

Géodynamique

M. Xavier LE PICHON, membre de l'Institut
(Académie des Sciences), professeur

COURS : Collision et extension : cas de l'Egée et du Tibet

Le cours de l'année 1992-1993 a été consacré à un couple de phénomènes dont l'association paraît paradoxale, la collision et l'extension, à partir de deux exemples remarquables, celui de l'Anatolie-Egée d'une part et celui du Tibet d'autre part. Six cours ont été donnés au Collège de France à Paris en janvier et février et trois cours ont été donnés en mars en Hollande à Amsterdam et Utrecht, sous le patronage de la maison Descartes d'Amsterdam, dans le cadre d'un séminaire organisé pour cette occasion. Le problème principal abordé était celui de l'extrusion latérale dans la collision et de la signification de l'extension qui lui est associée.

En 1992, j'avais amorcé la comparaison entre l'extrusion de l'Anatolie-Egée vers le domaine océanique méditerranéen et l'extrusion du Tibet vers un domaine continental. Cette comparaison était jusqu'alors difficile à faire en l'absence de données cinématiques quantitatives fiables. Ces données ont commencé à devenir disponibles en 1992 grâce à la Géodésie Spatiale pour l'extrusion de l'Egée et l'Anatolie qui se fait à une vitesse de 4 à 5 cm/an et de manière encore très préliminaire, pour l'extrusion vers l'est de la Chine qui se ferait à environ 2 cm/an. Elles aboutissent à conclure que, dans le cas de l'Anatolie-Egée, il y a transfert quasi-total du mouvement convergent vers la subduction hellénique. L'extension nord-sud ouest-anatolienne et égéenne est donc, comme le proposait McKenzie, liée à la distribution du mouvement au-delà de la terminaison orientale de la faille nord-anatolienne. Dans le cas du Tibet, du fait de l'absence d'une bordure libre, le mouvement d'extrusion est partiel et accomode moins du tiers de la convergence. Le Tibet est avant tout le lieu d'une réorientation du mouvement de convergence vers le nord-est, au nord d'une limite qui va de la faille du Karakorum à l'ouest à la faille de Jiali à l'est, comme le démontrent les résultats de l'équipe de P. Tapponnier. Dans

ce contexte, la bordure orientale du Tibet est bien une zone de décrochement dextre comme le proposent P. England et P. Molnar. L'extension est-ouest ne joue pas le même rôle cinématique au nord et au sud de la limite Karakorum-Jiali. Mais, dans les deux cas, elle est due à la très haute altitude du Tibet, indépendamment de tout phénomène d'extrusion. On montre que cette très haute altitude pourrait résulter de l'évolution métamorphique récente de la croûte inférieure du Tibet du domaine éclogitique vers le domaine granulitique sous l'effet du réchauffement consécutif à l'épaississement.

Après avoir présenté les hypothèses en présence pour l'extrusion de l'Anatolie-Egée et celle du Tibet, on s'est attaché à caractériser la structure thermique et rhéologique du Tibet pour identifier le rôle que joue cette épaisseur exceptionnelle de croûte dans les phénomènes étudiés. Il est montré que l'altitude uniforme voisine de 5,15 km est due à la température très élevée à la base de la croûte inférieure qui permet son fluage rapide. Un examen critique des données géophysiques conduit à admettre que la croûte est particulièrement chaude dans la partie du Tibet centrée sur le Chang Tang éloignée des zones de chevauchement. Dans tous les cas, il semble que la croûte inférieure soit soumise à des températures comprises entre les *Solidus* humide et sec. On montre alors, que pour ces conditions de température et de pression, la croûte inférieure peut difficilement avoir une composition basique (proche d'un gabbro) car elle aurait alors une densité trop élevée incompatible avec les vitesses sismiques observées. On montre par ailleurs que, pour une composition intermédiaire, cette croûte entre 45 et 70 km aurait dû passer du domaine éclogitique au domaine granulitique dans un passé géologique récent, amenant un soulèvement de 2 à 2,5 km.

Dans une seconde partie, on discute la cinématique plio-quadernaire de l'extrusion égéo-anatolienne et son applicabilité éventuelle au Miocène. On inverse les données cinématiques SLR et GPS récemment obtenues en Turquie et Grèce pour obtenir un modèle cinématique simple ayant une grande cohérence interne qui semble régi par la transmission quasi-intégrale du mouvement de l'Arabie à l'Anatolie puis de l'Anatolie au Péloponnèse Occidental et à l'Albanie grâce, dans ce dernier cas, à une zone d'ajustement ouest-anatolienne-égéenne avec distension vers le sud. On montre qu'il paraît tentant de faire remonter le mouvement actuel au Miocène moyen lorsque s'est initiée l'ouverture océanique Golfe d'Aden-Mer Rouge. Mais cette hypothèse pose des problèmes géologiques importants qui sont discutés.

Dans une troisième partie, on discute la cinématique de l'Asie à partir du modèle de J.P. Avouac et ses collaborateurs (1992) qui est contraint en particulier par une démonstration récente de mouvements rapides (32 mm/an) senestres sur la faille du Karakorum faite par l'équipe de P. Tapponnier. En combinant ce modèle aux données géodésiques obtenues pour Shang Haï, on obtient une extrusion latérale chinoise rendant compte d'environ 20 à 25 % de

la convergence indo-asiatique et l'on montre que le mouvement le long de la bordure orientale du Tibet est senestre.

Des notes de cours ont été distribuées aux participants.

1. Evolution des idées sur l'extrusion

Anatolie-Egée

McKenzie en 1972 aborde le problème à partir de la déformation actuelle. Ceci l'amène à proposer que la quasi-totalité du mouvement de convergence Arabie-Europe est transmise à l'Anatolie le long des failles décrochantes conjuguées nord-anatolienne et est-anatolienne. Il en résulte que la vitesse de décrochement prédite sur la faille nord-anatolienne est de 3 à 4 cm/an. D'autres auteurs, tels Le Pichon et Angelier et Dewey et Sengor en 1979 abordent le problème à partir de l'histoire Mio-Plio-Quaternaire. Ceci les conduit à privilégier une histoire différenciée pour l'Egée par rapport à l'Anatolie et à minimiser le rôle de l'extrusion anatolienne (1 cm/an ou moins). Dans le premier cas, la dynamique serait principalement contrôlée par la convergence Arabie-Europe. Dans le second cas, l'évolution de l'Egée serait principalement contrôlée par des causes locales, distension gravitationnelle et recul de la subduction hellénique. Les critères de choix entre ces deux modèles sont simples. Y a-t-il transmission du mouvement de l'Arabie à l'Anatolie ? Y a-t-il accélération du mouvement en Anatolie occidentale et (ou) Egée ?

Tibet

Molnar et Tapponnier en 1975 mettent en évidence l'importance des failles senestres perpendiculaires au poinçon indien impliquant une extrusion latérale considérable. Depuis, l'équipe de P. Tapponnier a continué dans cette voie, s'efforçant de démontrer l'ampleur de l'extrusion principalement paléogène du bloc indochinois et l'existence actuelle d'une extrusion vers l'est du Tibet le long de l'Altyn Tagh au nord du Tibet et de la faille du Karakorum au sud-ouest. La synthèse la plus récente est celle d'Avouac en 1991. Elle propose un mouvement en bloc vers le nord est de la partie principale du Tibet. D'autres chercheurs, au contraire, tels England, Molnar et Dewey privilégient la déformation distribuée, l'absorption de la convergence par épaissement crustal et nient l'existence d'extrusion significative latérale du Tibet à présent (Holt et al, 1991) et dans le passé (Dewey et al, 1989).

Les critères de choix sont cinématiques. Y a-t-il mouvement vers l'est de la Chine et à quelle vitesse ? Ce mouvement détermine la quantité d'extrusion mais non la nature du mouvement le long de la bordure orientale du Tibet. La géodésie spatiale permet dès à présent, quoiqu'encore imparfaitement, de répondre au problème.

2. La structure thermique et rhéologique du Tibet

Bird (1991) a montré que l'altitude uniforme du Tibet proche de 5,15 km pouvait s'expliquer par un fluage rapide de la croûte inférieure si la température au Moho, sous 65-70 km de croûte, atteignait 950 °C. Pour obtenir cette température, il choisissait une teneur radiogénique uniforme faible ($6 \times 10^{-7} \text{Wm}^{-3}$) et une délamination du manteau il y a 5 Ma. Ceci produit un manteau très chaud et une croûte supérieure froide avec un flux assez faible en surface (44mWm^{-2}).

En choisissant une teneur radiogénique plus élevée pour la croûte supérieure ($2 \times 10^{-6} \text{Wm}^{-3}$) et équivalente pour la croûte inférieure ($5 \times 10^{-7} \text{Wm}^{-3}$), on obtient au contraire un flux en surface élevé. La température au Moho s'élève à plus de 1 100° en régime permanent avec une constante de temps thermique de l'ordre de 30 Ma. Après 40 Ma, âge probable de l'épaississement de la croûte, en supposant un flux constant à la base de la croûte (23mWm^{-2}) et pas de délamination, la température au Moho atteint 1 100°C. On obtient une croûte très chaude sur un manteau relativement normal.

Or, les quelques données thermiques directes donnent des flux de chaleur très élevés (90 à 145mWm^{-2}) au sud. Au nord, il y a un volcanisme quaternaire abondant. Au sud, il y a d'importantes manifestations hydrothermales. Par ailleurs, les données sismologiques et magnétiques sont compatibles avec la présence d'une croûte inférieure chaude, au moins dans la partie du Tibet éloignée des zones de chevauchement.

Le modèle calculé, qui donne une croûte inférieure particulièrement chaude, paraît donc raisonnable et est utilisé pour étudier l'évolution métamorphique de la croûte du Tibet depuis la convergence. Goffé et Chopin ont calculé la densité en fonction de la pression et de la température en prenant en compte les phases minérales métamorphiques stables pour ces conditions et en admettant une vitesse de réaction métamorphique grande par rapport aux constantes de temps thermiques. On peut donc, en se servant du calcul des températures en fonction de l'âge et de la profondeur, déterminer l'évolution des densités dans la croûte et donc celle de l'altitude. On montre qu'il est impossible d'obtenir l'épaisseur de croûte observée, et donc l'altitude actuelle, pour une composition de croûte inférieure gabbroïque. En effet, au-delà de 50 km d'épaisseur de croûte, aux faibles températures initiales, la croûte inférieure est éclogitisée et devient plus dense que le manteau environnant. Même après réchauffement, les granulites produites restent quasiment aussi denses que le manteau. Ceci n'est pas le cas d'une croûte intermédiaire (« andésitique » telle que la définit McLennan, 1992) pour laquelle les granulites obtenues ont une densité inférieure à $3\,000 \text{kgm}^{-3}$. L'épaisseur de croûte actuelle et l'altitude sont donc bien reproduites. Il en résulte qu'une croûte tibétaine ne peut avoir de partie inférieure de composition gabbroïque telle

que la définit McLennan à moins de supposer que celle-ci soit dans un état métastable.

En acceptant alors une composition intermédiaire, on montre que le modèle conduit à un soulèvement de 2 000 à 2 500 m, avec un palier, en un temps assez court (25 Ma) après la collision. Dans ce modèle, il n'y a pas besoin de supposer l'existence d'une délamination du manteau. Il conduit à admettre que la base de la croûte tibétaine est proche du Solidus sec et que la croûte inférieure est à une température supérieure au Solidus humide. L'existence d'un palier pourrait rendre compte de la surface péniplanée Miocène reconnue au Tibet. Enfin, on ne peut exclure la possibilité que des quantités importantes de croûte inférieure soient présentes dans le manteau sous le faciès éclogitique.

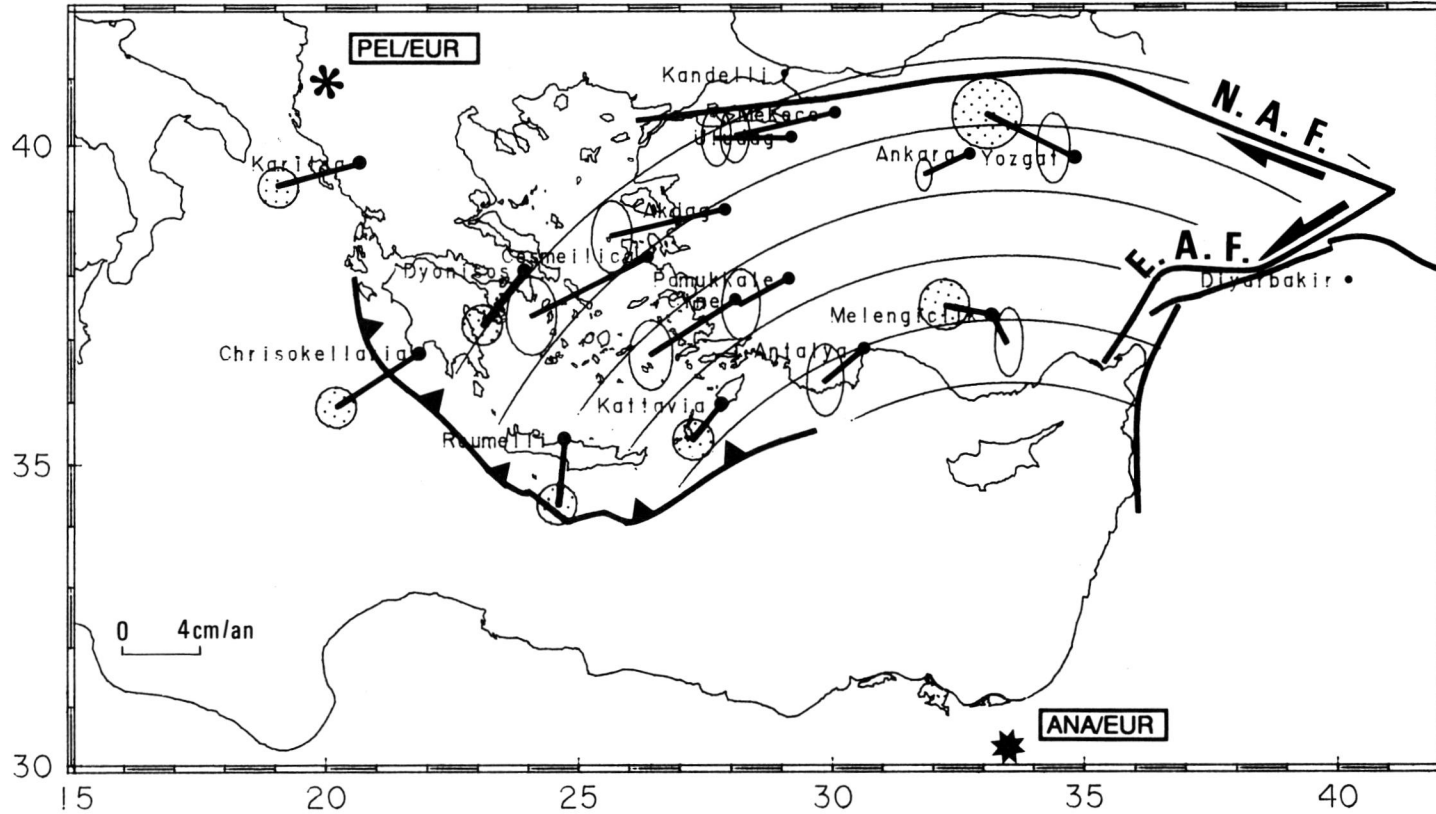
Le cas du Tibet nous semble indiquer que l'orogénèse agit comme un filtre éliminant préférentiellement de la croûte les portions les plus basiques qui deviennent plus denses que le manteau péridotitique et donc devraient disparaître définitivement.

3. Cinématique plio-quadernaire de l'extrusion anatolienne et son extrapolation éventuelle au Miocène moyen

Depuis l'anomalie 13 (37 Ma), le mouvement de l'Afrique par rapport à l'Europe est à peu près uniforme et la vitesse de convergence vers le nord est de 1 cm/an au niveau de la Crète et 1,2 cm/an au niveau de l'Anatolie. L'ouverture Mer Rouge-Golfe d'Aden, commencée il y a au moins 10-11 Ma et sans doute 13 Ma, produit une convergence orientée au 350 à la vitesse de 2,4 cm/an au niveau de l'Anatolie. Il en résulte un mouvement total de 310 km pour la convergence Arabie/Europe contre 125 km pour la convergence Afrique/Europe depuis 13 Ma (Serravallien).

La géodésie classique montre sur 88 ans une extension d'environ 1 cm/an à peu près perpendiculaire aux fossés dans la Grèce Centrale (Billiris et al., 1991). Les mesures SLR, faites depuis 9 ans en Europe y compris la Grèce, mais seulement 4 ans en Anatolie, montrent que les stations situées sur la plaque Eurasie sont fixes les unes par rapport aux autres (Noomen et al, à l'impression). Le mouvement de l'Anatolie-Egée est une rotation directe autour d'un point proche du delta du Nil à une vitesse moyenne de 36 mm/an pour les sept stations mesurées. En Anatolie, dix stations de mesures GPS sur deux ans fournissent des vitesses comparables en direction et module avec une précision moindre (Oral et al, à l'impression). On a utilisé une méthode d'inversion pour obtenir la meilleure rotation rigide ajustant ces vecteurs. Le meilleur pôle est situé entre 30 et 34°N et 31 et 34°E. Les directions sont ajustées à 15° en moyenne et les vitesses à 20 % pour le SLR. La vitesse obtenue sur la faille nord anatolienne est voisine de 4 cm/an (Le Pichon et al., 1993). Cette solution est compatible avec une transmission intégrale du

Figure 1. Vitesses de déplacement par rapport à l'Europe en cm/an déterminées avec le SLR (ovales remplis, Noomen et al., à l'impression) et le GPS (ovales vides, Oral et al., à l'impression) en Anatolie et Egée. Les ovales indiquent la précision des séismes. Les petits cercles par rapport au pôle Ana/Eu sont obtenus par inversion en supposant que le mouvement est une rotation rigide de l'Anatolie-Egée par rapport à l'Europe.



mouvement de convergence Arabie-Europe à l'Anatolie. On ne peut toutefois exclure dans l'état actuel des données que le mouvement soit plus faible (2,5 cm/an) à l'est de l'Anatolie et que l'augmentation de vitesse vers l'ouest jusqu'à 4 cm/an résulte alors en partie de la distension ouest-anatolienne.

En conclusion, les données de géodésie spatiale indiquent qu'il y a un transfert quasi-total du mouvement de l'Arabie à l'Anatolie qui se déplace vers l'ouest par rapport à l'Europe à 3 ou 4 cm/an. L'augmentation de vitesse due à la distension ouest-anatolienne et égéenne est faible et ne dépasse sans doute pas 1 à peut-être 1,5 cm/an. Cette distension semble essentiellement accommoder le décrochement Anatolie occidentale Egée/Europe dans la partie où la faille nord-anatolienne n'existe plus comme le proposent Taymaz et al. (1991).

Toutefois ces résultats qui sont compatibles en direction avec les mécanismes au foyer des séismes sur la faille nord-anatolienne et dans la zone de subduction hellénique, ne sont pas en accord avec les estimations de taux de mouvement sur la faille nord-anatolienne (1 cm/an ou moins, Barka, sous presse). Par ailleurs, la valeur élevée de la vitesse trouvée à Karitsa, près de 40°N, en Grèce continentale, conduit à admettre, comme dans le modèle proposé par Taymaz et al. (1991) à la suite des résultats paléomagnétiques de Speranza et al. (1992), que la bordure occidentale albanais-grecque, bloquée au nord, pivote dans le sens rétrograde sous la poussée de l'Anatolie et que l'Egée centrale est une zone d'ajustement entre ces deux mouvements. Le mouvement de cette bordure occidentale, au sud de la transversale de Scutari-Pec, demande à être précisé par des mesures plus complètes.

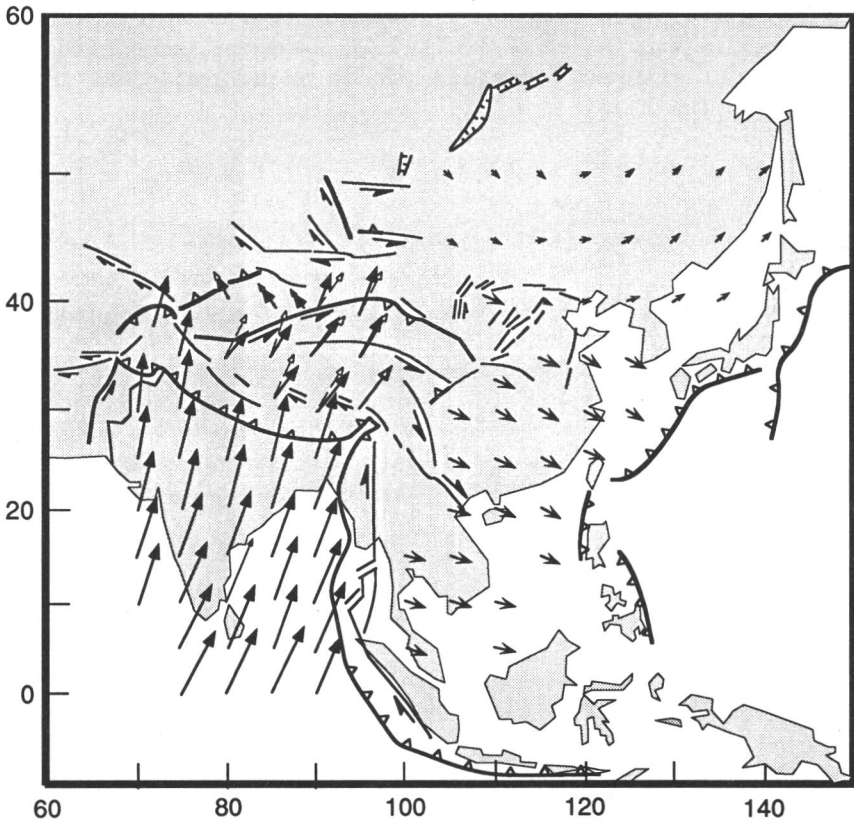
On peut alors se demander si l'extrusion anatolienne remonte au Miocène moyen, au moment du début de l'ouverture rapide du Golfe d'Aden-Mer Rouge. La reconstruction finie dans ce cas conduit à faire tourner l'Anatolie de 26° par rapport à l'Europe ($13 \times 2^\circ$) et la Grèce de 45° d'après le paléomagnétisme. Ceci supprime l'angle de 70° que font à l'heure actuelle les ceintures ophiolitiques et les zones internes grecque et anatolienne. Cette reconstruction conduit à admettre que le décalage total atteint 500 km sur la faille nord anatolienne, beaucoup plus que ne l'admettaient jusqu'ici les spécialistes. Toutefois, elle aligne la marge nord européenne, telle que la définissent Ricou et al. (1986). Par ailleurs, cette solution rend compte de la grande différence topographique au nord du poinçon arabe à l'est et à l'ouest du point triple Anatolie-Arabie-Europe. A l'est, un bassin flexural important est présent au sud et l'altitude moyenne est de 2 250 sur 700 km de large. A l'ouest, le bassin flexural est peu prononcé et l'altitude moyenne n'est que de 1 500 m sur 250 km de large. L'existence d'une flexuration et d'une topographie beaucoup moins importantes à l'ouest sont compatibles avec un transfert important du mouvement de convergence vers l'extrusion. Cette reconstruction pose toutefois de nombreux problèmes géologiques dont celui de l'importance de l'extension ductile égéenne au Miocène moyen et du déplacement éventuel

du Rhodope par rapport à l'Europe avec l'Anatolie. Ainsi, la géodésie spatiale conduit-elle à reconsidérer l'évolution géologique de l'Anatolie-Egée durant les 13 derniers millions d'années.

4. Extrusion du Tibet

Pour le moment, nous ne disposons de données géodésiques, d'ailleurs encore très imprécises, que pour Shang Haï (31°N, 121,5° E). D'après la compilation de Boucher et al. (1992), le mouvement de Shang Haï par rapport à l'Eurasie est de l'ordre de 10 à 20 mm/an vers l'E-ESE avec une grande incertitude. Les meilleures solutions (non publiées) seraient proches de 20 mm/an. Partout ailleurs, nous ne disposons que de contraintes géologiques ou sismologiques.

Figure 2. Modèle cinématique de l'intrusion de l'Inde. Les vitesses sont par rapport à l'Eurasie supposée fixe. Le modèle Inde-Tibet Tarim-Eurasie présente deux versions possibles à partir du modèle Avouac (1991). On y a rajouté le mouvement de la Mongolie et celui de la Chine d'après Le Pichon (1991), mouvement en accord raisonnable avec les mesures SLR à Shang Haï (Boucher et al., 1992).



La convergence de l'Himalaya

Elle était discutée dans le cours de l'année dernière. Elle est comprise, d'après une méthode d'évaluation basée sur les résultats des forages effectués dans les bassins molassiques, entre 10 et 20 mm/an depuis 10 à 20 Ma entre 76 et 84°E. Molnar (1987) a proposé une convergence de 18 ± 7 mm/an et c'est le chiffre repris par Avouac (1991) pour tout l'Himalaya. Les reconstructions donnent des vitesses moyennes de convergence comprises entre 10 et 22 mm/an. Holt et al. (1991), à partir des tenseurs des moments des séismes, obtiennent 25 à 38 mm/an vers le nord pour le mouvement du Tibet par rapport à la Chine près de la syntaxe est. Si l'on admet le mouvement de Shang Hai donné par la géodésie, on obtient 25 ± 10 mma⁻¹ vers le 350°-360° pour la convergence à l'ouest de l'Himalaya.

Le découplage de la déformation (« strain partitioning ») le long du système Karakorum-Jiali

Le long de la faille du Karakorum, le mouvement dextre est estimé à 32 ± 8 mma⁻¹ par l'équipe Tapponnier. A l'est de 85°E, un système dextre en échelon accommoderait une vitesse de 15 ± 7 mm/an d'après la même équipe. Ceci suggère qu'il y a une partition du mouvement himalayen entre décrochement dextre sur Karakorum-Jiali et convergence pure sur l'Himalaya. L'extension est-ouest au sud de Karakorum accommoderait l'accélération nécessaire d'est en ouest.

Faille de l'Altyn Tagh

Mouvement senestre de 30 mm/an ± 10 mais seulement 20 mm/an ± 3 sur sa prolongation orientale qui aurait une forte composante convergente (Avouac et al, 1992).

Tien Shan

Convergence pure à 13 ± 7 mm/an d'après les tenseurs des moments sismiques (Molnar et Deng, 1984).

Avouac (1991) propose alors une approximation cinématique Eurasie-Tarim-Tibet-Inde en termes de plaques rigides respectant ces contraintes. On a testé cette solution et vérifié que l'inversion privilégie bien un modèle voisin de celui choisi par Avouac.

On a complété cette solution en introduisant le mouvement de la Mongolie et celui de la Chine donnant une vitesse de 15 mma⁻¹ vers l'est au niveau de Shang Hai. Cette solution respecte toutes les contraintes introduites, y compris les contraintes géodésiques. Elle indique que 40 % du raccourcissement Inde/Eurasie serait absorbé dans l'Himalaya, 25 ± 5 % par l'extrusion de la Chine, 20 % par le Tarim et 15 ± 5 % par la croissance du Tibet vers le NE

et le NO. Le mouvement, sur la bordure orientale du Tibet est un mouvement senestre purement décrochant de 15 mm/an et l'extrusion de la Chine se fait également à 15 mm/an. Il y a donc bien à la fois extrusion modérée de la Chine et mouvement décrochant le long du Tibet oriental. Le Tibet se déformerait peu intérieurement et son mouvement par rapport à l'Europe est principalement vers le nord-nord-est. Sa portion sud, au sud de la ligne Karakorum-Jiali, est une zone de découplage entre la convergence pure de l'Himalaya et le décrochement dextre pur de la ligne Karakorum-Jiali. C'est une zone relativement moins chaude, principalement dans le manteau, ce qui suggère que le décrochement s'est localisé à la limite entre le manteau lithosphérique plus froid au sud et celui plus chaud au nord. Il faudra attendre des mesures géodésiques plus complètes pour préciser ce schéma.

X. L.P.

SÉMINAIRES À PARIS (Janvier-Février 1993)

6 Janvier, « Extension active en Mer Egée », avec J. Jackson, de l'Université de Cambridge.

13 Janvier, « Les failles Nord Anatolienne et Est Anatolienne : géologie d'un système d'extrusion latérale », avec C. Sengör, de l'Université Technique d'Istanbul.

20 Janvier, « Reconstitution des mouvements cénozoïques en Méditerranée Centro-orientale : approches paléomagnétiques », avec C. Kissel, du CFR de Gif-sur-Yvette.

27 Janvier, « Convection dans les chaînes de montagnes : l'exemple du Tibet », avec P. England, de l'Université d'Oxford.

3 Février, « Cinématique des déformations actives en Asie Centrale », avec J.P. Avouac.

10 Février, « Tectonique tertiaire du Vietnam », avec P. Huchon de l'Ecole Normale Supérieure et C. Rangin de l'Université P. et M. Curie.

COURS ET SÉMINAIRES AUX PAYS-BAS (Mars 1993)

16 Mars, à Amsterdam, « Modèle d'évolution du soulèvement de la croûte tibétaine et métamorphique ».

17 Mars, à Utrecht, « Cinématique de l'extrusion de l'Egée-Anatolie depuis le Miocène ».

18 Mars, à Amsterdam, « Géodésie spatiale et Cinématique des Plaques ».

ACTIVITÉS SCIENTIFIQUES de Juin 1992 à Mai 1993

Xavier Le Pichon dirige le Laboratoire de Géologie de l'Ecole Normale Supérieure qui correspond à une Unité Associée au CNRS (URA 1316). Le laboratoire regroupe 32 chercheurs et enseignants répartis en quatre équipes. Seules, certaines des activités plus directement liées au travail de X. Le Pichon sont brièvement rappelées ci-dessous. Un rapport d'ensemble rédigé pour le CNRS est disponible sur demande.

a) Etude de la Subduction

Ce programme à long terme, concernant le rôle des fluides dans le processus de subduction, s'est poursuivi. Une synthèse sur ce sujet a été publiée dans *Annual Review of Earth Sciences* au début de l'année 1993. L'exploitation de la Campagne Manon au large des Barbades s'est poursuivie. L'étude du prisme d'accrétion de la ride méditerranéenne a été amorcée et un grand programme de recherches financé par la Communauté Européenne mis en route dans ce domaine. Au Japon, le programme franco-japonais Kaiko-Tokai, qui a pour but d'examiner les phénomènes directement liés à la rupture du prochain grand séisme de Tokai a été officiellement mis en place pour une période de 5 ans (1993-1998).

b) Collision

L'étude de l'évolution temporelle d'une racine de chaîne de montagne, en fonction de la température et de la pression, en tenant compte des réactions métamorphiques se poursuit.

c) Cinématique et Géodésie Spatiale

Les premiers résultats des mesures de Géodésie Spatiale (SLR et GPS) en Egée et Turquie ont été interprétés dans le cadre d'un modèle d'extrusion pure de l'Anatolie-Egée. Une publication préliminaire a été faite dans les *Comptes Rendus de l'Académie*.

d) Ouverture de la Mer de Chine et évolution géodynamique tertiaire du Viet Nam

Trois publications ont été soumises. L'évolution du champ de déformations est interprétée comme le résultat de la migration vers le nord du poinçon indien par rapport à la péninsule indochinoise.

Une campagne à la mer, Ponaga, a eu lieu en mai 1993 le long de la marge du Viet Nam. Elle semble indiquer que la formation de la mer de Chine a été accomodée par un large décrochement dextre le long de cette marge.

ACTIVITÉS DIVERSES
de Juin 1992 à Mai 1993

28 Août-2 Septembre : Communications au 29^e Congrès Géologique International, à Kyoto, Japon.

28 Septembre-1^{er} Octobre : Interventions au Comité de Direction du QUASAR à Saint-Pétersbourg, Russie. Ce Comité scientifique International suit le programme de mise en place des stations VLBI de Russie.

6-9 Octobre : Conférence au Colloque de Réflexion sur la Recherche Océanographique Européenne organisée à Obernai, par l'ESF.

27 Octobre-1^{er} Novembre : Discussions scientifiques pour la préparation de la campagne Ponaga, à Hanoï, Vietnam.

18-22 Novembre : Conférence à l'Ecole Polytechnique Fédérale de Zurich à l'occasion de la remise du titre de Docteur des Sciences de la Nature Honoris Causa.

25-26 Novembre : Conférence à la Réunion « Géologie et Atome » à l'UNESCO.

15 Décembre : Conférence à Cannes.

3 Mars : Conférence aux Explorateurs de la Compagnie Total, à Paris.

6-7 Avril : Conférence à la British Petroleum, à Londres.

20-22 Avril : Cycle de Conférences comme « First Distinguished Shell Lecturer » à l'Université de Cambridge, en Angleterre.

Du 2 au 18 Mai 1993, il a été Chef de Mission de la Campagne Ponaga, sur le navire Atalante, dans les eaux du Viet Nam.

Du 24 au 26 Mai 1993, il a participé à l'Audit d'un département des Sciences de la Terre à l'ETH de Zurich, Suisse.

DISTINCTIONS

Xavier LE PICHON a reçu le diplôme de Docteur Honoris Causa de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Zurich, Suisse.

Il a été nommé « First Distinguished Shell Lecturer » à l'Université de Cambridge, Angleterre.

PUBLICATIONS DE L'ÉQUIPE GÉODYNAMIQUE

AUZENDE J.M., HONZA E., MAZE J.P., Starmer Group (HUCHON Ph.), *Comments on the Seabeam map of the North Fiji Basin ridge between 16 10'S and 21 40'S. (Ofioliti, 17, 43-53, 1992).*

CHAMOT-ROOKE N., LALLEMANT S., **LE PICHON X.**, HENRY P., SIBUET M., BOULEGUE J., FOUCHER J.P., FURUTA T., GAMO T., GLACON G., KOBAYASHI K., KURAMOTO S., OGAWA Y., SCHULTHEISS P., SEGAWA J., TAKEUCHI A., TARITS P., TOKUYAMA H., *Tectonic context of fluid venting at the toe of the eastern Nankai accretionary prism : evidence for a shallow detachment fault. (Earth Planet. Sci. Lett., 3-4, 319-332, 1992).*

CHARVET J., GRIMM K., GRIFFIN J., JOLIVET L., POUCKET A., PANIS D., *Structural Features in Leg 128 cores : relationship with the tectonic evolution of the Japan Sea. (Proc. Ocean Drilling Program, 127/128, 1175-1193, 1992).*

COLLAKU A., CADET J.P., BONNEAU M., JOLIVET L., *L'édifice structural de l'Albanie septentrionale : des éléments de réponse sur les modalités de la mise en place des ophiolites. (Bull. Soc. Géol. Fr., 163, 455-468, 1992).*

DE VOOGD B., TRUFFERT C., CHAMOT-ROOKE N., HUCHON P., LALLEMANT S., **LE PICHON X.**, *Two-ship deep seismic soundings in the basins of the eastern Mediterranean Sea (Pasiphae cruise). (J. Geophys. Int., 109, 536-552, 1992).*

FAGEL N., ANDRÉ L., CHAMLEY H., DEBRABANT P., JOLIVET L., *Clay sedimentation in the Japan Sea since the Early Miocene : influence of source-rock and hydrothermal activity. (Sed. Geol., 80, 27-40, 1992).*

FOUCHER J.P., HENRY P., **LE PICHON X.**, KOBAYASHI K., *Time-variations of fluid expulsion velocities at the toe of the eastern Nankai accretionary complex. (Earth Planet. Sci. Lett., 109, 3-4, 373-382, 1992).*

HENRY P., FOUCHER J.P., **LE PICHON X.**, SIBUET M., KOBAYASHI K., TARITS P., CHAMOT-ROOKE N., FURUTA T., SCHULTHEISS P., *Interpretation of temperature measurements from the Kaiko-Nankai cruise : Modeling of fluid flow in clam colonies. (Earth Planet. Sci. Lett., 109, 3-4, 355-372, 1992).*

JESTIN F., HUCHON P., *Cinématique et déformation de la jonction triple Mer Rouge-Golfe d'Aden-Rift Ethiopien depuis l'Oligocène. (Bull. Soc. Géol. Fr., 163, 125-133, 1992).*

JESTIN F., HUCHON Ph., *Kinematics and deformation of the Red Sea-Gulf of Aden-Ethiopian rift triple junction since the Oligocene. (Int. Geol. Rev., 34, 1-15, 1992).*

JOLIVET L., FOURNIER M., HUCHON P., ROZHDESTVENSKLY V.S., SERGEYEV K.F., OSCORBIN L.S., *Cenozoic intracontinental dextral motion in the Okhotsk-Japan Sea region. (Tectonics, 11, 968-977, 1992).*

JOLIVET L., TAMAKI K., *Neogene kinematics in the Japan sea region and volcanic activity of the Ne-Japan arc. (Proc. Ocean Drilling Program, 127/128, 1311-1331, 1992).*

KOBAYASHI K., ASHI J., BOULEGUE J., CAMBRAY H., CHAMOT-ROOKE N., *et al.*, *Deep-tow survey in the KAIKO-Nankai cold seepage areas. (Earth Planet. Sci. Lett., 109, 347-354, 1992).*

LE PICHON X., KOBAYASHI K., *The Kaiko-Nankai Scientific Crew. Fluid venting activity within the Eastern Nankai Trough accretionary wedge : a summary of the 1989 Kaiko-Nankai results. (Earth Planet. Sci. Lett., 109, 3-4, 303-318, 1992).*

LE PICHON X., HENRY P., *Erosion and accretion along subduction zones : a model of evolution. (Proc. Kon. Ned. Akad. v. Wetensch, 95, 297-310, 1992).*

LE PICHON X., FOURNIER M., JOLIVET L., *Kinematics, Topography shortening and Extension in the India-Eurasia Collision. (Tectonics, 11, 1085-1099, 1992).*

MALTMAN A., BYRNE T., KARIG D., LALLEMANT S., *and Leg 131 Shipboard Party. Structural geological evidence from ODP Leg 131 regarding fluid flow in the Nankai prism, Japan. (Earth Planet. Sci. Lett., 109, 463-468, 1992).*

TAIRA A., HILL I., FIRTH J., BERNER U., BRUCKMANN W., BYRNE T., CHABERNAUD T., FISHER A., FOUCHER J.P., GAMO T., GIESKES J., HYNDMAN R., KARIG D., KASTNER M., KATO Y., LALLEMANT S. *et al.*, *Sediment deformation and hydrogeology of the Nankai Trough accretionary prism : Synthesis of shipboard results of ODP leg 131. (Earth Planet. Sci. Lett., 109, 431-450, 1992).*