petit schéma* : fonctionnement transpressif (comparer avec la figure 2). Autres explications comme pour les figures 1-2.

N-S compression. Note that N-S compression also occurs recently (figure 1). *Small sketch*: transgression in Crimea (compare with figure 2). Other explanations as for figures 1-2.

Figure 4 La compression ENE-WSW. Mêmes explications que pour les figures 1-2.

ENE-WSW compression. Same explanation as for figures 1-2.

Figure 5 Les extensions N-S et NW-SE. Mêmes explications que pour les figures 1-2 (stries normales avec de petites flèches centrifuges).

N-S NW-SE extensions. Same explanation as for figures 1-2 (normal striae with thin outward-directed arrows).

cinématique de la collision cénozoïque Afrique-Eurasie (Bergerat, 1987).

La première étape est la détermination locale de tenseurs des contraintes par inversion des données de tectonique cassante dans des affleurements favorables. Les figures 1 à 5 en fournissent neuf exemples (en Crimée, près du détroit de Kerch et à l'extrémité nord-occidentale du Caucase), illustrant, du plus récent au plus ancien, les cinq

événements tectoniques principaux que nous avons pu identifier. Quatre types d'états de contrainte ont été identifiés: trois sont compressifs, caractérisés par des associations de failles inverses et de décrochements en proportions variables, avec des directions de compression différentes (figures 1 à 4, du récent à l'ancien; noter que la compression N-S s'est produite au moins deux fois). Une extension, plus ancienne, est caractérisée par des failles normales (figure 5). Les contrastes directionnels ne peuvent s'expliquer par des rotations dans la plupart des sites étudiés. Des arguments stratigraphiques (âge des terrains affectés et discordances) ainsi que la chronologie relative des jeux de failles permettent d'attribuer à ces quatre principaux états de contrainte des âges différents, mais ils sont en nombre encore insuffisant dans ce travail préliminaire. Les événements les plus anciens étudiés affectent le Paléocène (figure 5); les plus récents affectent le Néogène (figures 2 et 1). Les événements des figures 4 et 3, dont l'ordre n'est pas certain, ne sont datés que par encadrement tectonique, les sites correspondants étant d'âge mésozoïque ou paléocène.

LA COMPRESSION RÉCENTE DANS LA RÉGION CRIMÉE-CAUCASE

Une étude de l'ensemble des mécanismes au foyer crustaux disponibles a été effectuée à l'aide d'une nouvelle méthode fondée sur une prise en compte de fenêtres spatio-temporelles dans l'approche en termes de tenseurs régionaux des contraintes (Gushtenko *et al.*, 1993 *b*). Il en résulte que le champ de contraintes actuel dans la partie septentrionale de la Mer Noire est caractérisé à l'Est du détroit de Kerch (Caucase) par une compression N-S en régime de failles inverses, et à l'Ouest de ce détroit (de la Crimée à la Dobrogée) par une compression NW-SE en régime principalement décrochant (figure 1). Les paléocontraintes les plus récentes localement mises en évidence sont en accord avec les trajectoires actuelles: compression WNW-ESE en Crimée, principalement de type « décrochant » (fi-

gure 2) et compression NNW-SSE à Kerch, principalement de type « inverse », cette dernière affectant le Néogène (diagramme, figure 1).

CHRONOLOGIE, TECTONIQUE ET PALÉOCONSTRAINTES

Seize sites principaux ont été étudiés. Vingt-trois états de contraintes ont pu être identifiés (des tenseurs des contraintes étant calculés de façon significative en fonction des structures tectoniques mesurées sur le terrain) et dix autres soupçonnés. Ces nombres sont insuffisants, mais des directions certaines et une chronologie d'ensemble probable se dégagent. Des exemples de diagrammes sont fournis pour chacun des états de contraintes les plus importants. En utilisant des méthodes de reconstitution déjà décrites (Angelier, 1975, 1984 et 1994). Il a été possible de calculer, dans ces sites, les orientations des axes de contraintes principales σ_1 , σ_2 , σ_3 (avec $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$, pression positive) et la valeur du rapport $\Phi = (\sigma_2 - \sigma_3) / (\sigma_1 - \sigma_3)$ à partir de mesures de failles à stries et de structures cassantes associées.

Dans les onze sites de Crimée apparaît la succession suivante: (1) compression NW-SE associée à des chevauchements, non illustrée ici (à confirmer), (2) extensions à l'origine de grandes failles normales (avec des directions de σ_3 N-S puis NW-SE: figure 5), enfin (3) plusieurs compressions qui ont créé décrochements, failles inverses et plis (avec des directions de σ_1 N-S, ENE-WSW et WNW-ESE: figures 3, 4 et 2 respectivement). Les trois dernières compressions affectent du Tertiaire. L'âge des autres régimes tectoniques est encore mal contraint; une partie au moins de l'extension (figure 5) semble tertiaire également. Dans la zone du détroit de Kerch, des compressions WNW-ESE (figure 2) puis N-S (figure 1) affectent du Néogène. Dans le Caucase nord-occidental, quatre sites ont permis de reconnaître la succession suivante: (1) extension WNW-ESE à NNW-SSE (figure 5), (2) compression NNE-SSW (figure 4) et (3) compressions plus récentes encore mal caractérisées (ENE-WSW et NNW-SSE), l'ensemble affectant le Crétacé

supérieur et le Paléocène. Cette analyse ne prendra pleine signification qu'après une étude tectonique régionale développée.

RELATIONS AVEC LA STRUCTURE DE LA CHAÎNE CRIMÉE-CAUCASE

Les événements identifiés sont en relation avec le fonctionnement des grandes structures de la bordure déformée de la Crimée et du Caucase, entre les domaines de la Mer Noire et de la plate-forme continentale est-européenne (**figure 1**). Les événements compressifs liés aux nappes et chevauchements dans le Mésozoïque, ainsi que l'extension importante par failles normales qui leur fait suite (**figure 5**), ne seront pas discutés ici en raison des grandes incertitudes sur les âges (pour les données que nous avons pu recueillir) et les rotations possibles. Par contre, les compressions tertiaires, tardives dans l'histoire de la chaîne, sont clairement associées à des mouvements régionaux combinant serrage et coulissement en proportions variables :

(1) serrage N-S à NW-SE avec une nette composante dextre, pour l'état actuel reconstitué grâce aux mécanismes au foyer, comme pour l'état récent reconstitué dans le détroit de Kerch (**figure 1**) où des plis d'axes E-W affectent d'ailleurs le Néogène ;

(2) coulissement dextre avec serrage le long du Caucase et de la Crimée pour l'étape immédiatement antérieure (**figure 2**) ;

(3) combinaisons variables de compression et de coulissement pour les étapes

antérieures dont nous ne connaissons pas encore l'ordre : compressions N-S (**figure 3**) et ENE-WSW (**figure 4**), cette dernière suggérant qu'à une certaine époque, la bordure faillée de la Crimée a pu connaître un jeu sénestre (que nous n'avons toutefois pas observé sur les grands accidents, principalement compressifs dextres).

CONCLUSIONS

L'étude préliminaire de la tectonique cassante dans les régions de Crimée et du Caucase nord-occidental révèle de bonnes potentialités pour l'analyse des mouvements et des déformations régionales le long de la frontière tectonique entre Mer Noire et plate-forme est-européenne. Les événements tectoniques les plus récents que nous reconstituons, transpressifs, correspondent à diverses combinaisons de raccourcissement et de mouvements décrochants dextres sur cette frontière. Il semble que la proportion de compression N-S ait augmenté récemment (en accord avec les données sismiques) et que le décrochement dextre ait joué un rôle plus important antérieurement (durant le Tertiaire). Cependant, des mouvements bien différents, compressifs et coulissants mais aussi extensifs, ont eu lieu antérieurement ; l'évolution tectonique de cette frontière est manifestement complexe. L'étude détaillée de ces différentes étapes, dont les âges seront contraints par les données stratigraphiques, constitue l'objectif de notre prochaine étude.

Ce travail préliminaire est soutenu par le programme Péri-Téthys (étude de terrain), ainsi que par l'Ambassade de France à Moscou et le MESR (bourses de thèses).

ANGELIER, J., 1975. Sur l'analyse de mesures recueillies dans des sites faillés : l'utilité d'une confrontation entre les méthodes dynamiques et cinématiques, *C.R. Acad. Sci. Paris*, 281, série D, p. 1805-1808 [Erratum: *Ibid.*, (D), 283, 1976, p. 466].

ANGELIER, J., 1984. Tectonic analysis of fault slip data sets, *Journ. geophys. Res.*, 89, n° B7, p. 5835-5848.

ANGELIER, J., 1994. Palaeostress analysis of small-scale brittle structures. In: *Continental Deformation*, HANCOCK, P., éd., Pergamon Press, 421 p., chapter 4, p. 53-100.

ANGELIER, J., BARRIER, E. et HUCHON, P., 1982. Sur les relations entre trajectoires de contrainte et directions de mouvement le long d'une frontière convergente ; exemples de la subduction hellénique (Grèce) et de la collision Philippines-Eurasie (Taiwan et Japon), *C.R. Acad. Sci. Paris*, 294, série II, p. 745-748.

BERGERAT, F., 1987. Stress fields in the European Platform at the time of Africa-Eurasia collision, *Tectonics*, 6, n° 2, p. 99-132.

GUSHTENKO, O. I., 1979. La méthode de l'analyse cinématique des structures de la tectonique

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- cassante dans la reconstitution des états de contraintes (en russe). Dans: *Les états de contraintes et les déformations dans la lithosphère*, « Nauka », Moscou, 254 p., (chapitre 1, p. 7-51).
- GUSHTENKO, O. I., 1982. La détermination des états de contraintes par la méthode d'analyse cinématique de la tectonique cassante (en russe). Dans: *Nature et méthodologie de détermination des contraintes tectoniques dans la croûte cassante*, publication spéciale de l'Acad. des Sciences, Kola, URSS, p. 35-52.
- GUSHTENKO, O. I., MIKHAILOVA, A. V., MOSTRUKOV, A. O. et PETROV, V. A., 1993 *a*. The regional stress-monitoring and the mechanism of deforming Caucasus-Iranic seismoactive zone, *Terra abstract*, supplement n° 1 à *Terra Nova*, 5, p. 218.
- GUSHTENKO, O. I., REBETSKY, Y. I., MIKHAILOVA, A. V., GUSHTENKO, N. Y., KUOK, L. M. et RASSANOVA, G. V., 1993 *b*. The recent regional field of stresses and the mechanism of the lithosphere deformation of seismoactive east-Asia region, *Terra abstract*, supplement n° 1 à *Terra Nova*, 5, p. 259.
- KAZANTSEV, Y. V. et BEKHER, N. I., 1989. Allochthonous structures of the Kerch Peninsula, *Geotectonics*, 22, (4), p. 346-355.
- MURATOV, M. V., ARKHIPOV, I. V. et USPENSKAYA, Y. A., 1984. Structural evolution of the Crimea Mountains and comparison with the Western Caucasus and the Eastern Balkan Ranges, *Inter. Geol. Review*, 26, (11), p. 1259-1266.
- POPADYUK, I. V. et SMIRNOV, S. Y., 1992. The problem of the structure of the Crimean Mountain region: traditional ideas and reality, *Geotectonics*, 25, (6), p. 489-497.
- RASTSVETAEV, L. M., 1977. The Mountain Crimea and Northern Black Sea area. In: *Faults and horizontal movements of mountain chain in the USSR*, "Nauka", Moscou, p. 95-107.
- REBETSKY, Y. I., 1991. Retrieval of principal stresses in crust from their trajectory field, *Izvestiya Acad. des Sciences, URSS, physics of the solid Earth*, 27, n° 5, p. 366-369.