

Géodynamique

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

COURS : Cinématique globale et Géodynamique

Ces trois dernières années, nous avons considéré différents aspects de la zone sismogénique des grandes failles. Cette année, nous revenons sur le sujet du premier de mes cours au Collège de France, en 1987, celui de la ***cinématique globale des plaques***. En 1987, je commençais mon cours en donnant les idées directrices suivantes : « La cinématique instantanée devient celle obtenue par la géodésie spatiale, la géodésie finie est tout le reste. Le problème de l'inversion conduisant au modèle cinématique et aux incertitudes qui lui sont liées est fondamental. On ne connaît pas le degré de validité de l'hypothèse de rigidité. On ne connaît pas l'importance et la nature des variations dans le temps du vecteur rotation de plaque. On ne connaît pas la nature de la différence de cinématique entre zones océaniques et zones continentales. » Ces problèmes restent fondamentaux, mais la perspective d'ensemble a radicalement changé sur les plans spatial et méthodologique. Le modèle cinématique des plaques à l'époque venait encore uniquement de l'étude des frontières de plaque sous-marines. Le module de vitesse était uniquement obtenu à partir de la vitesse d'expansion supposée constante sur les 3,4 derniers Ma. Aujourd'hui la cinématique faite avec l'outil spatial provient de la répétition de la mesure de position de n'importe quel point subaérien à un intervalle de quelques années.

Après la période initiale de découverte de la cinématique globale à partir de 1968, la période 87-98 fut celle de l'étonnement devant le très bon accord des cinématiques des plaques océaniques et spatiales et du début de l'exploration de la cinématique continentale avec l'outil spatial. La cinématique spatiale globale est maintenant autonome. Elle a permis de découvrir des erreurs dans le dernier modèle de cinématique océanique utilisé, celui de NUVEL-1 (Mouvement de l'Inde et des Caraïbes par exemple). Elle a surtout permis de découvrir des changements significatifs de cinématique dans les trois derniers millions d'an-

nées, sur les continents comme dans les océans, changements que nous avons essayé de mettre en évidence.

Le cours discutait les principaux apports des modèles géodésiques globaux par rapport aux modèles océaniques et cherchait plus particulièrement à identifier les zones ayant eu une évolution cinématique récente dans les trois derniers millions d'années. Il cherchait à déterminer jusqu'à quel niveau peut être mesurée la rigidité des plaques et faisait le point sur les systèmes de référence extérieurs (NNR, no net rotation) et Points Chauds. Un développement spécial était consacré à la notion d'Eurasie et au problème des changements cinématiques récents en Asie de l'Est. Enfin, on réévaluait l'ensemble des changements cinématiques récents affectant l'Europe. Les notes de cours détaillées, les figures avec leurs légendes et les références sont disponibles sur le site du Collège de France. On peut y avoir accès facilement en utilisant un moteur de recherche avec les mots-clefs « cours de géodynamique ».

SÉMINAIRES À PARIS (janvier-février 2004)

7 janvier : Richard Gordon Université de Rice, « Comparisons between geodetically and geologically estimated plate velocities ».

14 janvier : Zuheir Altamimi, Institut Géographique National, « L'ITRF et la tectonique des plaques ».

21 janvier : Cornélis Kreemer, Collège de France, « Intégration des zones de déformation inter-plaques dans un modèle de cinématique global ».

28 janvier : Jean-Mathieu Nocquet, Université d'Oxford « La cinématique Afrique-Europe ».

4 février : Frédéric Masson, Université de Montpellier, « Le mouvement Arabie/Eurasie ».

11 février : Jean-Yves Royer, CNRS-Université de Bretagne Occidentale, « Le mouvement Inde/Eurasie ».

COURS ET SÉMINAIRES À L'UNIVERSITÉ D'AIX-MARSEILLE III, CÉRÈGE

« *La déformation active du Sud-Est de la France* », Colloque organisé avec Olivier Bellier du Cérège.

Mardi 23 mars 2004

- Xavier Le Pichon, cours : « Cinématique de la Méditerranée occidentale ».
- Olivier Bellier : « La Faille de la Moyenne Durance ».
- Dominique Chardon : « À la recherche du séisme de Lambesc de 1909 ».
- Emmanuel Baroux *et al.* : « Modélisation du séisme de Lambesc de 1909 ».

— Xavier Le Pichon, cours : « Y a-t-il eu un ralentissement récent du mouvement Afrique/Europe ? »

— Lionel Siame et Régis Braucher : « Taux d'érosion et vitesse de glissement sur les failles lentes ».

— Christophe Larroque, Bertrand Delouis et Françoise Courbouleix : « Les indices de déformation active à la jonction entre les Alpes et le Bassin Liguro-Provençal et la relation faille-sismicité ».

— Stéphane Gaffet : « Apports du Laboratoire Souterrain à Bas Bruit de Rustrel pour l'évaluation des aléas naturels ».

Mercredi 24 mars 2004

— Xavier Le Pichon, cours : « Problèmes et perspectives pour l'étude de la déformation du Sud-Est de la France ».

— Yves Guglielmi : « Le glissement de terrain de la Clapière ».

— Michel Sébrier et Olivier Bellier : « Modèle sismotectonique de la Provence ».

— Nicole Béthoux et Emmanuel Tric : « Modélisation de la déformation dans le domaine liguro-provençal à partir des données géodésiques et sismiques ».

— Anne Deschamps, Nicole Béthoux, Yann Hello et Philippe Charvis : « Sismicité en mer Ligure : observation par des réseaux d'OBS temporaires et projet de réseau d'observation permanent ».

— Discussions, propositions, conclusions.

Activités scientifiques de juin 2003 à juin 2004

Xavier Le Pichon qui avait dirigé jusqu'au 31 décembre 1999 le Laboratoire de Géologie de l'École Normale Supérieure, une unité associée au CNRS, et après 12 années de direction, avait laissé la place de directeur au Professeur Raul Madariaga. Au 1^{er} juillet 2003, il s'est délocalisé à proximité du laboratoire du Cérège sur l'Europôle de l'Arbois, près d'Aix-en-Provence, dans des locaux mis à disposition par l'Université Paul Cézanne Aix-Marseille III, afin que l'équipe de recherche de sa Chaire de Géodynamique forme avec l'équipe de recherche de la Chaire d'Évolution du Climat et de l'Océan d'Édouard Bard une antenne du Collège de France accueillie par l'université Paul Cézanne. L'équipe de géodynamique comprenait pour son début à Aix-en-Provence dix personnes : trois chercheurs permanents, trois post-doctorants, un ingénieur informatique et un technicien gestionnaire permanents, deux agents techniques sous contrat temporaire.

Principaux thèmes de recherche

a) Étude de la déformation du Japon

Cette étude, conduite par Pierre Henry, se place dans la préparation du grand forage prévu dans le programme IODP pour étudier la genèse des séismes de

subduction. Pierre Henry a publié trois articles dans ce cadre. Il vient d'être promu directeur de recherche au CNRS.

b) Étude de la déformation de l'Égée

La déformation de l'Égée et de la ride méditerranéenne a fait l'objet d'une étude qui utilise en particulier les mesures géodésiques pour quantifier la distribution de la déformation actuelle. Deux articles ont été publiés dans ce cadre. Une étude de la prolongation de la faille nord-anatolienne en Égée est en cours.

c) Déformation de l'Asie du Sud-Est et géodésie spatiale

La première phase de l'étude de la faille de Sagaing et de la tectonique récente du Myanmar dirigée par Claude Rangin et financée par la compagnie Total est achevée. Deux articles nouveaux ont été publiés sur ce sujet. Une seconde phase comprenant une nouvelle série de mesures GPS est programmée.

Deux nouveaux articles étudiant le mouvement cosismique du séisme de Chi-Chi à Taiwan ont été publiés à la suite de la thèse d'Anne Loevenbruck.

d) Cinématique active de la mer de Marmara et risque sismique

Cette étude se poursuit en collaboration avec le Pr Sengor et son équipe de l'Université Technique d'Istanbul. Un article publié traite spécifiquement de la faille nord-anatolienne en mer de Marmara et du risque sismique. Deux articles traitent de la tectonique de la mer de Marmara à partir de profils de sismique réflexion. Un article de synthèse sur la Faille Nord Anatolienne a été publié sous la direction de Celal Sengor.

Pierre Henry a utilisé un transit du navire Marion Dufresne en mer de Marmara pour obtenir plusieurs carottages permettant d'étudier plus particulièrement les fluides liés à l'activité de la faille nord-anatolienne. Une campagne utilisant un submersible ou un engin submersible lui a été accordée sur ce thème en mer de Marmara pour l'année 2006.

e) Le travail sur l'inhomogénéité des propriétés élastiques des grandes failles transformantes, commencé dans le cadre d'une demi-année sabbatique comme Wiess Professor à l'université de Rice, à Houston, Texas, s'est poursuivi et a fait l'objet d'une présentation au symposium de Princeton en l'honneur de Jason Morgan. Un article sur ce sujet est soumis.

f) Un nouveau programme de recherche, financé par la compagnie Total, s'intéresse à la tectonique tertiaire au confins du Texas et du Mexique, en lien avec l'évolution des bassins sédimentaires sur la marge du Golfe du Mexique. Cette étude sera présentée dans un colloque célébrant le centenaire de la Société Géologique du Mexique. Une extension à la marge mexicaine est programmée en coopération avec la compagnie Pemex.

ACTIVITÉS DIVERSES

Du 9 au 16/10/03

Conférence invitée au Morgan Festschrift à l'université de Princeton et travail à la compagnie Total et à Rice University à Houston.

Du 22/10/03 au 26/10/03

Conférence invitée au Congrès de ICESE à Istanbul.

17/11/03

Leçon inaugurale de la Rentrée universitaire à l'Université Catholique de Toulouse.

Du 28/03/04 au 30/03/04

Participation au Science Advisory Group du Programme International de Forage à Potsdam.

Du 1^{er} au 04/04/04

Conférence sur l'Environnement (M. Michel Serre) à Évian.

Du 29 au 30/04/04

Forum Franco-Italien à Turin.

Du 01/06/04 au 06/06/04

Travail de recherche sur la mer de Marmara à l'Université Technique d'Istanbul (Pr Sengor).

09/06/04

Steering Committee pour l'organisation de la Conférence Internationale 2005 de l'American Association of Petroleum Geologists à Paris.

NOMINATIONS

Pierre Henry a été nommé directeur de recherche au CNRS.

Xavier Le Pichon a été nommé :

— par le Président de la République membre du Forum Permanent de dialogue entre les sociétés civiles française et italienne ;

— représentant de la France au Science Planning and Policy Oversight Committee de l'Integrated Ocean Drilling Program ;

— membre du Steering Committee de la Conférence Internationale 2005 à Paris de l'American Association of Petroleum Geologists.

PUBLICATIONS 2003/2004 DE L'ÉQUIPE DE GÉODYNAMIQUE

Année 2003

HENRY P., JOUNIAUX L., SCREATON E.J, HUNZE S. and SAFFER D.M. : Anisotropy of electrical conductivity records initial strain at the toe of the Nankai accretionary wedge, *J. Geophys. Res.*, 108, B9, 2407, doi :10.1029/2002JB002287, 2003.

BOURLANGE S., **HENRY P.**, MOORE J.C., MIKADA H. and KLAUS A. : Fracture porosity in the décollement zone of Nankai accretionary wedge using Logging While Drilling resistivity data, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 209, 103-112, 2003.

GOFFÉ B., BOUSQUET R., **HENRY P.** and **LE PICHON X.** : Effect of the chemical composition of the crust on the metamorphic evolution of orogenic wedges, *J. Metamorphic Geol.*, 21, 123-141, 2003.

HUSSON L., SEMPÈRE TH., 2003 : Thickening the Altiplano crust by gravity-driven crustal channel-flow, *Geophysical Research Letters*, 30 (5), 1243.

HUSSON L., MUGNIER J.L., LETURMY P., VIDAL G., 2003 : Kinematics and sedimentary balance of the Subhimalayan range, W. Nepal ; in : MacClay K. (ed), *Thrust Tectonics and Hydrocarbon Systems, AAPG Memoir* 82, 1-16.

HUSSON L., MUGNIER J.L., 2003 : Three-dimensional reconstruction from surface data, restoration, and kinematics of the Baisahi passive-roof duplex, W. Nepal ; *Journal of Structural Geology* 25, 79-90.

KREEMER C., HOLT W.E. and HAINES A.J. : An integrated global model of present-day plate motions and plate boundary deformation, *Geophys. J. Int.*, 154, 8-34, 2003.

LE PICHON X., CHAMOT-ROOKE N., **RANGIN C.** and SENGOR A.M.C., 2003 : The North Anatolian Fault in the Sea of Marmara, *JGR* 108, B4, 2179, doi :10.1029/2002JB001862-2003.

LOEVENBRUCK A., CATTIN R. and **LE PICHON X.**, DOMINGUEZ S. and MICHEL R., Coseismic slip resolution and post-seismic relaxation time of the 1999 Chi-Chi, Taiwan, earthquake as constrained by geological observations, geodetic measurements (GPS and SPOT satellite images) and seismicity data, *Geophys. J. Int.*, 157 (3), 1415-1415, doi :10.1111/j.1365-246X.2003.02373.x, 2003.

DEMIRBAG E., **RANGIN C.**, **LE PICHON X.** and SENGOR A.M.C., 2003 : Investigation of the tectonics of the Main Marmara Fault by means of deep-towed seismic data, *Tectonophysics* 361, 1-19.

VIGNY C., SOCQUET A., **RANGIN C.**, CHAMOT-ROOKE N., PUBELLIER M., BOUIN M.N., BERTRAND G. and BECKER M., 2003 : Present day crustal deformation around Sagaing fault, Myanmar, *JGR Solid Earth*. 108, B11, 2533, doi :101029-2002.JB001999.

BERTRAND G., **RANGIN C.**, 2003 : Tectonics of the western margin of the Shan plateau (central Myanmar) : implication for the India-Indochina oblique

convergence since the Oligocene, *Journal of Asian Earth Sciences*, 21 (10), 1139-1157.

PUBELLIER M., EGO F., CHAMOT-ROOKE N. and RANGIN C., 2003 : The building of pericratonic mountain ranges : structural and kinematic constraints applied to GIS based-based reconstructions of SE Asia, *B Soc. Geol. Fr.* 174, n° 6, pp. 561-584.

Année 2004

DE GARIDEL-THORON T., BEAUFORT L., BASSINOT F. and HENRY P. : Evidence for large methane releases to the atmosphere from deep-sea gas hydrate dissociation during the last glacial episode, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 10.1073/pnas.0402909101, 2004.

HENRY P. and BOURLANGE S. : Smectite and fluid budget at Nankai ODP Sites derived from cation exchange capacity, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 209, 103-112, 2004.

HUSSON L., RICARD Y., 2004 : Stress balance above subduction zones — application to the Andes, *Earth Planet Sc. Lett.*, 222 (3-4), 1037-1050.

KREEMER C., CHAMOT-ROOKE N., and LE PICHON X. : Constraints on the evolution and vertical coherency of deformation in the Northern Aegean from a comparison of geodetic, geologic, and seismologic data, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 225, 329-346, 2004.

KREEMER C., and CHAMOT-ROOKE N. : Contemporary kinematics of the southern Aegean and the Mediterranean Ridge, *Geophys. J. Int.*, 157, 1377-1392, 2004.

RANGIN C., LE PICHON X., DEMIRBAG E., IMREN C., 2004 : Strain localisation in the sea of Marmara. Propagation of the North Anatolian Fault in a naow inactive pull-apart, *Tectonics* 23 (2), TC2014, doi :10.1029/2002TC001437.

CATTIN R., LOEVENBRUCK, A. and LE PICHON X. : Why does the co-seismic slip of the 1999 Chi-Chi (Taiwan) earthquake increase progressively northward on the plane of rupture ? *Tectonophysics*, 368, 67-80, 2004.

SENGOR A.M.C., TUYSUZ O., IMREN C., SAKINC M., EYIDOGAN H., GORUR N., LE PICHON X. and RANGIN C., 2005 : The North Anatolian Fault : A new look, *Earth Science Reviews*, 33 (doi :10.1146/annurev.earth.32.101802.120415), 2005.