

TECTONIQUE. — *Fracturation et évolution néotectonique de la péninsule de Basse-Californie (Mexique).* Note (*) de **Bernard Colletta, Jacques Angelier, Jean Chorowicz, Luc Ortlieb et Claude Rangin**, transmise par Jean Aubouin.

L'étude des structures cassantes d'âge Néogène-Quaternaire en Basse-Californie permet de reconstituer les mécanismes et l'histoire des déformations. L'orientation du réseau principal de fracturation est comprise entre WNW-ESE et N-S. Les mécanismes sont essentiellement extensifs ou décrochants. Au Miocène, une importante extension NE-SW par failles normales NW-SE correspond à l'effondrement de la marge orientale de la péninsule. A la limite Miocène-Pliocène, des jeux décrochants dextres se développent; durant le Pliocène et le Quaternaire, décrochements et failles normales coexistent, en relation avec l'ouverture de la mer de Cortez.

The analysis of Neogene-Quaternary faults of Baja California leads us to reconstruct the evolution of tectonic mechanisms and successive strain patterns. The main fault systems strike WNW-ESE to N-S. Only extensional and strike-slip mechanisms have been recognized extensively. During the Miocene, a large NE-SW extension was related to the NW-SE down faulting of the Eastern margin of the peninsula. At the Miocene-Pliocene boundary, dextral strike-slip movements occurred. During the Pliocene and the Quaternary, both strike-slip and normal fault motions were related to the opening of the Sea of Cortez.

Au cours du Néogène, la péninsule de Basse Californie s'est détachée du continent Nord-américain par l'ouverture de la Mer de Cortez, ou Golfe de Californie ([1], [2]). Ce golfe constitue la limite transformante occidentale actuelle de la plaque Nord-américaine; il relie, avec le système décrochant de San Andreas, les dorsales Gorda et Juan de Fuca au Nord à la Dorsale Est-Pacifique au Sud. L'analyse à terre des structures cassantes d'âge Néogène et Quaternaire permet de préciser la géométrie et les mécanismes de la déformation au cours de cette ouverture.

Près de 3000 mesures de plans de failles et de fentes de tension ont été effectuées sur l'ensemble de la péninsule de Basse-Californie. Les secteurs de mesures localisés sur la planche sont inégalement répartis; d'autre part, ils n'ont pas tous le même poids : plus de 600 mesures ont été effectuées à Santa Rosalia, contre une vingtaine seulement à San Ignacio. Les données brutes de terrain ont été analysées à l'aide d'un traitement informatique qui permet de reconstituer les directions de contraintes principales de la déformation à partir d'une population de mesures de failles [3].

I. GÉOMÉTRIE ET MÉCANISMES DE LA FRACTURATION. — Le réseau de fractures reconstitué par l'étude statistique des mesures et l'observation des images-satellite montre que les failles sont pour la plupart dirigées NW-SE à N-S. Ainsi, dans le Bassin de Santa Rosalia où les mesures sont nombreuses, 90 % des directions sont comprises entre les azimuts 130 et 175 [4]. Plus en détail, deux directions prédominent : l'une, NW-SE, est parallèle au Golfe; l'autre, N-S, correspond aux effondrements qui jalonnent la côte Est. Des failles NNW-SSE, comme celles limitant à l'Est les sierras San Pedro Martir et Juarez (*pl.*), jouent aussi un rôle important.

Du point de vue cinématique, les stries observées sur les miroirs de faille indiquent qu'il existe tous les types de jeu, du décrochement pur à la faille normale pure. Les failles inverses sont rares et modestes en dimensions et en rejets. Les stries obliques normales dextres sont les plus fréquentes. De même, parmi les décrochements purs, les jeux dextres prédominent. Une étude statistique effectuée dans le Bassin de Santa Rosalia [4] prouve que les déplacements latéraux (décrochants) sont plus nombreux que les déplacements transversaux (extensifs). Bien que des mécanismes semblables s'observent sur la côte du Golfe et sur la marge Pacifique (Bahia Tortugas et Bahia Asuncion), les deux provinces présentent des différences marquantes dans la géométrie des déplacements. Ainsi, les failles normales de la côte du Golfe

sont caractérisées par des rejets verticaux parfois supérieurs à la centaine de mètres; sur la côte Pacifique, les structures extensives sont peu marquées et les déplacements horizontaux dextres sont souvent hectométriques voire kilométriques [5].

Les directions moyennes des contraintes principales compressive maximale ($\bar{\sigma}_1$) et minimale ($\bar{\sigma}_3$) obtenues par le traitement mathématique [3] sont indiquées sur la planche. Deux types de mécanismes existent : l'un est décrochant ($\bar{\sigma}_1$ et $\bar{\sigma}_3$ sub-horizontales), l'autre est extensif ($\bar{\sigma}_1$ verticale, $\bar{\sigma}_3$ horizontale). Dans la plupart des sites, les deux types de déformation sont représentés. Sauf à La Paz, l'orientation des contraintes compressives $\bar{\sigma}_1$ liées aux jeux décrochants est N-S dans la péninsule. Par contre, les directions d'extension ($\bar{\sigma}_3$) varient de NE-SW à ESE-WNW. Ces variations traduisent une rotation de la contrainte minimale au cours d'épisodes successifs, comme le confirme l'étude chronologique.

II. CHRONOLOGIE DES ÉVÉNEMENTS. — Certains sites se trouvent dans des bassins sédimentaires mio-pliocènes de la côte du Golfe (Loreto, Santa Rosalia, Marismas San Rafael) et la côte Pacifique (Bahia Tortugas et Bahia Asuncion), d'autres sites dans des formations volcaniques et volcano-clastiques essentiellement miocènes [6] (Bahia Concepcion, Tres Virgenes, Matomi, Bahia de Los Angeles). Les structures considérées sont donc pour la plupart néogènes à quaternaires. Seules des failles relevées à Rosarito et Punta Banda (*pl.*), où les terrains affectés sont d'âge Crétacé, pourraient appartenir à un épisode tectonique pré-Néogène.

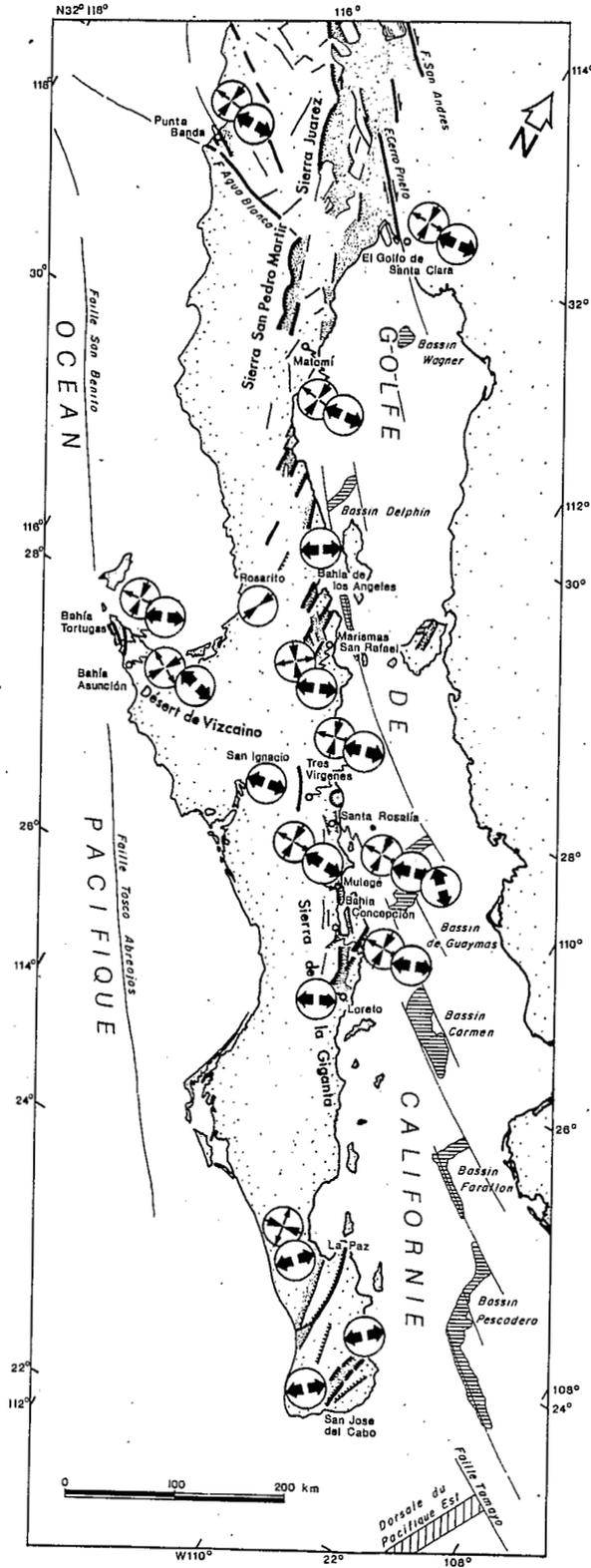
La complexité et la densité des structures croissent avec l'âge des formations; plusieurs épisodes se sont en effet succédés. Dans le bassin de Santa Rosalia, où la chronostratigraphie [7] a été précisée par des déterminations de nannofaune [8], la succession des épisodes tectoniques a pu être reconstituée (travail en cours) et s'est avérée compatible avec les événements observés sur l'ensemble de la péninsule.

1° Le mécanisme le plus ancien est une extension NE-SW très importante, avec sur la côte du Golfe de grandes failles normales d'orientation NW-SE, qui affectent essentiellement les formations volcaniques et volcano-clastiques miocènes (Bahia Concepcion, Santa Rosalia, Bahia de Los Angeles). Le basculement des blocs faillés est souvent systématique et atteint couramment 40°. Cette association de failles normales et de blocs basculés témoigne d'un important taux d'extension. A Santa Rosalia, cette extension majeure a lieu avant le dépôt de la formation marine Boleo [7] dont l'âge probable est Miocène Supérieur. Le régime extensif s'est poursuivi toutefois avec des effets moindres durant tout le dépôt de cette formation, c'est-à-dire jusqu'à la fin du Miocène, comme l'indiquent les structures synsédimentaires (fentes ouvertes comblées de sédiments et conglomérats intraformationnels), des phénomènes hydrothermaux et des émissions volcaniques.

2° A la limite Miocène-Pliocène (-6 à -5 M.A.), un régime compressif décrochant s'est développé dans l'ensemble de la Basse-Californie. La direction de la contrainte maximale $\bar{\sigma}_1$

EXPLICATION DE LA PLANCHE

Mécanismes de la fracturation reconstitués d'après l'analyse tectonique de terrain en Basse Californie : les flèches divergentes indiquent un mécanisme en extension (contrainte principale compressive maximale $\bar{\sigma}_1$ verticale, contrainte principale minimale $\bar{\sigma}_3$ horizontale) : elles ont la direction de $\bar{\sigma}_3$. L'association de flèches convergentes et divergentes indique un mécanisme décrochant ($\bar{\sigma}_1$ et $\bar{\sigma}_3$ horizontales perpendiculaires) : les flèches convergentes ont la direction de $\bar{\sigma}_1$. Les pointillés serrés soulignent les zones d'effondrement et les grandes lignes de faille sont en trait gras. Méthodes de détermination des mécanismes d'après [3]. Les structures à l'intérieur du Golfe de Californie sont déduites des cartes bathymétriques [1] — les principaux bassins sont hachurés (leurs limites sont d'inégales profondeurs). Failles de la marge Pacifique d'après [12].



est subméridienne (*pl.*). Ce nouveau régime a réactivé la plupart des failles normales NW-SE préexistantes en décrochements dextres, créant en outre des décrochements senestres conjugués d'orientation NNE-SSW à NE-SW et quelques failles inverses de faible rejet. Les déplacements sont peu importants, mais l'apparition de jeux décrochants semble générale.

3° Au Plio-Quaternaire, les mouvements décrochants et extensifs coexistent. Dans plusieurs sites, l'analyse des structures montre la succession de deux épisodes extensifs; $\bar{\sigma}_3$ est orientée NE-SW à ENE-WSW pour le premier et E-W à ESE-WNW pour le second (*pl.*). Au cours de cette extension ample, des fossés N-S s'individualisent, de nombreuses fentes de tension apparaissent et des failles des épisodes antérieurs sont remobilisées, comme en témoignent maintes superpositions de générations de stries sur les miroirs de failles. Des mouvements décrochants purs ont été caractérisés dans plusieurs sites (Mulegé, Tres Virgenes, Marismas San Rafael); ils correspondent à des contraintes $\bar{\sigma}_1$ et $\bar{\sigma}_3$ dirigées N-S et E-W, respectivement (*pl.*). Tous ces mouvements se sont surtout développés sur la côte Est de la péninsule et semblent en relation avec les mécanismes transformants du Golfe, dont les directions structurales sont connues ([9], [10]).

L'activité tectonique récente se traduit par des escarpements de failles coupant des dépôts alluviaux ou des terrasses marines pléistocènes (Bahia Tortugas, Santa Rosalia, Tres Virgenes, Mulegé, Marismas San Rafael, etc.). A Bahia Tortugas même, la terrasse marine du dernier interglaciaire est coupée par un plan strié horizontalement; sur la bordure Pacifique persiste donc une activité décrochante dextre probablement liée au système de failles de San Benito-Tosco-Abreojos [11].

Il est à souligner que la faille d'Agua Blanca [12] mise à part, aucun accident transverse NW-SE n'a été reconnu, et que les zones de fracture à l'intérieur du Golfe ne semblent pas se prolonger dans le bloc péninsulaire.

CONCLUSIONS. — L'analyse de la fracturation fournit un schéma de l'évolution tectonique néogène et quaternaire de la Basse Californie. Ce schéma complète les modèles établis à partir de la géophysique et s'intègre au cadre tectonique général de la marge occidentale du continent Nord-américain.

Au Miocène, la tectonique en extension NE-SW qui se marque par de grandes failles normales et des basculements de blocs sur la bordure orientale de la péninsule est probablement à l'origine de la zone effondrée où s'installe le « protogolfe » de Californie [13]; c'est cette tectonique qui plus au Nord-Est donne naissance aux structures de type « Basin and Range ».

Vers -5 à -6 M.A., les mécanismes décrochants N-S qui apparaissent dans la plupart des sites peuvent s'interpréter comme les premières manifestations de l'activité transformante qui va conduire à la dérive de la péninsule et à la formation de croûte océanique à l'embouchure du Golfe [2]. Cette activité transformante se poursuit jusqu'à nos jours et se traduit dans la péninsule par l'association de jeux normaux et décrochants [14].

(*) Remise le 23 mars 1981.

[1] G. A. RUSNAK, R. L. FISHER et F. P. SHEPARD, *Amer. Assoc. Petrol. Mem.*, n° 3, 1964, p. 59-75.

[2] R. L. LARSON, H. W. MENARD et S. SMITH, *Science*, 161, 1968, p. 881-884.

[3] J. ANGELIER, *Néotectonique de l'arc égéen*, Société géologique du Nord, publication n° 3, 1979, 418 p.

[4] J. ANGELIER, B. COLLETTA, J. CHOROWICZ, L. ORTLIEB et C. RANGIN, *J. Struct. Geol.*, 1981 (sous presse).

[5] J. W. ROBINSON, Structure and Stratigraphy of the Northern Vizcaino Peninsula (*Field guides and papers*, San Diego Univ., 1979, p. 77-82).

[6] G. GASTIL, D. DRÜMMENACHER et J. MINCH, *Geol. Soc. Amer. Bull.*, I, 90, 1979, p. 839-857.

- [7] I. F. WILSON, *Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull.*, 32, 1948, p. 1762-1807.
- [8] Déterminations de Carla Muller.
- [9] J. L. BISCHOFF et T. L. HENYAY, *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 85, 1974, p. 1893-1904.
- [10] D. G. MOORE, *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 84, n° 6, 1974, p. 1883-1906.
- [11] J. E. SPENCER et W. R. NORMARK, *Geol. Soc. Amer. Abstr. Progr.*, II, n° 3, 1979, p. 243.
- [12] C. R. ALLEN, L. T. SILVER et F. G. STEHLI, *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 71, 1960, p. 457-482.
- [13] D. E. KARIG et W. JENSKY, *Earth Planet. Sc. Lett.*, 17, 1972, p. 169-174.
- [14] La présente étude a bénéficié du soutien de l'A.T.P. Géodynamique du C.N.R.S. (missions et frais de calcul), de l'Univ. Nac. Aut. de Mexico (missions), du contrat CNEXO/lab. Géodynamique Paris-VI (frais de calcul).

B. C. et L. O. : *Universidad Nacional Autónoma de Mexico, Oficina regional del Noroeste (L. O. : mision O.R.S.T.O.M.), Hermosillo, Sonora, Mexique;*

J. A., J. C. et C. R. : *Laboratoires de Géodynamique et de Géologie structurale, Département de Géotectonique, Université Pierre-et-Marie-Curie, 75230 Paris Cedex 05.*

