

Publication de l'Académie
des sciences

23, quai de Conti 75006 PARIS
Tél. : 01 44 41 43 68
Fax : 01 44 41 43 84
http : www.academie-sciences.fr

Directeur de publication
Jean-François Bach

Directoire
Jean-François Bach
Jean Dercourt

Rédacteur en chef
Paul Caro

Secrétariat général
de la rédaction
Marie-Christine Brissot

Conception & réalisation
graphique
Nicolas Guilbert

Photographies & illustrations
couv. Laboratoire de tectonique, UMR7072
CNRS (C. Homberg)
p. 1, 10, 14, 17, 19, 20, 37, Nicolas Guilbert
p. 2, 3, 4, 6, 8, 22, 23, 30, 31, 33, DR

Comité de rédaction
Jean-François Bach, Édouard Brézin,
Pierre Buser, Paul Caro, Pascale Cossart, Anne
Fagot-Largeault, Jules Hoffmann, Gérard Huet,
Jean-Pierre Kahane,
Nicole Le Douarin, Jacques Livage,
Dominique Meyer, Philippe Taquet

Photogravure & impression
Edipro/PrintreferenceTM
01 41 40 49 00
n° de C.P. : 0108 B 06337

Glacio-tectonique. Failles inverses et plis
associés. Islande Photo C. Homberg

la lettre de l'Académie des sciences n°22

Dossier

Transition Océan-Continent



INSTITUT DE FRANCE
Académie des sciences

SOMMAIRE
La lettre de l'Académie des sciences n° 22

ÉDITORIAL

L'action internationale de l'Académie des sciences

André Capron

page 1

DOSSIER**Transition Océan-Continent**

Comprendre la formation et l'évolution des marges passives : importance de la caractérisation des transitions océan-continent

Philippe Huchon, Gianreto Manatschal, Gwenn Péron-Pinvidic

page 2

Histoire de la découverte du noyau terrestre

Jean-Paul Poirier

page 10

La recherche et l'exploitation des hydrocarbures au niveau des transitions océan-continent

Entretien de Patrick Unternehr avec Paul Caro

page 16

QUESTION D'ACTUALITÉ

Les causes du cancer en France

Maurice Tubiana

page 20

LA VIE DES SÉANCES

Les grandes avancées françaises présentées par leurs auteurs

page 25

Les défis scientifiques du XXI^e siècle

page 25

LA VIE DE L'ACADÉMIE DES SCIENCESAndré Capron, Délégué aux relations internationales
Bilan d'un mandat (2003-2007)

page 26

Guy Laval, Délégué aux relations internationales

page 29

Grande médaille 2007 : Tomas Hökfelt

page 30

"Cycles biogéochimiques et écosystèmes continentaux"
Rapport RST n° 27

page 30

Sur le site web : l'Académie des sciences dans l'histoire
des expéditions vers les pôles

page 31

Par **André Capron**

Membre de l'Académie des sciences, Délégué aux relations internationales de l'Académie des sciences, directeur honoraire de l'Institut Pasteur de Lille.



L'action internationale de l'Académie des sciences

La dernière décennie a vu se développer, de manière spectaculaire, les dimensions internationales de la recherche. La mondialisation de l'économie, l'introduction massive des nouveaux outils d'information et de communication ont eu, sur la pratique de la science, une influence considérable.

Les académies, dont le rôle essentiel est depuis toujours d'être le garant de l'excellence scientifique, ont vu s'ajouter à leurs missions traditionnelles d'être désormais des partenaires privilégiés du dialogue scientifique international. Il est également remarquable, au vu des priorités définies par l'Inter Academy Panel qui regroupe 94 académies des sciences dans le Monde, que les rapports entre la Science et la Société ont pris, au sein des missions nouvelles des académies, une importance toute particulière.

Contribuer, au-delà des relations académiques formelles, bilatérales ou multilatérales, à une animation scientifique internationale à l'écoute permanente des nouvelles dimensions sociales, économiques et éthiques de la science, telle a été l'ambition majeure du rôle que nous avons voulu voir assumer par la Délégation aux relations internationales de l'Académie des sciences. Cette ambition a conduit à la restructuration des grands domaines d'intervention internationale de notre académie au cours des quatre dernières années (2003 – 2007) en même temps qu'elle a permis d'affirmer, par une série d'initiatives nouvelles, son rôle de carrefour naturel de réflexion et de coordination entre l'ensemble des institutions nationales.

Cette restructuration s'est inspirée, dans ses principes,

de la nécessaire convergence des grandes priorités scientifiques telles qu'elles sont énoncées dans leur diversité par l'ensemble de l'Académie et les grandes priorités géopolitiques telles qu'elles sont exprimées par le ministère des Affaires étrangères et qui reflètent, dans ce domaine, comme dans d'autres, les orientations privilégiées de la politique internationale de la France.

Cette évolution profonde, jointe à un rajeunissement marqué de la communauté académique a un impact profond sur la pratique même des relations internationales. L'adjonction aux pratiques traditionnelles d'échanges interacadémiques, de programmes de coopération scientifique internationaux répondant aux grands enjeux de nos sociétés est apparu indispensable : les grands enjeux du développement, les changements climatiques, les défis énergétiques, l'eau, l'agriculture, la nutrition la santé, etc. constituent autour de thèmes désormais prioritaires des réflexions et des actions des académies internationales.

De par ses missions naturelles de conseil et d'évaluation, l'Académie des sciences, au travers de la Délégation aux relations internationales, a dans cet esprit joué un rôle d'interlocuteur permanent avec les autorités ministérielles notamment du ministère des Affaires étrangères dans l'élaboration et l'évaluation de la politique de coopération scientifique internationale menée par notre pays.

On trouvera dans ce numéro un article, qui résume quatre années d'activités de la Délégation aux relations internationales de l'Académie des sciences de l'Institut de France, et témoigne de la prise en compte de cette évolution et de la contribution que notre académie a souhaité apporter, au plan international, à la construction essentielle des liens entre la Science et la Société ■

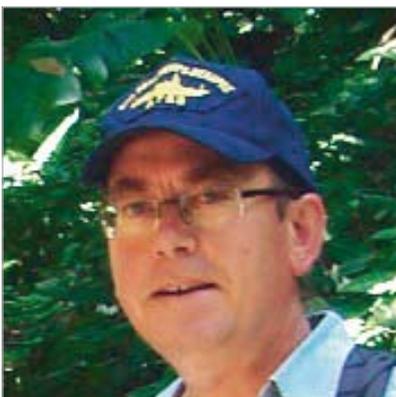
Comprendre la formation et l'évolution des marges passives : importance de la caractérisation des Transitions Océan-Continent

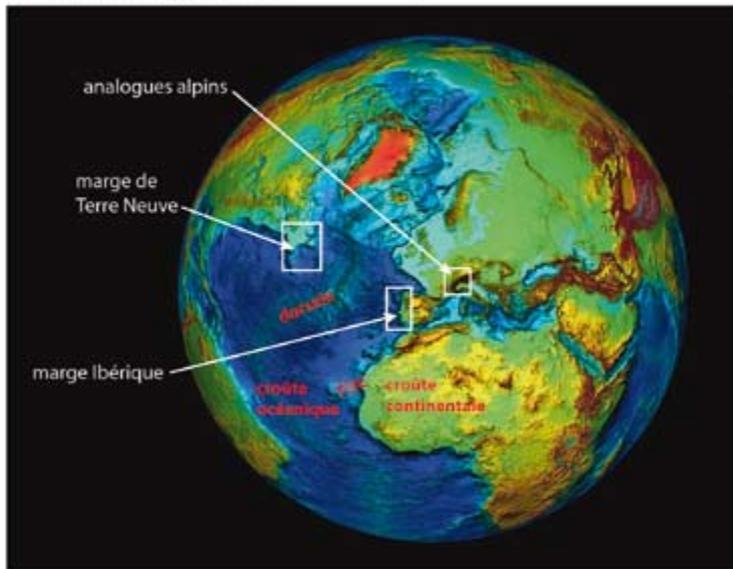
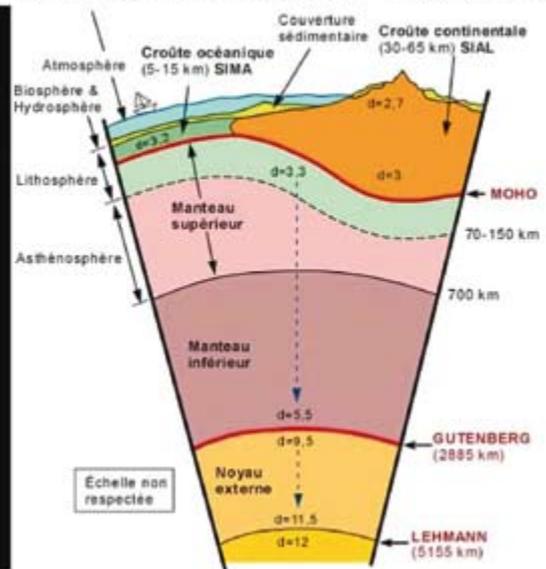
Par **Philippe Huchon¹**, **Gianreto Manatschal²**,
Gwenn Péron-Pinvidic³

1. Laboratoire Tectonique, université Pierre et Marie Curie
2. CGS, École et Observatoire des sciences de la Terre, Strasbourg
3. CGS, École et Observatoire des sciences de la Terre, Strasbourg

Introduction

Les sciences de la Terre ont connu un développement sans précédent durant la dernière moitié du XX^e siècle, avec la formulation de théories qui ont révolutionné la façon de comprendre l'origine et la dynamique de notre Planète. Parallèlement au développement informatique, de nouvelles technologies ont écloso permettant l'analyse précise des différentes composantes de la Terre, depuis l'échelle de structures géologiques, telles que les orogènes ou les dorsales, à celle des plus petits éléments de la matière (observations satellitaires, cartographies et analyses géologiques et



LE GLOBE TERRESTRE (source = NOAA)**UNE SECTION DE TERRE** (source = <http://www.ggl.ulaval.ca>)

géophysiques, microscopies électroniques, méthodes isotopiques...). La démarche est devenue fondamentalement multidisciplinaire, intégrant les mathématiques, la physique, la géologie, la chimie et la biologie. Les sciences de la Terre sont actuellement un domaine de recherche très dynamique, en plein essor.

L'une des questions majeures encore en suspens est celle de la séparation continentale (rifting) et de son évolution vers l'accrétion océanique. Depuis plusieurs décennies, les scientifiques ont compris que les océans se forment suite à l'extension et la déchirure d'un continent. Cette déchirure mène à la formation de marges, dites passives, situées de part et d'autre du nouvel océan. Ces marges représentent le lieu privilégié d'études où les mécanismes d'océanisation sont enregistrés et donc étudiables. Même si les connaissances sur ces domaines ont beaucoup évoluées ces dernières années, de nombreuses interrogations demeurent.

Les contraintes dont disposent les scientifiques pour analyser les processus géologiques menant à la formation de ces marges sont issues de l'analyse de divers types de données: depuis des campagnes de géophysique et de forages le long des systèmes actuels, à la cartographie de structures d'anciens rifts et d'ophiolites dans les orogènes. L'avancée des connaissances sur les marges passives s'est également faite grâce au potentiel pétrolifère des bassins sédimentaires qui ont attiré les compagnies pétrolières productrices de données géophysiques. De nombreux acteurs évoluent donc dans l'étude des marges, et c'est de leurs interactions qu'ont émergé la plupart des avancées significatives dans ce domaine.

Des découvertes importantes ont été faites au cours des années 80 quand les marges du Banc de Galice (au

Figure 1-: en haut à gauche: globe terrestre (topographie et bathymétrie) avec fléchage des principales zones d'étude discutées dans le texte. En haut à droite: section schématique de la Terre avec couches constitutives majeures. En bas: architecture globale schématique des marges passives non-volcaniques (modèle théorique et modèle fondé sur les observations et données actuelles) (Péron-Pinvidic et Manatschal, soumis à Tectonics).

large du Portugal) et de Vøring (au large de la Norvège) ont été échantillonnées au cours des Legs 103 et 104 ODP (Ocean Drilling Program). Alors que la rupture le long de la marge de Vøring s'avère caractérisée par un volcanisme abondant, la déchirure le long du Banc de Galice est quant à elle presque entièrement amagmatique et se distingue par une exhumation du manteau subcontinental. Ces dix dernières années, la recherche sur les marges passives s'est ainsi focalisée sur la compréhension des processus responsables de cette grande variabilité. Les approches classiques d'observation et d'expérimentation, couplées au développement des modélisations (théoriques, analogiques et numériques) et au nombre croissant de données de qualité, ont permis de répondre à de nombreuses questions. Cependant, afin de continuer à avancer, il devient évident qu'une compréhension générale du système extensionnel et de toutes ses manifestations ne peut être obtenue que si modélisateurs, observateurs et expérimentateurs coordonnent leurs activités et collaborent dans un effort de recherche multidisciplinaire.

C'est dans cette perspective que le congrès "Transition Océan-Continent" a été organisé. Le but du congrès était de promouvoir les échanges interdisciplinaires entre scientifiques et industries travaillant sur les marges passives et les systèmes d'accrétion lents. Des données de marges du monde entier ont été présentées et discutées et ont permis de faire le point sur les questions majeures débattues actuellement.

Après un bref rappel de notions sur la tectonique des plaques et la constitution de notre planète, cet article a

pour but de faire le point sur les connaissances actuelles acquises sur l'architecture et la formation des marges passives, avant de résumer l'apport des interventions scientifiques faites au congrès "Transition Océan-Continent" sur cette problématique de l'océanisation.

Le point sur quelques définitions :

- la Terre

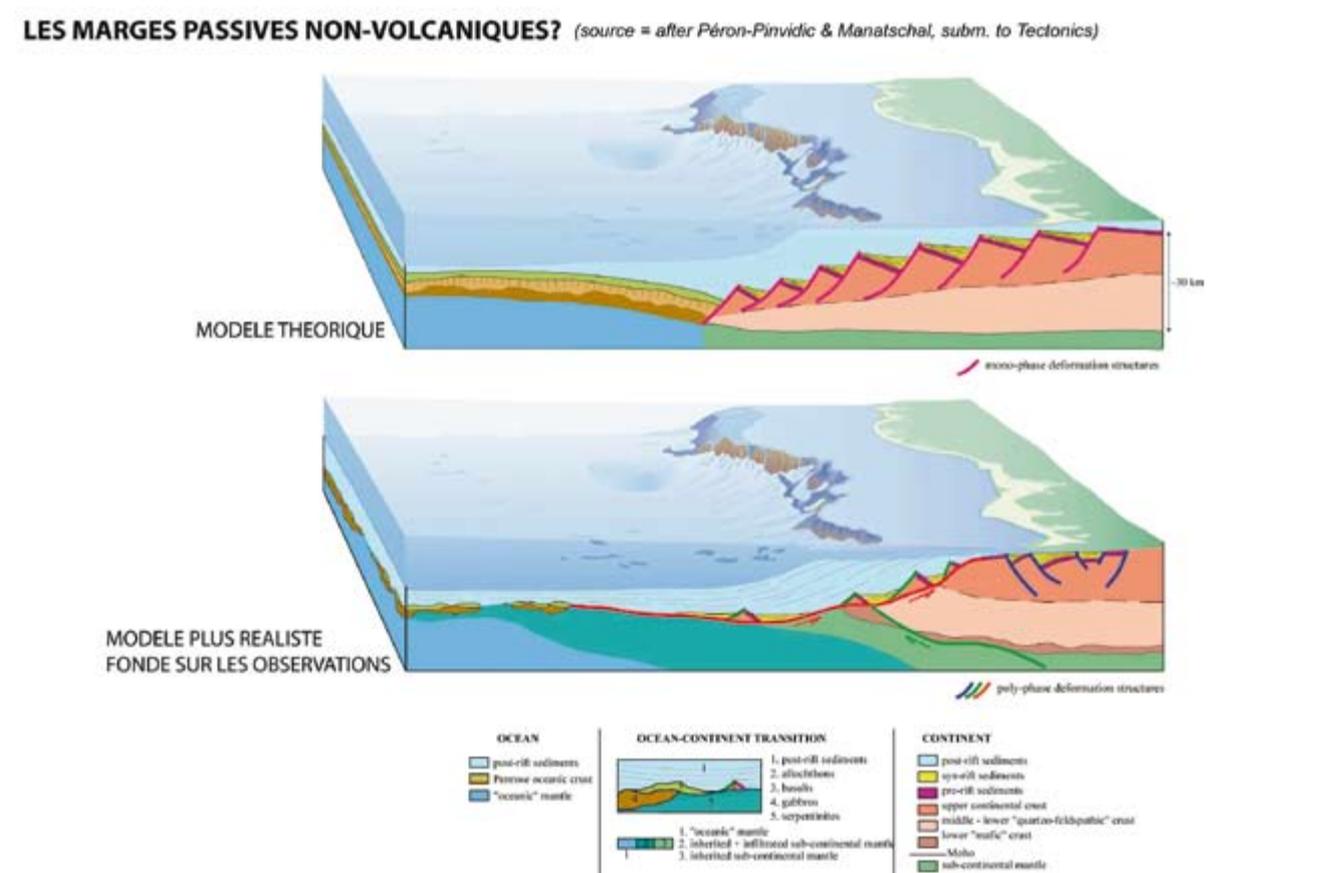
Le globe terrestre est constitué d'un certain nombre de couches superposées (Figure 1), qui se distinguent par leurs rhéologies (solide, liquide ou plastique), leurs densités et leur propriétés physiques différentes: le noyau et le manteau représentent près de 98 % en volume du globe tandis que la croûte, océanique ou continentale, ne forme qu'une pellicule superficielle. La couverture sédimentaire est ensuite une très mince couche de matériaux produits et redistribués à la surface de la croûte par les divers agents d'érosion et de transport (eau, vent, glace). L'étude des marges passives se focalise presque exclusivement sur l'analyse de ce qu'on appelle la lithosphère; elle correspond à cette fine couche composée de croûte et de sédiments et inclut également la partie supérieure du manteau.

- la tectonique des plaques

La surface de la Terre a longtemps été vue comme fixe, acquise depuis la naissance de la planète: les Anciens pensaient que océans et continents avaient toujours occupé la même position. La théorie du catastrophisme

proposait que la Terre se fût formée dans une série de grandes catastrophes, et qu'elle ait ainsi acquis la physionomie qu'on lui connaît aujourd'hui. Au cours des siècles, cependant, cette vision va évoluer. Ainsi, au XVII^e siècle, les cartes géographiques de l'Océan atlantique devinrent suffisamment précises pour que certains remarquent un parallélisme dans le tracé des côtes de part et d'autre de l'océan et tentent d'en trouver l'explication. François Placet (1668), puis deux siècles plus tard, Antonio Snider-Pelligrini (1858) ou Frank B. Taylor (1910) ont émis successivement des hypothèses pour tenter d'expliquer ces observations. Les premières notions de dérive des continents apparaissent ainsi au cours de l'histoire. Ce n'est qu'en 1912 que Alfred Wegener synthétise ces idées. Sa théorie a pour but d'expliquer: la répartition de certains fossiles, les traces de glaciations anciennes, la correspondance de structures géologiques et la similitude dans le tracé des côtes de part et d'autre de l'Océan atlantique. Sur la base de ces constatations, il avançât l'idée qu'autrefois l'Afrique et l'Amérique n'avaient été qu'un seul et même bloc (la Pangée) qui se serait fragmenté en deux parties, lesquelles se seraient ensuite éloignées l'une de l'autre. Wegener avait également compris que la croûte continentale est plus épaisse sous les orogènes que sous les plaines, et que cette situation répondait au principe de

Figure 1 - : en haut à gauche : globe terrestre (topographie et bathymétrie) avec fléchage des principales zones d'étude discutées dans le texte. En haut à droite : section schématique de la Terre avec couches constitutives majeures. En bas : architecture globale schématique des marges passives non-volcaniques (modèle théorique et modèle fondé sur les observations et données actuelles) (Péron-Pinvidic et Manatschal, soumis à Tectonics).



l'isostasie qui veut qu'il y ait un équilibre entre les divers compartiments de l'écorce terrestre. Il en conçut l'idée que les continents "flottaient", sur un milieu encore mal défini, et qu'ainsi ils pouvaient dériver les uns par rapport aux autres. C'est le prélude de la tectonique des plaques. Les contemporains de Wegener n'ont pas été convaincus par cette proposition révolutionnaire. Il fallu attendre plus de quarante ans pour que ces idées refassent surface et qu'on se mette à la recherche du mécanisme de dérive qui manquait. Les idées avancées par Wegener furent ainsi génératrices de nombreux projets de recherche.

- les marges passives

Les marges passives représentent, par définition, le domaine où l'on passe d'une croûte continentale à une croûte océanique et qui ne correspond pas à une frontière de plaques active (Figure 1).

La croûte continentale est très hétérogène en structuration et en composition, latéralement et verticalement. Elle est traditionnellement décrite sur la base de deux couches de rhéologies distinctes : une partie supérieure de comportement cassant, et une partie inférieure de comportement ductile. Son épaisseur varie de 0 à près de 70 km au niveau des orogènes et est, en moyenne, de 30 à 35 km. Elle est constituée de roches sédimentaires, métamorphiques ou magmatiques. Dans le cadre de l'étude des marges passives, il est important de connaître l'histoire tectonique et les caractéristiques de la croûte continentale impliquée dans une océanisation. Sa structuration rhéologique aura en effet une grande influence sur le développement du rifting, tout comme les structures héritées des événements tectoniques précédents qui auront une importance sur la localisation des structures accommodant les contraintes d'extension.

La croûte océanique est quant à elle générée à l'axe d'une dorsale. Elle fut longtemps considérée comme homogène avec une subdivision verticale en trois couches (sédiments, basaltes, gabbros). Dans le cadre de l'étude des marges passives, il est important de considérer les particularités distinguant la croûte océanique formée par accréation lente de celle théorique décrite ci-dessus. Les recherches menées sur les dorsales médio-atlantique et indienne ont démontré que cette section théorique en trois couches ne respecte pas les observations. Les mouvements de divergence entre plaques au niveau des dorsales lentes sont en effet en partie accommodés par une extension mécanique de la lithosphère, et non pas seulement magmatique. Ces phases d'accréation tectonique mènent à l'exhumation de gabbros et de péridotites (composant du manteau) au fond de la mer. Les modèles de formation qui ont été récemment proposés tendent alors à montrer que les processus responsables de la genèse de ces croûtes océaniques particulières sont

similaires à ceux opérant au niveau des marges passives, du moins dans leur parties distales, dans les transitions océan-continent.

Les "Transitions Océan-Continent"

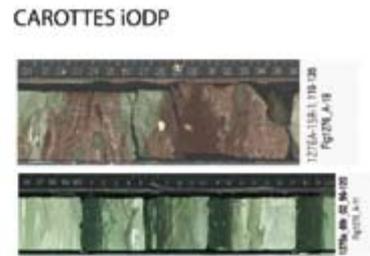
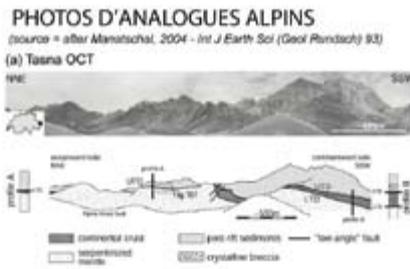
Les marges passives contribuent à notre compréhension des processus d'extension dans la lithosphère continentale de plusieurs façons. Tout d'abord, elles bordent quasiment toutes les masses continentales qui entourent les Océans atlantique, indien, antarctique et arctique ; et, puisqu'elles représentent l'ultime stade d'évolution d'une zone de rift intracontinental, elles procurent théoriquement un enregistrement complet des déformations lors de l'extension lithosphérique. Ce sont des archives des mécanismes du rifting.

Structurellement, une marge passive (non volcanique) est caractérisée par une croûte continentale s'amincissant vers l'océan et juxtaposée à une croûte océanique (Figure 1). C'était la vision théorique adoptée jusqu'à la fin des années 80.

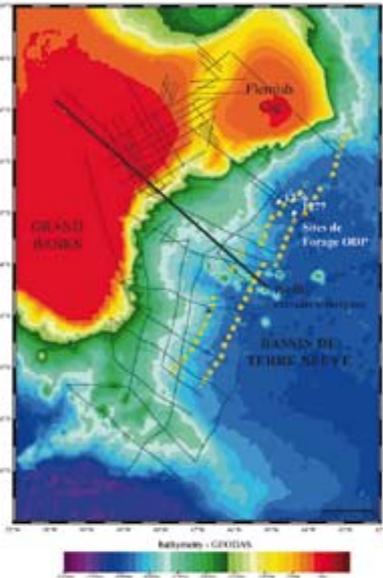
La marge ibérique située au large du Portugal est supposée être l'archétype de ce type de marge. Depuis les années 80, de nombreuses campagnes scientifiques y ont été menées, et le nombre appréciable des données maintenant disponibles en fait le site privilégié d'étude des processus de rifting. Sur la base de l'étude de cette marge, mais aussi grâce à l'apport d'autres sites d'étude, il devient évident pour la communauté scientifique que le modèle d'architecture décrit plus haut est un peu trop simpliste. La réalité semble plus complexe : les croûtes continentale et océanique ne sont pas en contact direct ; il n'y a pas de juxtaposition avec une limite franche, mais plutôt un domaine de transition entre les deux types de croûte (Figure 1). C'est la transition océan-continent, la TOC. Bien que identifiée depuis plus de 20 ans, sa formation et sa composition sont toujours sujettes à débats. Comprendre la TOC reste cependant un challenge scientifique majeur puisque ce domaine particulier concentre les archives des mécanismes d'ouverture océanique. C'est le lieu privilégié où la communauté scientifique peut étudier comment une croûte continentale est déformée pour évoluer finalement en un domaine océanique.

L'identification de ce domaine particulier a été réalisée majoritairement grâce aux données géophysiques (Figure 2). Que ce soit des études de sismique réflexion, sismique réfraction, d'anomalies magnétiques ou gravimétriques, les mesures géophysiques indiquent toutes que ce domaine ne correspond strictement ni à une croûte continentale ni à une croûte océanique. Ainsi, suivant les auteurs, la TOC correspondrait à une croûte océanique accrétée au

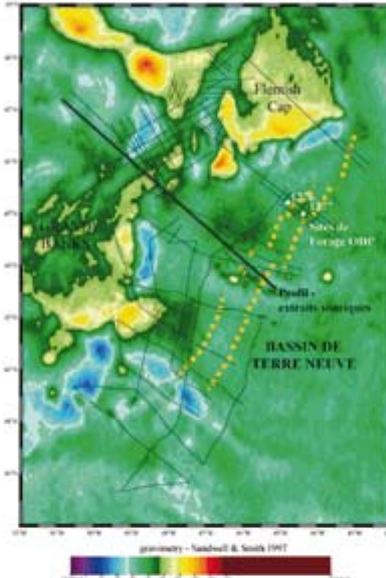
EXEMPLES DE DONNEES UTILISEES DANS L'ETUDE DES MARGES PASSIVES:



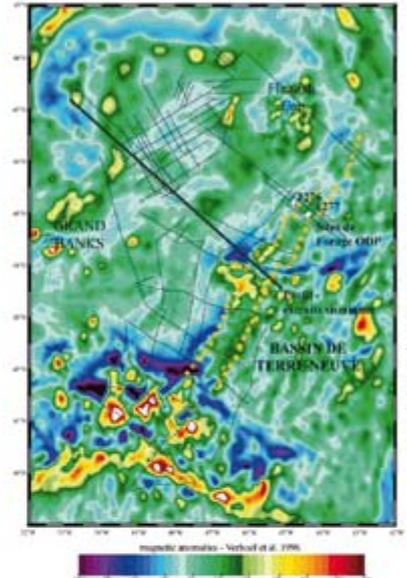
CARTE BATHYMETRIQUE



CARTE GRAVIMETRIQUE

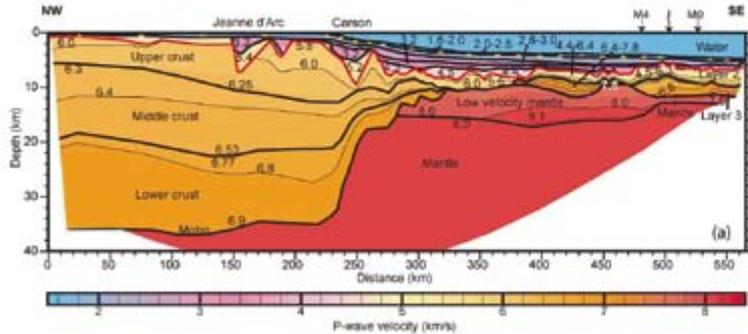


CARTE ANOMALIES MAGNETIQUES

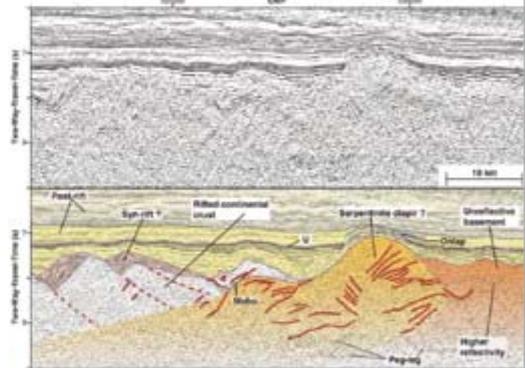


(source = after Pincus-Petit et al., in press)

PROFIL DE SISMIQUE REFRACTION (source = Liu et al., 2006a - Geophys. J. Int. 167)



PROFIL DE SISMIQUE REFLECTION INTERPRETE



PROFIL DE SISMIQUE REFLECTION (source = Liu et al., 2006b - Geophys. J. Int. 167)

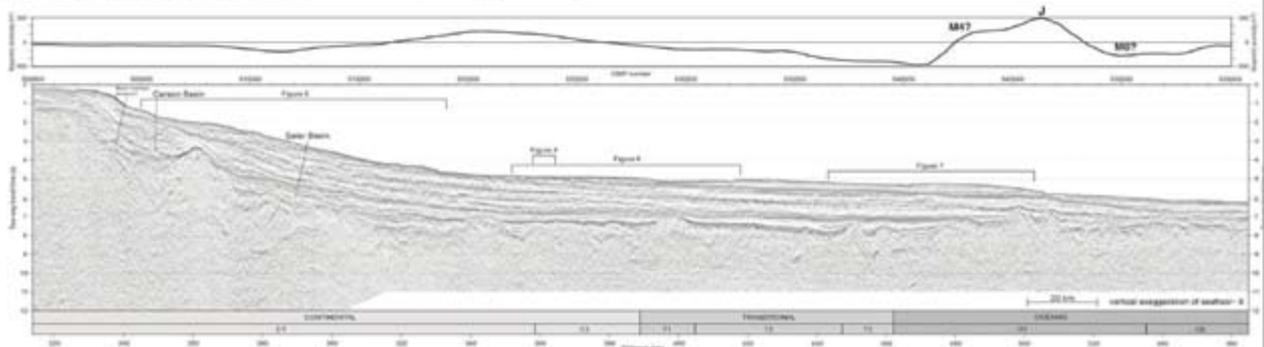


Figure 2- : exemples de données utilisées dans l'étude des marges passives : imageries géophysiques (sismique réflexion, réfraction, données bathymétriques, gravimétriques, magnétiques, analogues alpins, carottes ODP). Les extraits géophysiques et les photos de carottes proviennent de la marge de Terre Neuve, et la photo d'affleurement de Tasna (Suisse).

niveau d'une dorsale lente ; à une croûte continentale étirée, amincie, découpée et intrudée par des matériaux magmatiques ; ou à un domaine d'exposition de manteau suite au fonctionnement d'une ou plusieurs structures d'extension. La transition entre le continent et l'océan n'est donc toujours pas comprise et beaucoup de questions restent à travailler.

Les études menées sur d'autres systèmes ont également eu un impact fort sur la communauté. Notamment les marges fossiles présentes dans les orogènes (Figure 2). Ces analogues sont par exemple présents dans les Alpes. Les affleurements étudiés correspondent à des fragments des marges européennes et adriatiques issues du système océanique téthysien. Ces restes de marges ont été en partie conservés au cours de l'orogénèse alpine et fournissent des champs d'étude uniques de la structuration des marges passives.

Outre les données directement acquises au niveau des marges passives (actuelles et fossiles), les scientifiques travaillant sur les TOC peuvent également tirer profit du travail des modélisateurs (Figure 3). De nombreux modèles de rifting ont en effet été proposés, tant numérique et conceptuel, qu'analogique. Si les modèles archétypes de cisaillement pur et de cisaillement simple dominant toujours les discussions, des modèles mixtes, ou mettant en cause d'autres phénomènes, sont maintenant également proposés.

Afin d'illustrer l'état d'avancement des connaissances sur les TOC, nous présentons ici les résultats d'un modèle publié par Lavier et Manatschal (Nature 440 - 2006) (Figure 3).

La communauté scientifique s'est rendue compte que le rifting, et donc la formation des marges passives, est un processus hautement plus complexe que ce qui était traditionnellement présenté. Le modèle de Lavier et Manatschal (Nature 440 - 2006) synthétise cette évolution des concepts. Il est fondé sur des contraintes géophysiques et géologiques et un code numérique a été développé afin de respecter au maximum observations et données.

Ces chercheurs sont arrivés à la conclusion que le rifting évolue à travers trois phases majeures de déformation :

1. La première phase est la phase d'étirement. Elle est caractérisée par la formation de multiples failles normales distribuées à travers le système. Ces failles, à géométrie listrique, coupent la croûte continentale -de rhéologie cassante - et s'enracinent à des niveaux plus ductiles vers la croûte moyenne. Les déplacements accommodés sont inférieurs à 10 km. De larges bassins subsidants (~4 km de profondeur pour ~30 km de large) sont ainsi générés.

2. La phase suivante est dite d'amincissement. Elle se concentre au sein de la future marge distale (du côté océanique). Des zones de cisaillement se développent

à l'échelle crustale et affaiblissent le système en amincissant la croûte continentale jusqu'à une épaisseur de moins de 10 km. La croûte moyenne ductile est cisailée le long de la croûte inférieure plus rigide et permet une délocalisation de la déformation. Un découplage des déformations est généré verticalement. La croûte supérieure cassante et le manteau supérieur cassant sont alors déformés par des failles normales amincissant croûte et manteau et exhument croûte moyenne et manteau inférieur.

3. Enfin, avec une extension se poursuivant, une phase dite d'exhumation se développe. Cette dernière étape est caractérisée par l'influence de la serpentinisation du manteau qui permet la genèse de failles concaves vers le bas. Ces failles particulières permettent l'exhumation de niveaux profonds de croûte et de manteau en produisant des déplacements importants sans générer de topographie notable.

La section de marge finalement obtenue est donc hautement complexe : elle juxtapose horizontalement et verticalement des niveaux différents de croûte et de manteau. Elle est issue de phases de déformations successives et distinctes. On est loin du modèle de juxtaposition de croûtes océanique et continentale présenté dans l'introduction (Figure 3).

Le congrès "Transition Océan-Continent" -Paris-septembre 2007

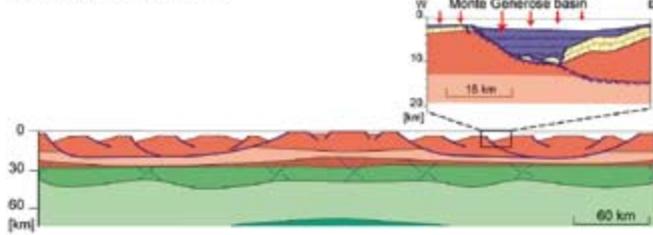
L'idée du congrès "Transition Océan-Continent" était de réunir la communauté travaillant sur les transitions océan-continent, et ce, pour la première fois en France, au niveau international. Le but d'une telle réunion était de faciliter l'échange d'information et d'initier des collaborations trans-disciplines (géologie, géophysique, géochimie à terre et en mer) en impliquant non seulement les acteurs de la communauté scientifique mais également ceux de l'industrie et des organismes à vocation appliquée. Le congrès s'est déroulé sous le parrainage de l'Académie des sciences et de nombreux sponsors ont participé à l'organisation : ExxonMobil, Total, BP, Shell, Petrobras, Statoil, CNRS-INSU, BRGM, IFP, Ifremer, Institut océanographique, Société géologique de France. Il a par ailleurs reçu le label "Année de la Planète Terre".

Les séminaires donnés par des personnalités scientifiques reconnues ont permis de faire un historique des connaissances acquises sur les marges et de résumer les derniers développements des concepts sur les TOC. Les interventions de D. Bernoulli (Université de Bâle) et X. Le Pichon (Collège de France, Aix en Provence) ont permis à l'audience de saisir l'évolution de nos connaissances, non seulement sur les marges profondes, mais aussi sur des problèmes tectoniques généraux liés à l'extension continentale. T. Minshull (National

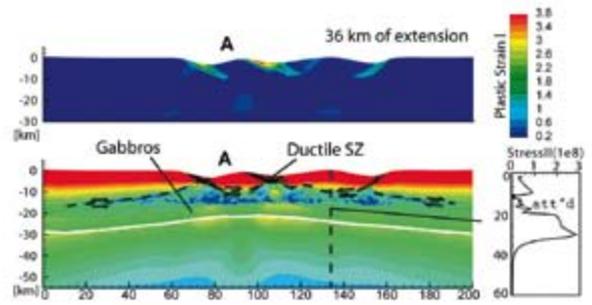
MODELE GEOLOGIQUE / CONCEPTUEL

(source = Lavier and Manatschal, 2006 - Nature 440)

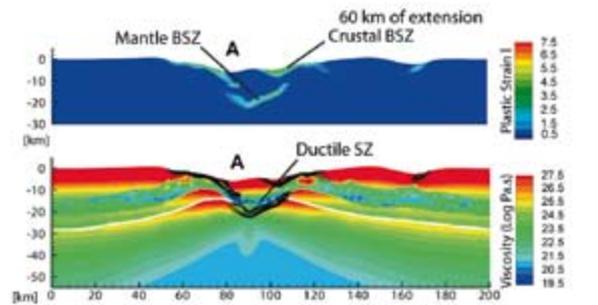
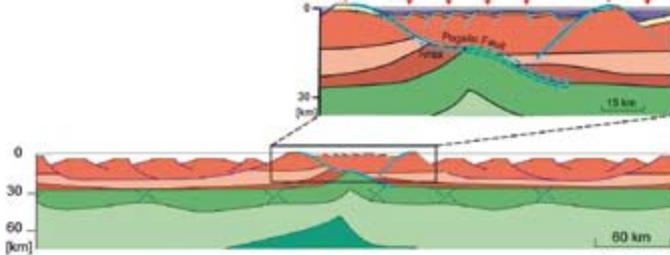
A Mode Etirement



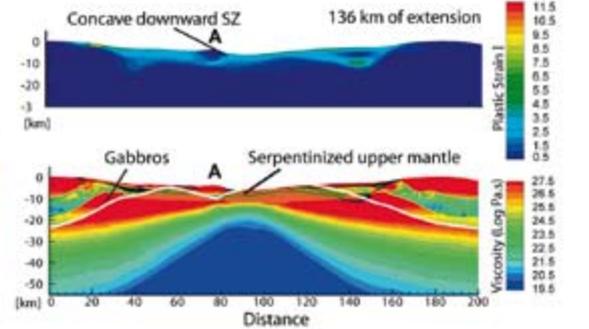
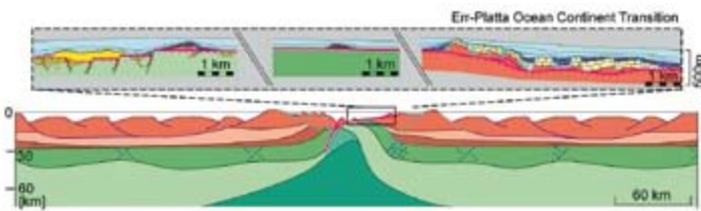
MODELE NUMERIQUE



B Mode Amincissement

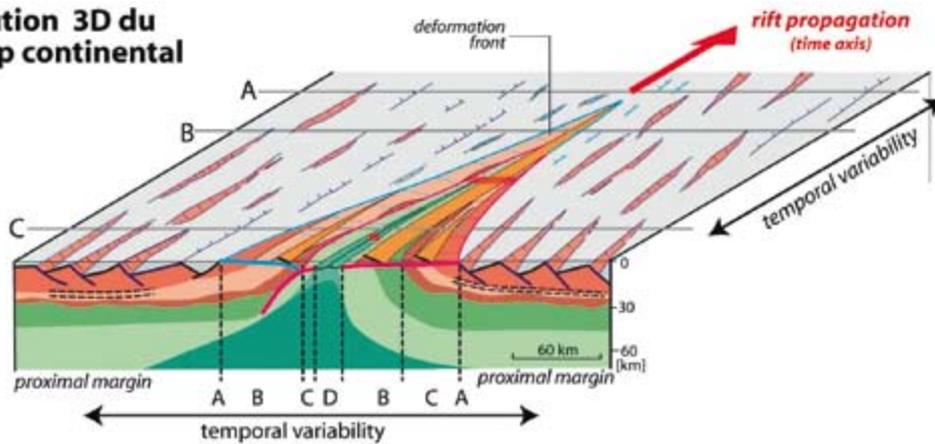


C Mode Exhumation



(thickness of the basins not to scale)

Evolution 3D du breakup continental



- oceanic basalts/gabbros
- oceanic lithosphere
- asthenospheric mantle
- 1350°C isotherm
- pre-/syn-/post rift
- upper/middle crust
- pre-rift gabbros
- subcontinental mantle

- active fault → ancient fault
- stretching faults
- thinning faults
- exhumation faults
- cataclasites
- mylonites

Figure 2 - : modèles géologique / conceptuel et numérique de la formation et de l'évolution des marges passives publié récemment (Lavier et Manatschal, 2006 - Nature 440).

Oceanographic Centre, Royaume-Uni) et O. Müntener (Université de Lausanne, Suisse) ont ensuite fait le point sur la caractérisation géophysique et géologique de la TOC. Ces deux disciplines ont beaucoup évolué ces deux dernières décennies et leur application à différents objets tels que les marges, les dorsales ou les analogues terrestres a donc également changé et modifié notre compréhension de ces systèmes. Sur la base de ces constatations, B. Taylor (University of Hawaii, États-Unis) et B. Tucholke (Woods Hole Oceanographic Institution, États-Unis) ont alors résumé les grands traits de l'architecture supposée de la TOC sur la base de deux sites d'études clés : le bassin de Woodlark et les marges conjuguées Ibérie - Terre-Neuve. Ensuite, G. Lister (Australian National University, Australie), T. Reston (University of Birmingham, Royaume-Uni), G. Manatschal (Université de Strasbourg), L. Geoffroy (Université du Mans), M. Cannat (Institut de Physique du Globe de Paris) et G. Karner (ExxonMobil) sont intervenus pour introduire les problèmes rencontrés quand les concepts doivent être confrontés aux observations et données. Ces interventions ont permis de passer en revue les sites majeurs d'étude d'où sont tirés les informations pour la compréhension des mécanismes d'océanisation : les analogues de terrain (Alpes, Pyrénées, province des "Basin and Range"), les marges passives profondes volcaniques et non-volcaniques (Ibérie, Groenland, Australie), les dorsales lentes (médio-atlantique et Sud-Ouest indienne). L. Lavier (Jackson School of Geosciences, Austin, États-Unis), R. Huisman (Bergen University, Norvège), E. Burov (Université Pierre et Marie Curie - Paris VI) et N. Kusznir (University of Liverpool, Royaume-Uni) ont présenté différentes approches de modélisation des mécanismes de rifting. Ils ont permis de démontrer l'importance des données et observations dans la démarche de modélisation. Finalement, l'aspect économique de la TOC a été introduit par P. Unternehr (Total) et W. Roest (Ifremer) pour synthétiser les intérêts qu'ont les industries et les acteurs économiques à interagir avec la communauté scientifique sur la problématique des marges profondes.

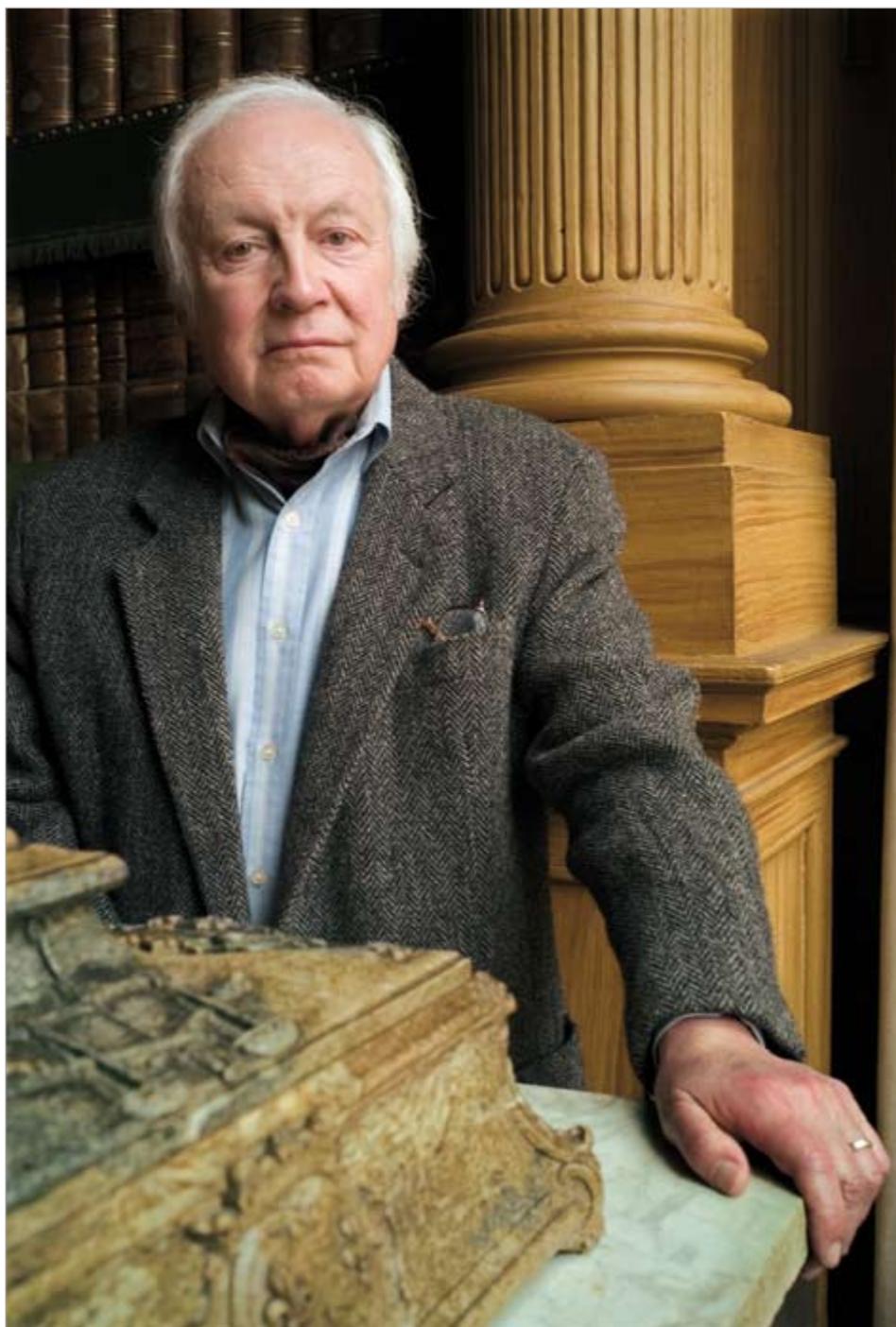
Parallèlement à ces séminaires, de nombreuses contributions au congrès ont été faites sous forme de posters permettant aux différents acteurs de présenter leurs données, modèles et résultats. Ces participations ont permis d'introduire différents sites d'étude des TOC depuis l'Océan atlantique et ses nombreuses marges (Hopper et al. ; Shillington and Péron-Pinvidic ; Klingelhoefer et al. ; Aumento and Hutchins ; Blaich et al. ; Matton and Jébrak ; Labails et al.) et la marge ibérique plus précisément (Kornbrobst et al. ; Afilhado et al. ; Lourenço et al. ; Neves et al. ; Clark and Sawyer ; Ranero and Pérez-Gussinyé), à l'Océan antarctique (Gohl ; Gaina et al.), au Golfe d'Aden (Leroy et al. ;

Lucazeau et al.), à la Mer Noire (Shillington et al.), à la Mer arabe (Calves et al.), à la marge norvégienne (Reynisson et al. ; Osmundsen and Ebbing ; Gernigon et al.), sans oublier les analogues terrestres (Meresse et al. ; Lefebvre et al. ; Jammes et al. ; Mohn et al. ; Masini et al. ; Karpoff et al. ; Oliveira ; Kaczmarek and Müntener ; Lagabrielle et al.). Des posters portant plus spécifiquement sur des résultats de modélisations numériques ont également été présentés (Pérez-Gussinyé et al. ; Fletcher et al.), ainsi que l'aspect économique des marges passives (Pimentel et al.).

Conclusion : résumé des discussions

De nombreuses discussions se sont organisées autour des séminaires et des posters au cours du congrès. Elles ont permis de cerner les observations clés permettant de tester les modèles théoriques et conceptuels pour expliquer la formation d'une TOC. Elles ont également permis d'identifier les questions majeures qui vont animer la recherche scientifique dans les marges profondes ces prochaines années. Ces questions concernent principalement les problèmes d'amincissement lithosphérique, d'ouverture océanique finale et les processus mantelliques. Ces questions ne sont pas nouvelles dans la problématique des marges, mais elles ont reçu un regain d'intérêt suite à de nouvelles observations qui ont démontré que, contrairement à ce que l'on pensait, elles n'étaient pas résolues. Les réponses à ces questions se trouveront grâce à une interaction entre les différents acteurs des communautés s'intéressant aux marges passives : géologues, géophysiciens, modélisateurs, industriels.

Ces acteurs étaient présents au congrès "Transition Océan-Continent" et ont permis d'en faire un réel succès. Un numéro spécial des Comptes Rendus de l'Académie des sciences est ainsi programmé. Un site internet donnant accès aux présentations, posters et séminaires, des participants au congrès sera également prochainement disponible ■



Par **Jean-Paul Poirier**

Membre de l'Académie des sciences, physicien émérite
à l'Institut de physique du globe de Paris

Histoire de la découverte du noyau terrestre

J'entends par histoire de la "découverte" du noyau terrestre, l'histoire des avancées théoriques et observationnelles qui ont permis de s'assurer de l'existence, au centre de la Terre, d'une région identifiable composée de fer, le noyau. Cette histoire ne peut être séparée de la grande controverse qui a divisé les savants, jusqu'au début du XX^e siècle, au sujet de l'existence, ou non, d'un "feu central".

L'existence des volcans confortait les Anciens dans l'idée que l'intérieur de la Terre, où s'alimentaient ces monts ignivomes était en feu. D'ailleurs, l'Enfer chrétien où les damnés brûlaient dans un feu éternel était situé au centre du globe terrestre.

Thomas d'Aquin, au XIII^e siècle, dans deux articles de la *Somme théologique* conclut, après en avoir congrûment discuté, que l'Enfer était bien situé sous terre et que son feu était de même nature que celui que nous connaissons.

La situation de l'Enfer au centre de la Terre n'était d'ailleurs pas sans poser quelques problèmes. Swinden, un théologien anglais du XVIII^e siècle, pensait que l'intérieur de la Terre était trop petit pour contenir le nombre considérable de damnés depuis la création de l'humanité et que l'Enfer serait plus raisonnablement situé dans le Soleil. Un dominicain vénitien le P. Patuzzi, repoussa cette objection en 1763 et montra, par le calcul, qu'il n'y avait aucun problème d'espace.

Mais, dès le XVII^e siècle, les physiciens commençaient à aligner des arguments contre le feu central et Gassendi déniait l'existence de flammes, faute d'air. Buffon, dans sa *Théorie de la Terre* (1749), parlant des feux des volcans écrit: "*il ne faut pas croire que ces feux viennent d'un feu central, comme quelques auteurs l'ont écrit, ... car l'air est absolument nécessaire à leur embrasement, au moins pour l'entretenir.*" Il conclut qu' "*il y a tout lieu de conjecturer*

avec grande vraisemblance que l'intérieur de la Terre est rempli d'une matière vitrifiée... et que par conséquent le globe terrestre en général peut être considéré comme homogène." Donc, pas de noyau.

Quoiqu'il en soit, vers la fin du XVIII^e siècle, l'opinion générale était que l'intérieur de la Terre était solide, qu'il n'y avait pas de feu central, et que le feu des volcans, venait de l'inflammation superficielle de matières combustibles, telles que bitumes ou soufre.

Le problème du feu central réapparut sous un nouvel avatar et nourrit les controverses pendant tout le XIX^e siècle et une partie du XX^e. Il ne s'agissait plus du feu, avec des flammes, auquel depuis longtemps on ne croyait plus, mais de matière en fusion, de magma.

Laplace, en effet, dans la "Note 7 et dernière" de l'*Exposition du système du monde* (1796), fait état d'une hypothèse qu'il "*présente avec la défiance que doit inspirer tout ce qui n'est point un résultat de l'observation ou du calcul*" : la Terre a été formée dans un état fluide, comme les autres planètes du système solaire, par la condensation de la nébuleuse primitive.

Pendant tout le XIX^e siècle, il y eut une sorte de consensus: la Terre a été fondue, donc fluide, à l'origine; son aplatissement vers les pôles correspondant à la figure d'équilibre d'un globe liquide en rotation, semblait en apporter la preuve.

Le seul point qui prêtait à controverse, et il n'était pas mince, était celui de l'état actuel de l'intérieur de la Terre. La Terre avait-elle perdu toute sa chaleur primitive et était-elle donc froide et rigide, ou bien existait-il en son sein une sorte d'océan interne de matière en fusion, un feu central?

Pour les "fluidistes", la Terre qui avait été en fusion, n'était pas encore totalement refroidie; une mince croûte solidifiée recouvrait un "feu central" de magma,

auquel s'alimentaient les volcans. Cordier, professeur de géologie au Muséum national d'Histoire naturelle, avait effectué de nombreuses mesures de la température dans des puits et mines, en fonction de la profondeur; une extrapolation l'amena à affirmer, en 1827, que la température pourrait s'élever jusqu'à 250 000° C au centre de la Terre, et il concluait que l'intérieur du globe était "doué de sa fluidité originaire".

Sans nier que la Terre ait pu, à l'origine, être chaude, et même fondue, les "solidistes", par contre, pensaient, avec Poisson (1781-1840), que la Terre avait depuis longtemps perdu toute sa chaleur initiale. Poisson se fonda sur la constatation que le point de fusion des corps augmente avec la pression. La solidification avait donc dû commencer par les régions centrales de la Terre, à cause de la pression élevée qui y règne, plutôt qu'à cause d'un abaissement de température. Au fur et à mesure que la solidification progressait vers l'extérieur, les couches perdaient rapidement leur chaleur par rayonnement, jusqu'à ce qu'on arrive à un globe entièrement solide et froid. Poisson attribuait l'élévation de température ressentie lorsqu'on s'enfonce dans le sol à la diffusion vers l'intérieur de la chaleur des régions célestes que parcourt la Terre.

L'analyse la plus sérieuse fut, en 1838, l'œuvre de William Hopkins, qui fut tuteur à Cambridge de Maxwell et de Kelvin. Hopkins, utilisant des arguments physiques et astronomiques, présenta plusieurs scénarios possibles et quelques conclusions robustes.

Comme Poisson, Hopkins savait que vers la surface, à basse pression, la solidification peut être causée par le refroidissement, alors que vers le centre, elle peut être due à la pression. Suivant les positions respectives des courbes de fusion (variation de la température de fusion avec la pression, donc avec la profondeur) et de la courbe de température réelle dans la Terre en fonction de la profondeur, plusieurs cas de figure sont possibles :

La Terre peut être entièrement solide, ou bien liquide sous une croûte superficielle, ou bien encore, solide près de la surface, puis liquide, puis de nouveau solide au voisinage du centre.

Pour essayer de trancher, et c'est là la nouveauté, Hopkins fit alors appel à des arguments astronomiques. On sait que l'axe de rotation de la Terre décrit dans l'espace un cône, avec une période d'environ 26 000 ans (précession des équinoxes), et qu'à ce mouvement de grande échelle se superposent de petites oscillations, les nutations. Or, on peut calculer la précession et les nutations d'un globe de structure connue (solide, fluide, ou comportant une croûte d'épaisseur donnée) et comparer les résultats du calcul aux mouvements observés de la Terre. Hopkins conclut que la Terre se comporte de façon rigide et que l'épaisseur de la croûte solide doit être au moins égale à 1/4 ou 1/5 du rayon terrestre (plus de 1 000 km). Il en déduisit que, même s'il existe

un noyau fluide en fusion dans les profondeurs de la Terre, il est impossible que les volcans s'y alimentent. Les laves proviennent donc de réservoirs superficiels, d'étendue limitée.

Kelvin (1824-1907), fut le chef de file des solidistes. Il poursuivit avec acharnement la démolition de l'argument massue des fluidistes: "Nous avons de fortes raisons pour croire que, vers une profondeur de 30 kilomètres, le taux d'augmentation de la température avec la profondeur est considérablement moindre qu'en surface, et qu'aux plus grandes profondeurs, la température n'est pas assez élevée pour fondre la matière." En effet, si la Terre originellement chaude se refroidissait en évacuant sa chaleur vers l'extérieur par conduction (dont Fourier avait écrit les équations), la variation de température avec la profondeur devait être beaucoup plus forte près de la surface que dans l'intérieur.

Pour Kelvin, même si la Terre n'était pas encore complètement refroidie, elle était néanmoins solide et rigide. Il avait repris et perfectionné les calculs de Hopkins sur la précession et, de plus, il faisait remarquer que si la Terre était un globe liquide entouré d'une mince croûte, elle serait autant déformée par les marées que la masse des océans, et donc que les marées océaniques que nous connaissons, résultant du déplacement relatif des eaux par rapport aux terres, seraient pratiquement imperceptibles. Il concluait que la Terre, dans son ensemble devait être aussi rigide que l'acier, et qu'il était extrêmement improbable que la croûte rigide eût moins de 2 000 ou 2 500 km d'épaisseur.

Le problème majeur de la géophysique interne au XIX^e siècle a été clairement défini par Henri Poincaré, en 1888, dans une note de mécanique céleste aux Comptes rendus de l'Académie des sciences, intitulée "Sur la figure de la Terre":

"Est-il possible de trouver une loi de la variation de la densité à l'intérieur de la Terre qui satisfasse à la fois:

- *A l'équation de Clairaut;*
- *A la valeur observée de l'aplatissement;*
- *A la valeur observée de la constante de la précession?"*

Clairaut, en 1743, avait considéré les surfaces d'égale densité à l'intérieur d'une Terre homogène, fluide, en équilibre hydrostatique. En raison de la rotation de la Terre, ces surfaces ont la forme de sphéroïdes de révolution très peu aplatis. L'équation différentielle de Clairaut, relie l'ellipticité ϵ et la densité ρ de la couche à la distance r du centre de la Terre.

Édouard Roche naquit à Montpellier en 1820 et toute sa carrière se déroula dans cette ville où il mourut en 1883. Nommé professeur de mathématiques à la faculté des sciences de Montpellier en 1852, il fut élu correspondant de l'Académie des sciences en 1873. Roche est plus connu pour ses travaux en astronomie qu'en géophysique. En particulier, il calcula la distance à une planète en dessous de laquelle un satellite serait brisé par les forces de marée et en dessous de laquelle des débris ne

pourraient s'agréger en un satellite : la limite de Roche. Et c'est lui qui, le premier, montra que l'anneau de Saturne était "formé de poussières désagrégées".

En 1848, Roche avait présenté à l'Académie des sciences et lettres de Montpellier un "Mémoire sur la loi de densité à l'intérieur de la Terre". Pour une Terre fluide en équilibre hydrostatique, il avait adopté une loi de variation de la compressibilité en fonction de la densité et vérifié que cette loi satisfaisait à l'équation de Clairaut. Il trouvait pour une densité de surface de 2.11, une densité de 8.46 au milieu du rayon et de 10.58 au centre. Mais la densité variait de façon continue. La Terre était encore homogène, sans noyau.

Cependant, en 1881, Roche est troublé par les travaux géodésiques les plus récents, qui donnent des valeurs de l'aplatissement superficiel de 1/294 et peut être même de 1/292, comme trouve Faye en 1880 (alors que la valeur de Bessel, en 1840, était de 1/299, voisine de la valeur moderne 1/298). Dans une note de 1881 aux Comptes rendus de l'Académie des sciences, intitulée "Sur l'état intérieur du globe terrestre", il remet en cause la répartition de densité à laquelle il était parvenu en 1848: *"Les conditions auxquelles doit satisfaire toute hypothèse sur la répartition de la masse à l'intérieur de la Terre sont de s'accorder avec la valeur de l'aplatissement superficiel et aussi avec une certaine constante dépendant du phénomène de la précession. Ces conditions sont très approximativement satisfaites dans l'hypothèse de la fluidité, si l'on admet que l'aplatissement terrestre est voisin de 1/300; mais si cet aplatissement est supérieur à 1/296, comme il paraît résulter des plus récentes déterminations, l'accord n'existe plus.*

Il y a donc lieu de reprendre ces recherches dans une hypothèse différente, par exemple en considérant le globe comme formé d'un noyau ou bloc solide à peu près homogène, recouvert d'une couche légère, dont la densité d'après des considérations géologiques, peut être estimée à 3 par rapport à l'eau."

Le modèle de Roche est détaillé dans une note à l'Académie de Montpellier (Roche, 1881). Il part des hypothèses suivantes: *"En dehors de toute considération géologique, il existe [...] des données assez précises, auxquelles doit satisfaire la constitution de notre planète [...]: Ces données sont au nombre de trois. D'abord, la valeur de la densité moyenne, environ 5,56 par rapport à l'eau; comme la densité des couches superficielles ne dépasse pas 2,5, il faut que les couches profondes et surtout la région centrale aient une densité bien plus grande. En second lieu, l'aplatissement de la surface des mers, donné par les mesures géodésiques, est essentiellement lié à la distribution de matière dans le globe; s'il ne suffit pas plus que la densité moyenne pour fixer la loi de cette distribution, il permet du moins de formuler une équation que cette loi doit nécessairement vérifier [équation de Clairaut]. Enfin, la valeur numérique d'une certaine constante déterminée par le phénomène astronomique de la précession des équinoxes, dépend des moments d'inertie du sphéroïde terrestre par rapport à ses axes principaux,*

[$H=(C-A)/C$] et par conséquent de la masse des couches qui le constituent, aussi bien que de leur figure: de là une nouvelle relation que la loi de progression des densités doit encore vérifier."

Roche conclut: *"Si l'on fait abstraction de l'écorce purement superficielle, ainsi que d'une légère condensation vers le centre, voici quelle serait la constitution du globe: un bloc dont la densité est de 7 à 7,5, recouvert d'une couche de densité 3, dont l'épaisseur égale 1/6 du rayon entier [environ 1 100 km]. Le bloc terrestre est donc, pour le poids spécifique, analogue aux fers météoritiques, tandis que la couche qui l'enveloppe est comparable aux aérolithes de nature pierreuse, où le fer n'entre qu'en faibles proportions."* C'est la première apparition d'un noyau de fer, entouré d'un manteau rocheux.

Quinze ans plus tard, en Prusse, le procès-verbal de la séance du 9 janvier 1896 de la Physikalisch-Ökonomischen Gesellschaft zu Königsberg, mentionne que "le Privatdozent Emil Wiechert a parlé de la constitution matérielle de la Terre dans ses parties les plus profondes. A partir de la mesure de la constante de gravitation, on connaît la masse spécifique moyenne de la Terre. Au moyen des phénomènes astronomiques de la précession et de la nutation, on peut calculer le moment d'inertie de la Terre et avec celui-ci et avec la valeur de l'aplatissement, on peut tirer des conclusions sur la répartition des masses dans l'intérieur de la Terre. [...] Il est sûr que la masse spécifique est très significativement plus élevée que celle de la surface. Ce que le présentateur a trouvé et publie ici pour la première fois s'ensuit avec à peine moins de certitude, à savoir que la couche rocheuse sur laquelle nous vivons est abruptement distincte d'un noyau [Kern] dont la masse spécifique est un peu supérieure à 8. Comme la masse spécifique du fer est de 7,8, le noyau est, semble-t-il, composé essentiellement de fer qui est un peu comprimé par la pression. La dimension du noyau est d'environ 8/10 de celle de la Terre."

Le 23 septembre 1896, lors de la réunion à Frankfurt am Main de la Gesellschaft deutscher Naturforscher und Ärzte, Wiechert donne essentiellement le même exposé et conclut: *"Si on admet pour la densité du manteau [Mantel] une valeur entre 3 et 3,4 et pour l'aplatissement de la Terre les valeurs observées entre 1/299 et 1/293,5, les valeurs de la densité du noyau sont comprise entre 7,9 et 8,6 [...] Il est à peu près hors de doute que le noyau métallique de la Terre est essentiellement composé de fer quelque peu comprimé. [...] L'épaisseur de la couche rocheuse est comprise entre 1 200 et 1 600 km."* Les calculs complets de Wiechert furent publiés en 1897.

Il est donc bien clair que c'est à tort que Wiechert est universellement considéré comme le premier à avoir proposé un modèle de Terre avec un noyau de fer et un manteau rocheux. Nous avons en effet vu que, quinze ans auparavant, Roche, utilisant le même type de données (densités moyenne et superficielle, aplatissement, constante de la précession) et suivant une méthode de



calcul analogue, avait obtenu, à 10 % près, les mêmes résultats. Pour Wiechert, comme pour Roche, le noyau de fer, d'environ 5 000 km de rayon, est solide et de densité uniforme.

Or, vers la fin du XIX^e siècle et le début du XX^e, la sismologie fit son apparition. Les sismologues avaient compris que les ondes sismiques, engendrées par les grands tremblements de terre, se propageaient à travers le globe et fournissaient un moyen d'ausculter la Terre et de recueillir des renseignements sur sa structure et sur la densité et les propriétés élastiques des régions internes.

Richard Dixon Oldham (1858-1936), en 1906, note que les géologues, découragés par le nombre de théories contradictoires, ont limité leur intérêt à la croûte de la Terre, et ont "laissé son centre comme terrain de jeu pour les mathématiciens" (*playground for mathematicians*). Les observations faites avec le "sismographe moderne" peuvent changer cet état de choses. Oldham avait remarqué qu'à 150° de l'origine la vitesse de la seconde phase des ondes sismiques (ondes S, de cisaillement) décroît de plus de 6 km/s à 4,5 km/s; il suggère que l'explication la plus évidente de ce phénomène est que les ondes ont traversé un "noyau central" dont le rayon est égal à 4/10 du rayon de la Terre (2 550 km) et constitué d'une matière de propriétés physiques radicalement différentes. Il rejette l'hypothèse que les ondes dont la vitesse a diminué aient été identifiées à tort comme des ondes S et que ces dernières n'aient pas été transmises par le noyau (on sait maintenant que tel était pourtant le cas). Il admet cependant que le noyau pourrait être fluide, bien que transmettant les ondes S avec une vitesse réduite. Contrairement donc à une idée répandue, Oldham n'a pas identifié un noyau fluide en raison du fait que les ondes de cisaillement ne s'y propageaient pas, mais au contraire, en dépit de ce que, croyait-il, elles s'y propageaient.

C'est Beno Gutenberg (1889-1960), élève de Wiechert à Göttingen, qui, en 1912, localisa exactement la frontière noyau-manteau à la profondeur de 2 900 km, par la considération d'une "zone d'ombre" à la surface du globe, à l'intérieur de laquelle on ne peut entendre les ondes sismiques. Mais Gutenberg pensait que la vitesse des ondes S dans le noyau était réduite, mais non nulle comme on s'y attend dans un fluide.

La démonstration que le noyau était liquide ne vint donc pas de la sismologie.

En 1926, Harold Jeffreys (1891-1989) montra que les valeurs de la rigidité du manteau et du noyau déduites de leurs densités et des mesures de la marée terrestre ne s'accordaient avec les valeurs déduites de la vitesse de propagation des ondes sismiques que si la rigidité du noyau était très faible ou nulle. Il conclut: "Il ne semble pas y avoir de raison de dénier que le noyau métallique de la Terre est véritablement fluide."

En 1936, la sismologue danoise Inge Lehmann (1888-1993) détecta des ondes sismiques dans la zone d'ombre qu'elle attribua à l'existence d'une dernière région, voisine du centre, la "graine". K.E. Bullen (1906-1976), en 1946, montra que la graine avait un module de cisaillement fini et donc devait être solide.

C'est seulement en 1952 que Francis Birch (1903-1992), à Harvard, montra définitivement que le noyau ne pouvait être qu'en fer: parmi les matériaux abondants dans le système solaire, seul le fer peut atteindre à haute pression la densité du noyau, de l'ordre de 13, déduite de la vitesse des ondes sismiques.

Si Roche en 1881, suivi 15 ans plus tard par Wiechert, fut le premier à proposer un modèle de Terre comportant un noyau de fer, bien distinct par la densité du manteau rocheux, ce n'est qu'il y a un peu moins de 100 ans que nous savons que le rayon du noyau de la Terre est environ les 7/10 de la valeur de Roche. Il n'y a que 80 ans que nous savons que le noyau est fluide. Il y a 70 ans que nous savons qu'il existe une graine. Il y a 60 ans que nous savons que la graine est solide et enfin, il n'y a qu'un peu plus de 50 ans que nous sommes sûrs que le noyau est essentiellement constitué de fer.

C'est la mécanique céleste, autant que la sismologie, qui a permis la connaissance du noyau de la Terre, dont l'histoire s'est déroulée, pour la plus grande part, au cours du siècle dernier, et n'est pas encore terminée ■

La recherche et l'exploration des hydrocarbures au niveau de la transition océan-continent des marges continentales

Pourquoi les transitions océan-continent intéressent-elles les pétroliers ?

En raison de la forte demande actuelle de ressources énergétiques à l'échelle mondiale, la recherche d'hydrocarbures s'intensifie partout dans le monde, et se fait plus loin en mer et de plus en plus profond. Plus loin, au large des continents sous des profondeurs d'eau supérieures à 2 000 m correspondant aux parties distales de marges (à la transition entre une croûte continentale épaisse comprenant des séries sédimentaires *ante* et *syn* ouverture océanique et une croûte océanique mince comprenant des séries sédimentaires uniquement post-rift). Plus profond dans les sédiments, par des enfouissements supérieurs à 5 000 m de sédiment permettant d'explorer des séries géologiques plus anciennes que celles déjà reconnues sur ces marges ce qui implique des conditions de hautes pressions (de l'ordre du millier de bar) et hautes températures (supérieures à 200° C) dans les réservoirs pétroliers. Les observations récentes (en particulier de sismique réflexion) montre des résultats totalement inattendus par rapport aux concepts antérieurs sur le début de formation des marges. Ces zones ne sont pas toujours caractérisées par des blocs faillés pouvant expliquer l'amincissement crustal mais plutôt par des séries sédimentaires non faillées de type "sag" associées à des failles de détachement qui exhument du manteau continental. C'est vraiment un nouveau paradigme de la tectonique des plaques et les implications sont nombreuses. Les mondes académique et industriel travaillent activement sur ces nouvelles observations comme l'a montré le récent Congrès en septembre 2007 organisé par l'Académie des sciences sur ce sujet. Le développe-

ment de concepts mieux adaptés permet à l'industrie de faire des prédictions plus fiables sur ces zones distales en cours d'exploration, encouragée par des découvertes récentes réalisées en particulier au large du Brésil dans le bassin de Santos. TOTAL dispose des méthodologies et outils indispensables pour mener l'exploration et la production dans ces domaines frontières qui requièrent la maîtrise de technologies complexes. Ces procédés ont été mis au point progressivement et mis en oeuvre avec succès en Mer du Nord avec les développements en 2001 des champs HP/HT de Elgin Franklin (5 500 m d'enfouissement sédimentaire), et en Angola avec les champs Deep Offshore de Girassol (1 400 m de profondeur d'eau) en 2001 et de Dalia en 2006.

Quelle est l'origine du pétrole dans ces zones ?

La marge continentale, d'un point de vue de la théorie de la tectonique des plaques, marque le domaine de transition entre la croûte continentale et la croûte océanique. Son histoire est polyphasée. Elle est affectée par les premières phases de fracturation et de rupture des continents qui vont entraîner la naissance d'un océan (stade rift). L'océan alors ouvert va poursuivre son expansion pendant 150 à 200 millions d'années et la marge va enregistrer dans les sédiments toute cette histoire post ouverture avant de se refermer et entraîner la collision des plaques continentales d'où surgira les chaînes de montagne. La marge subit donc divers stades d'évolution au cours de son histoire géodynamique enregistrée en particulier par son remplissage sédimentaire. Le pétrole est issu de sédiments riches en matière organique impliquant une forte productivité organique du milieu lacustre ou marin dans lesquels ils



se déposent. Cette matière organique doit ensuite être préservée grâce par exemple à un milieu anoxique lié au confinement. Selon les diverses étapes de l'évolution géodynamique de ce domaine de marges, on pourra rencontrer divers types de sédiments riches en matière organique constituant autant de roches mères potentielles. Par exemple, dans les premiers stades de fracturation des continents vont se former des Rifts (comme par exemple les Rifts Est africain) avec le développement de lacs confinés propices au dépôt de roches mères lacustres. Puis au stade suivant correspondant à l'ouverture océanique, ce domaine de transition océan-continent va évoluer en marge qui va subsider thermiquement et atteindre des bathymétries importantes (2 500 m d'eau) et devenir propice aux remontées de courant océanique

Entretien de **Patrick Unternehr**¹
avec **Paul Caro**²

1. Total Exploration et Production
Géosciences, Projets Nouveaux
2. Correspondant de l'Académie des sciences, directeur de recherche honoraire au CNRS

profonds de type upwelling (comme actuellement avec le système "el Niño" au large des zones équatoriales du Pérou) favorisant une forte productivité organique et le développement de roches mères marines. Par ailleurs, la marge continentale est un domaine propice au développement de système deltaïque (comme les deltas tertiaires des fleuves Niger ou Zaïre) donc avec de forts apports de matière organique humique provenant du continent. Sur les marges, les hydrocarbures générés, lorsque les sédiments riches en matière organique sont enfouis à des profondeurs suffisantes, révèlent la diversité caractérisant les différents types de roches mères dont ils sont issus.

Jusqu'à quelle profondeur peut-on explorer et exploiter ?

Dans les années 1980, l'exploration pétrolière, qui s'était concentrée antérieurement sur l'onshore, s'est développée en Mer du Nord aboutissant à toutes les découvertes prolifiques en particulier dans le Viking Graben Norvégien. Il s'agissait de domaines peu profonds jusqu'à 300 m à 400 m d'eau. Dans les années 1990, la technologie de forage et de sismique 3D (et la baisse des coûts associés) ont permis de forer des puits sous des profondeurs de plus en plus importantes atteignant plus de 2000 m d'eau et ont amené des découvertes majeures sur les marges du Golfe du Mexique, du Nigeria, d'Angola comme celle de Girassol par TOTAL. Ces découvertes sont maintenant mises en production. Actuellement, on effectue des puits d'exploration jusqu'à 3000 m de profondeur d'eau. On prend des permis miniers sur des zones à plus de 3000 m de profondeur d'eau. En terme d'enfouissement des sédiments, des records sont établis dans des "bassins froids" dont le gradient de température est faible comme le Golfe du Mexique où on fore jusqu'à plus de 6000 mètres de sédiments. La température et les gradients thermiques des bassins sédimentaires sont variables et dépendent de divers paramètres (énergie dégagée par la croûte continentale radiogénique, conductivité de niveaux salifères...) Plus le bassin est chaud plus cela pose de problèmes au niveau de la résistance des outils de forage et de logging (enregistrements de paramètres physiques dans les sédiments) sont nombreux et complexes à résoudre.

Quel est le rôle des dômes de sels souvent associés aux gisements de pétrole ?

Les évaporites sont formées dans différents contextes géologiques. Dans les déserts, des lacs qui s'évaporent de façon intermittente, entraînent la formation de sebkra. Dans des fosses océaniques profondes comme dans la Mer Rouge, peuvent s'accumuler diverses saumures. Sur les marges en voie d'océanisation comme celles de l'Atlantique sud au large de l'Angola ou du Brésil se

sont déposés jusqu'à 3000 m d'évaporites à l'Aptien, il y a 120 millions d'années. A l'échelle de la planète, de nombreux bassins pétroliers prolifiques sont salifères. Les évaporites sont importants pour l'exploration car les niveaux de sel sont ductiles, ils se déforment au cours du temps et favorisent la formation de "pièges" (anticlinaux ou flancs de dôme de sel) c'est-à-dire de structures pouvant piéger les hydrocarbures au cours de leur migration dans les couches sédimentaires. Pour des objectifs recherchés sous le sel, les évaporites imperméables vont servir de couverture et piéger les hydrocarbures dans des structures sous-jacentes. Le paramètre critique dans cette recherche de pièges ante salifère réside dans la qualité de l'imagerie sismique souvent médiocre en raison de la perturbation des ondes acoustiques pour traverser les niveaux salifères intensément déformés. Les améliorations des dispositifs d'acquisition et du traitement sismique font partie des voies de progrès technologiques clés pour réussir dans cette exploration des niveaux ante salifère. Le gisement pétrolier qui vient d'être découvert au niveau de la marge distale du Brésil au large de l'État de São Paulo se situe dans ce contexte ante salifère. A l'Aptien (-118 mA), l'Atlantique Sud n'était pas encore ouvert et la marge brésilienne était proche de celle d'Angola et appartenait à un contexte identique où les dépôts sédimentaires (en terme de roches mères, réservoirs) étaient équivalents. La recherche des analogues brésiliens coté Angola constitue naturellement la préoccupation de bon nombre de compagnies pétrolières dont TOTAL.

Est-ce qu'il y a une chance de trouver du pétrole dans toutes les marges ?

Pour qu'il y ait du pétrole il faut naturellement rassembler toute une série de conditions. Il faut que les divers paramètres pétroliers clés soient réunis, à savoir la présence de roches mères prolifiques matures (suffisamment enfouies pour générer des hydrocarbures), des structures ou pièges pétroliers, des réservoirs poreux, des couvertures imperméables. Il faut tous ces ingrédients plus une bonne relation spatio-temporelle, avec la formation de piège avant la migration d'hydrocarbures. Toutes les conditions géologiques sont réunies pour favoriser ces dépôts sur les marges. Néanmoins le bilan de l'ensemble des marges divergentes du globe montre en particulier, que celles de l'Atlantique sont plus prolifiques que celles de l'Océan indien. Des conditions paléogéographiques plus favorables à l'époque des dépôts (climats, quantité d'apports sédimentaires...) peuvent favoriser un système pétrolier plus efficace. Des synthèses paléogéographiques sont réalisées sur toutes les marges du monde dans notre entité projets nouveaux dans le but de déterminer les zones d'intérêt réunissant les éléments pétroliers les plus favorables.

Quelle est la valeur prédictive des recherches ?

Depuis une vingtaine d'années, l'industrie pétrolière a étudié et acquis de la sismique sur toutes les marges du monde amenant dans les années 1996-1998 les découvertes mutantes du "Deep Offshore" dans des réservoirs turbiditiques post ouverture associés à un niveau de décollement salifère ou argileux comme Girassol en Angola et Bonga au Nigeria par Total, ainsi que dans le Golfe du Mexique... Les majors pétroliers ont étudié pratiquement toutes ces marges. Des centaines de milliers de kilomètres de sismique ont été interprétés, et les observations récentes ne correspondent pas aux concepts habituellement utilisés pour la formation des marges pendant la période de fracturation des continents puis d'océanisation. Les modèles de "pure shear" type Mc Kenzie ou "simple shear" type Wernicke supposaient qu'il y avait un amincissement crustal de la marge (passage de 40 à 10 km d'épaisseur) par un système de blocs basculés jusqu'au domaine océanique. Or, on n'observe pas toujours ces blocs basculés dans les parties distales de marge. On y voit autre chose avec une variabilité importante de cas de figures. D'où les collaborations importantes existantes actuellement entre le monde académique et le monde industriel pour l'élaboration de nouveaux concepts qui puisse expliquer les observations. Dans le monde académique de grands progrès ont été réalisés à la suite des forages DSDP (Deep Sea Drilling Project) sur les marges d'Ibérie et de Terre-Neuve avec des précurseurs comme G. Boillot en 1978. Les résultats des forages dans les parties distales de marge montraient déjà non pas des blocs basculés de croûte continentale mais, de façon tout à fait inattendue, des rides de péridotite, c'est à dire des éléments de manteau continental. Les recherches se sont poursuivies ensuite avec un certain nombre de forages complémentaires réalisés par les programmes DSDP puis IODP. Par ailleurs, sur le terrain, dans les Alpes, existent des analogues de parties distales de la marge téthysienne au Jurassique (-150 mA). On observe à l'affleurement des éléments de manteau exhumé associé à des failles de détachement durant la période d'ouverture téthysienne. Les collaborations industrie et recherche académique sont actuellement très actives, les universitaires travaillant à élaborer de nouveaux modèles et l'industrie pétrolière essayant d'appliquer ces concepts pour interpréter les données sismiques. Une meilleure prédiction est ainsi



espérée avant de faire des forages très coûteux dans ces contextes "Deep Offshore" très enfouis. Ce qui semble certain et ce constat est partagé par la majorité de l'industrie, c'est que les anciens modèles de marge ne sont plus adaptés pour comprendre ces parties distales de marge. Ces concepts mutants ont donc de nombreuses implications sur l'ensemble des paramètres pétroliers.

Peut-on espérer trouver de nouveaux gisements ?

On peut toujours l'espérer. TOTAL et l'ensemble de l'industrie y travaillent activement. Cette exploration devient plus risquée, plus difficile et plus onéreuse. Plusieurs systèmes pétroliers peuvent être envisagés au niveau des parties distales de marges dans les zones de

transition océan-continent : un système pétrolier ante ouverture (séries anciennes déposées avant les premières phases d'étirement), un système pétrolier syn-rift (séries sédimentaires déposées au début du rifting avant l'océanisation), un système pétrolier post-rift qui correspondra aux dépôts post ouverture océanique. Les séries post-rift ont été explorées en grande profondeur d'eau et correspondent aux découvertes dans les turbidites tertiaires d'Angola. Les séries syn-rift et pré-rift (crétacées) plus enfouies n'ont été que peu explorées dans les zones de transition des parties distales de marge. Le futur (ou plutôt le proche avenir) c'est d'aller forer plus profond (en bathymétrie et en enfouissement sédimentaire) dans ces séries syn-rift qui ne sont pas associées à des pièges de blocs basculés faillés mais sont peut-être associées à des failles de détachement qui exhumeraient le manteau, donc avec une dynamique tectono sédimentaire et des régimes thermiques complètement différents pour la maturation des roches mères ■



Par **Maurice Tubiana**

Membre de l'Académie des sciences, professeur émérite à l'université Paris Sud Orsay, président honoraire de l'Académie nationale de médecine

Les causes du cancer en France

Les tableaux I (incidence) et II (mortalité) résument les principaux résultats du rapport sur les causes du cancer². Ils montrent que :

1. Chez les hommes, le tabac reste à l'origine d'un tiers des décès par cancer et l'alcool de 9,5 %. Chez les femmes, ces pourcentages sont de 9,6 % et de 3 %. La baisse de la mortalité due aux cancers des voies aéro-digestives supérieures depuis 1975 montre à quel point celle-ci dépend de la consommation d'alcool qui a diminué de 22 % entre 1960 et 1977. La consommation de tabac n'a diminué que depuis 1980 et chez les femmes depuis 1990. La lutte contre ces deux addictions a été efficace, mais beaucoup reste à faire.

2. Le surpoids et l'insuffisance d'exercice physique. Ces deux facteurs sont ensemble à l'origine de 5,5 % de la mortalité par cancer chez les femmes et de 2 % chez les hommes. Ce constat ouvre une voie nouvelle pour la prévention. Les dépôts graisseux qui ont été une sauvegarde à l'époque des famines sont aujourd'hui nocifs. L'influence de l'activité physique est plus intéressante encore. *L'homo sapiens* a été façonné par l'évolution quand il courait et chassait, son équilibre métabolique et hormonal exige une activité physique (comme un cheval de course). Son rôle dans la cancérogenèse était incompréhensible quand on croyait que le cancer était le résultat de la mutation de quelques gènes spécifiques (proto-oncogènes, gènes suppresseurs). On sait aujourd'hui qu'il existe dans l'organisme humain des moyens puissants de défense contre la cancérogenèse (lutte contre les radicaux oxydants formés au cours du métabolisme cellulaire de l'oxygène, réparation de l'ADN, élimination par la mort, notamment l'apoptose, ou l'incapacité de se diviser des

cellules dont le génome a été endommagé, immunosurveillance qui détruit les cellules préneoplasiques, etc...). Un cancer ne peut apparaître que si ces défenses ont été surmontées. L'efficacité des mécanismes de défense dépend de la qualité des tissus (une cirrhose du foie favorise le cancer du foie), de l'état général et de l'âge.

3. L'alimentation. Les récentes études n'ont pas confirmé un effet spécifique de la richesse en fibres, en légumes et fruits, mais ces aliments apportent peu de calories dans un volume important, ce qui favorise l'apparition de la satiété. Inversement, les aliments riches en graisse et en sucres (fast food, fritures, confiseries, pâtisseries) apportent beaucoup de calories sans calmer la faim. La viande rouge et la charcuterie n'augmentent que de 30 % l'incidence des cancers du colon rectum, soit moins qu'on le croyait. Néanmoins, les recommandations diététiques restent valables car une alimentation pauvre en graisse animale et riche en fruits et légumes prévient les maladies cardiovasculaires. Actuellement, l'impact de l'alimentation est vraisemblablement sous-estimé car on n'a étudié celle-ci que chez les adultes. L'excès calorique stimule la prolifération cellulaire et la sécrétion d'hormone de croissance (IGF1 et 2). L'occidentalisation du régime alimentaire (par exemple chez les descendants japonais ayant migré à Hawaï) est associée à une augmentation de l'incidence des cancers du colon rectum et du sein, mais aussi avec un accroissement de la taille, de la force, de la résistance aux infections et chez les filles des règles plus précoces, ce qui évoque le rôle des facteurs alimentaires et hormonaux pendant la petite enfance.

4. La pollution : moins de 1 % des cancers apparaissent dus à la pollution de l'air, de l'eau et des aliments. Ceci a surpris, car même des documents officiels avançaient un pourcentage supérieur à 20 %. Doll et Peto avaient estimé en 2005 cette proportion à 2 % sans susciter de réaction.

Beaucoup des produits incriminés (insecticides, phyto-

2- "Les causes du cancer en France" : rapport commun de l'Académie des sciences avec l'Académie nationale de médecine, le Centre international de recherche sur le cancer (OMS-Lyon) et la Fédération nationale des centres de lutte contre le cancer – septembre 2007.

Les causes du cancer en France en 2000

Facteurs de risque (a)	Hommes		Femmes		Deux sexes	
	N	%	N	%	N	%
Tabac	43 466	27.0	7 095	6.1	50 562	18.2
Alcool	17 398	10.8	5 272	4.5	22 670	8.1
Agents infectieux	4 206	2.6	4 871	4.2	9 077	3.3
Obésité et surpoids	2 293	1.4	3 936	3.4	6 229	2.2
Insuffisance activité physique	780	0.5	5 058	4.3	5 838	2.1
Exposition aux UV	2 380	1.5	3 234	2.8	5 614	2.0
Tt hormonaux	-	-	5 159	4.4	5 159	1.9
Professionnel	4 012	2.5	316	0.3	4 328	1.6
Facteurs de reproduction §	-	-	2 260	1.9	2 260	0.8
Polluants (b)	243	0.1	174	0.1	217	0.1

1 – Nombre de cas de cancer (N) et pourcentage de tous les cancers (%) attribués aux différents facteurs en France en 2000 (attention ces chiffres ne peuvent pas s'additionner)

(a) Classé selon le nombre de cas de cancer dans les deux sexes - § Variation concernant les facteurs liés à la reproduction entre 1980 et 2000

(b) En ne tenant compte que des agents cancérigènes reconnus (classe I). Si l'effet cancérigène de la pollution atmosphérique, notamment celui de particules fines qui est actuellement fortement suspecté (voir section D3), était confirmé et si 50 % des Français y étaient exposés avec une augmentation du risque de cancer du poumon de 7 %, ce pourcentage atteindrait 0,83 % chez les hommes et 0,4 % chez les femmes. On se trouverait alors près de 1 %, c'est-à-dire un chiffre voisin de celui proposé par Doll Peto en 2005 au Royaume-Uni.

Facteurs de risque	Hommes		Femmes	
	Ayant fumé (a) FA (%)	N'ayant jamais fumé FA (%)	Ayant fumé (a) FA (%)	N'ayant jamais fumé FA (%)
Tabac	39.7	-	19.3	-
Alcool	10.0	6.7	2.9	3.0
Agents infectieux	3.1	3.0	4.8	3.9
Obésité et surpoids	1.1	1.5	2.2	2.5
Insuffisance activité physique	0.4	0.7	2.6	3.3
Exposition aux UV	0.5	0.9	0.7	0.9
Tt hormonaux et contraceptifs oraux	-	-	1.7	2.0
Profession	3.9	1.9	0.7	0.3
Polluants (b)	0.1	0.01	0.5	0.1
Total (c)	50.5	14.0	31.8	15.6

2 – Proportions de décès par cancer attribués aux différents facteurs chez les fumeurs et les non fumeurs

(a) Fumeurs et Ex fumeurs - (b) Voir note (b) tableau C1.1 - (c) La FA globale a été estimée en prenant en compte l'interaction multiplicative comme décrit dans la section C2 du rapport. Ces chiffres peuvent s'additionner.



Fig. 1- Évolution de la mortalité par cancer- Taux / 100 000 à âge égal (standard monde)

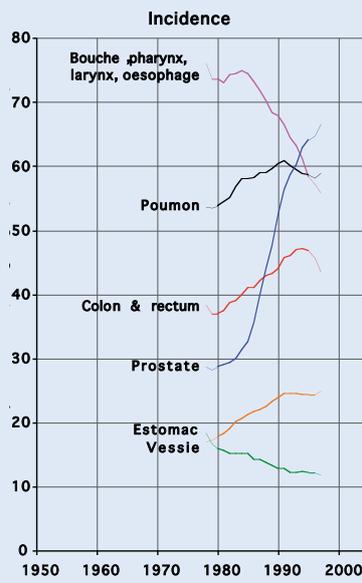


Fig. 2- Incidence et mortalité des principaux cancers chez les hommes.

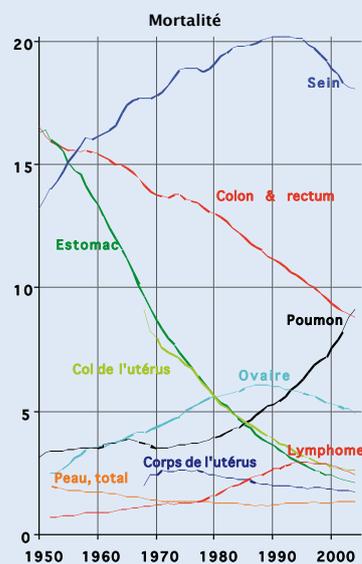
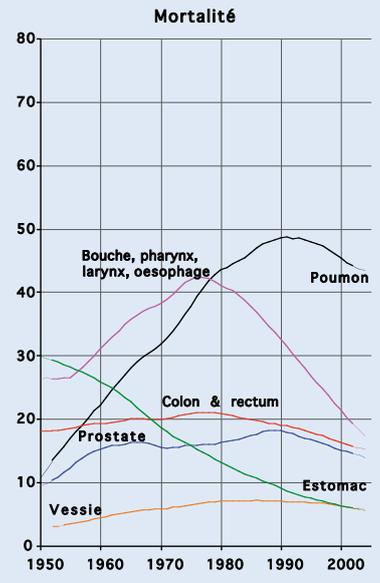


Fig. 3- Incidence et mortalité des principaux cancers chez les femmes (attention les échelles des deux graphiques sont différentes)

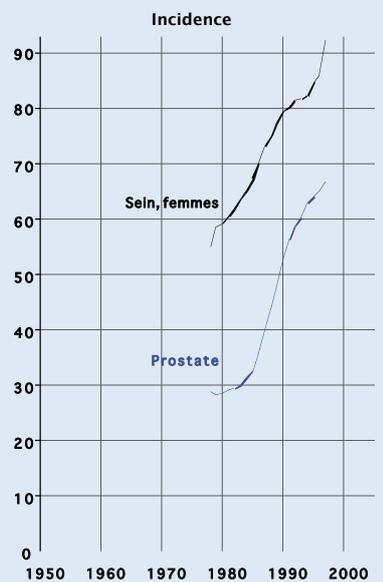


Fig. 4- Évolution de l'incidence et de la mortalité par cancers du sein et de la prostate

sanitaires) ne sont pas cancérogènes chez l'animal et il n'y a pas de données épidémiologiques permettant de les incriminer chez l'homme. Les habitants de Séveso ont été exposés, après la catastrophe, à des quantités élevées de dioxine; 20 ans après aucun excès de cancer n'est constaté. En France, l'Atlas de la santé n'a détecté aucune différence dans la mortalité par maladies respiratoires, y compris les cancers du poumon, entre les habitants des grandes et petites agglomérations, malgré les différences de niveaux de pollution. Le nombre des cancers du poumon chez les femmes n'a pas augmenté de 1950 à 1985, malgré les variations de la pollution atmosphérique.

La mortalité due à l'ensemble des cancers chez les femmes a diminué régulièrement depuis 1950. Les cancers avaient été provoqués entre 1930 et 1935 quand la France était rurale, la circulation automobile faible, l'industrie peu développée et la majorité des produits chimiques incriminés (insecticides) pas encore fabriqués. De plus, les agents suspects (par exemple pour la pollution de l'air) sont en quantité beaucoup plus faible que celles de la fumée du tabac. Le tabagisme passif fait inhaler chaque jour environ 2 mg d'agents cancérogènes, soit 700 mg/an, c'est beaucoup plus que ce que peut apporter la pollution atmosphérique urbaine. Les données biologiques montrent que la concentration a un impact considérable. À dose égale, l'effet mutagène est beaucoup plus petit à faible concentration car la réparation des lésions de l'ADN est moins efficace quand le nombre de lésions simultanément présentes dans le noyau cellulaire augmente. Mais surtout, la mutation tout en étant la première étape de la cancérogenèse n'est pas la plus importante. La seconde étape est celle de la promotion pendant laquelle les descendantes de la cellule initiée prolifèrent sous la stimulation de promoteurs (par exemple l'alcool, les hormones n'ont aucun effet génotoxique) apparaît plus importante. Or, le microenvironnement, qui normalement arrête la prolifération, est désorganisé par de fortes doses de génotoxiques qui tuent de nombreuses cellules et provoque irritation et inflammation. L'existence d'un seuil a été mis en évidence chez l'animal et apparaît plausible chez l'homme.

5. L'effet cancérogène d'agents infectieux (bactéries *helicobacter pylori* pour le cancer de l'estomac, virus pour le cancer du col utérin, certains lymphomes et cancers du foie, certains cancers bucco-pharyngés) est bien établi mais vraisemblablement sous-estimé.

L'analyse de l'évolution de la mortalité par cancer depuis 1950 apporte des renseignements complémentaires. Certes, le nombre de décès dus au cancer a augmenté en France, comme dans tous les pays industrialisés depuis le début du XX^e siècle (en 2002, 278 000 nouveaux cas de cancer et 150 000 décès). Ces chiffres sont nettement supérieurs à ceux de 1950, mais on constate si l'on tient compte :

- de l'augmentation du nombre d'habitants en France,
- et du vieillissement de la population qui aurait dû entraî-

ner une augmentation de la mortalité par cancer de 28 % (puisque la fréquence des cancers augmente rapidement avec l'âge au-delà de 45 ans).

- que chez les femmes la mortalité a diminué de 24 % depuis 1950. Chez l'homme, elle a augmenté de 47 % de 1950 à 1985, puis a diminué de 21 % de 1990 à 2004 en raison de l'évolution de la consommation de tabac et d'alcool, comme le montre l'évolution des différents types de cancer.

L'accroissement de l'incidence de certains cancers depuis 1980 est dû, pour la plus grande part, au perfectionnement des méthodes diagnostiques (figures 2 et 3) et au dépistage. Aujourd'hui, on détecte des petits cancers dont une proportion notable aurait pu rester méconnue. Par exemple, les autopsies effectuées après accident découvrent plus de cancers de la prostate et du sein, qu'il n'en apparaît au cours de l'existence, ce qui montre que beaucoup de petits cancers n'évoluent pas.

Le cancer du sein est la principale cause de mortalité par cancer chez la femme Celle-ci a augmenté de 1950 à 1990 et diminue depuis 1995 (en raison du progrès des soins), alors l'incidence a doublé en 25 ans (figure 3) notamment à cause de la mammographie qui découvre des cancers non évolutifs. Mais interviennent aussi, le surpoids, les traitements hormonaux de substitution de la ménopause qui semblent être à l'origine en France d'environ 10 % des cancers du sein et ne devraient être prescrits que quand ils sont nécessaires, l'âge lors de la première grossesse, (en 1950, 20 % des femmes avaient leur premier enfant après 30 ans, en 2000 ce pourcentage était de 41 %) ; on attribue à cette variation une augmentation de 7 % de l'incidence des cancers du sein.

Cet exemple montre qu'on peut identifier les causes des variations de l'incidence et de la mortalité, ce qui a été fait pour la quasi-totalité des cancers, à l'exception des cancers du testicule et des lymphomes non Hodgkiniens (LNH) pour lesquels les recherches continuent, mais rien n'indique qu'ils pourraient être dus à des facteurs environnementaux.

Au total, avec quelques changements du mode de vie (ne plus fumer, boire modérément, surveiller son poids, faire régulièrement de l'exercice, limiter l'exposition au soleil, limiter l'administration d'hormones à ce qui est médicalement utile), on pourrait réduire d'un tiers la mortalité par cancer. Un autre intérêt du rapport est de souligner les limites de nos connaissances. Nous n'identifions une cause extrinsèque que dans 35 % des cancers. Bien qu'il soit plausible que de nombreux cancers puissent se développer sans intervention de facteurs extrinsèques, il faut poursuivre les recherches car on sous-estime peut-être le rôle des agents infectieux et de la nutrition. Nos connaissances sur la cancérogenèse restent insuffisantes, malgré les progrès gigantesques effectués depuis quinze ans ■

Les grandes avancées scientifiques françaises présentées par leurs auteurs

Depuis 2006, l'Académie des sciences accueille de jeunes chercheurs, ayant contribué aux grandes avancées scientifiques françaises, à présenter leurs résultats en séance publique dans la Grande salle des séances de l'Institut de France.

Cette initiative, conçue par Pascale Cossart, Membre de l'Académie des sciences, a deux buts principaux :

- créer ou réactiver des échanges entre l'ensemble de la communauté scientifique française et l'Académie des sciences et renforcer ainsi la place et le rôle de celle-ci dans le paysage scientifique français ;
- valoriser de jeunes chercheurs engagés dans une carrière de recherche et leur donner une occasion originale de se faire connaître.

Six auteurs d'avancées scientifiques publiées récemment dans des revues scientifiques de très haut niveau interviennent lors d'une séance publique exceptionnelle d'une durée de trois heures qui leur est consacrée. La présentation de chacune des avancées comprend :

- une introduction par le directeur des recherches qui

replaces l'avancée dans un contexte général ;

- l'exposé de ses résultats par le jeune chercheur, premier auteur de la publication ;
- un débat.

Les présentations sont filmées et rediffusées sur le site Internet de l'Académie des sciences.

Les orateurs sont choisis après examen de leurs dossiers, par un jury réunissant une douzaine de Membres de l'Académie.

En 2006, une séance avait réuni six chercheurs en biologie.

En 2007, deux séances ont été organisées, l'une de nouveau en biologie (57 dossiers de candidatures) et la seconde en sciences de l'information (27 dossiers de candidatures).

En 2008, une séance est organisée pour les biologistes le 10 juin.

Le formulaire de candidature sera téléchargeable à partir de février 2008 sur le site Internet de l'Académie des sciences ■

Les défis scientifiques du XXI^e siècle

Cycle de conférences organisé par le vice-président de l'Académie. Les conférences ont lieu un mardi de 14 h 30 à 16 h 15 en Grande salle des séances de l'Institut de France. Elles durent d'une heure à 1 heure et sont suivies d'un débat. L'entrée est libre.

Les vidéos de ces conférences sont disponibles sur le site Internet de l'Académie des sciences.

Liste des conférences pour l'année 2007-2008

27 novembre 2007 Une révolution en Europe : le Conseil européen de la recherche" par Fotis Kafatos, de l'Académie des sciences.

18 décembre 2007 De nouveaux antipaludiques

facilement disponibles : est-ce possible ? par Bernard Meunier, de l'Académie des sciences.

15 janvier 2008 Comprendre les effets du changement climatique sur les êtres vivants : la question des mécanismes en jeu par Henri Décamps, de l'Académie des sciences.

11 mars 2008 La combustion face aux défis de l'énergie et de l'environnement : des questions brûlantes par Sébastien Candel, de l'Académie des sciences.

8 avril 2008 Comprendre les messages échangés entre les tissus adipeux et le cerveau : une solution contre la pandémie des obésités ? par Daniel Ricquier, de l'Académie des sciences ■

Bilan d'un mandat (2003-2007) L'Académie des sciences de l'Institut de France et le monde académique

Par **André Capron**

Membre de l'Académie des sciences, Délégué aux relations internationales de l'Académie des sciences, directeur honoraire de l'institut Pasteur de Lille.

Les actions de la Délégation se sont inscrites dans une double stratégie, celle de conforter, par le développement d'actions concertées le partenariat de notre académie avec les grandes académies internationales et celle de promouvoir, au travers de programmes finalisés internationaux, dans les pays en développement et dans les pays en émergence, l'expression de nouvelles potentialités scientifiques et la création de jeunes académies.

Une série importante de rencontres a marqué les quatre dernières années.

1. Une réunion organisée à Washington (USA) par la National Academy of Sciences (NAS) en avril 2004 a permis d'analyser les perspectives d'action des 2 académies en faveur de la promotion de la recherche et de la formation dans les pays en développement.
2. Une conférence commune consacrée à la "Politique de recherche et d'innovation : priorités du XXI^e siècle" a accueilli à Paris en mai 2004 une importante délégation de la Royal Society du Canada.
3. Le Centenaire de l'entente cordiale a donné l'opportunité particulière d'accueillir en octobre 2005 le Bureau de la Royal Society de Londres et d'organiser un colloque sur le "Rôle des Académies dans l'organisation et l'animation de l'espace de recherche européen".
4. Le premier anniversaire de l'élargissement de l'Union européenne en mai 2005 a permis, à l'initiative de notre académie, de réunir à Paris les Présidents, Vice-Présidents et Délégués aux relations internationales des académies des pays nouveaux

membres de l'Union européenne auxquels s'étaient joints des représentants de Malte et de Chypre. Cette rencontre a connu un vif succès et un grand retentissement et a permis de jeter les bases de la création de réseaux interacadémiques régionaux (Europe du Nord, Europe centrale, Euroméditerranéen) que nous détaillerons plus loin.

5. Une importante délégation de l'Académie des sciences du Brésil a été reçue à l'occasion de l'organisation d'un colloque franco-brésilien (12 séminaires), au cours de la séance académique du 11 octobre 2005.
6. L'Académie royale de Hollande a été officiellement reçue par notre académie en mars 2007.
7. L'Académie des sciences d'Afrique du Sud a été reçue en juin 2007. Cette réunion a permis de définir les grands axes d'une collaboration scientifique et la rédaction d'un protocole d'accord.

Parallèlement, des contacts permanents ont été développés avec l'Académie Leopoldina de la République d'Allemagne, l'Académie des sciences de Pologne, l'Académie dei Lincei d'Italie, l'Académie royale du Maroc et l'Académie des sciences du Sénégal.

Dans le cadre de ses relations multi-latérales, une action forte a été entreprise par la DRI pour renforcer la présence de l'Académie au sein des Institutions européennes qu'il s'agisse des institutions de l'Union ou des organismes interacadémiques européens les plus représentatifs tels Allea (Alliance of European Academies) ou EASAC (European Academies Science Advisory Council).

La Délégation a été par ailleurs étroitement associée, à l'initiative de la Royal Society, concernant la préparation par les Académies des réunions du G8. A ce titre, le Délégué a été chargé de la préparation et de la rédaction des recommandations lors de la réunion du G8 en juillet 2005 à Londres et a participé à la réunion interacadémique du G8 en juin 2006 à Moscou.

Enfin, la DRI a pris part aux activités de l'IAP et a notamment contribué aux travaux du Bureau exécutif à Mexico (2003), Paris (2004), Shanghai (2006).

Nouvelles initiatives et grands programmes

De multiples initiatives ont marqué les activités de la DRI durant la période 2003 – 2007. On en procédera à l'analyse détaillée dans les rapports d'activités présentés par les 3 chargés de mission de la DRI : Jacques Fröchen, adjoint au délégué, Michel Cohen-Solal, chargé des questions européennes et des pays en émergence, Jean-Marie Guastavino, chargé des universités interacadémiques et des Écoles d'été.

Nous souhaiterions résumer brièvement ici les initiatives les plus significatives qui ont conduit à l'ouverture de nouveaux programmes :

1. Création d'un réseau interacadémique Europe centrale – Europe orientale - Université d'été interacadémique.
2. Création du Groupe interacadémique pour le développement (GID).
3. Création du Réseau EMAN (Euroméditerranéan Academy Network).
4. Création du programme international WHEP (Women Health Education Program).
5. Création de la Conférence des DRIs.
6. Programmation des objectifs du CARIST.

1 – Mise en place de réseaux interacadémiques européens

Faisant suite à la réunion interacadémique des pays nouveaux membres de l'Union européenne en mai 2005, de multiples contacts ont été développés avec les académies concernées pour répondre aux souhaits exprimés de voir se poursuivre une politique d'animation scientifique interacadémique au sein de l'Espace européen de Recherche. Grâce à une collaboration permanente avec l'Académie des sciences de Pologne et l'Académie Leopoldina d'Allemagne, un premier réseau des Académies d'Europe Centrale et Orientale a pu être constitué. Il comprend, autour de l'Académie des sciences de France, les académies de : Autriche, Bulgarie, République Tchèque, Allemagne, Hongrie, Pologne, Roumanie, Slovaquie, Serbie, Slovénie...

Les premières réalisations de ce réseau concernent le lancement des Universités interacadémiques d'été (4 académies participantes) dont la première a été tenue en Serbie sur le thème "Environnement et énergies renouvelables". Cette première université a rassemblé 40 jeunes chercheurs et 20 enseignants de haut niveau dont plusieurs membres des académies représentant au total 12 pays d'Europe occidentale et orientale. Cette rencontre a constitué un succès éclatant et a été prolongée en 2007 sur le thème du "Contrôle de la qualité de l'eau : des concepts à l'action" (voir annexe 1a).

Par ailleurs, a été organisée en novembre 2007 (21-23) une conférence inter académique regroupant 10 aca-

démies européennes sur le thème : "Nanosciences and nanotechnology : risks and benefits for health and environment". Cette importante réunion, qui vise à permettre une réflexion cohérente des académies sur l'impact sociétal des nanotechnologies, a été conjointement organisée par l'Académie des sciences de France et le Centre scientifique de l'Académie des sciences de Pologne à Paris.

2 – Création d'un Groupe interacadémique pour le développement (GID)

Répondant au vu souvent exprimé par les tutelles ministérielles de voir se développer sur les grands enjeux scientifiques tels ceux du développement une approche coordonnée des institutions académiques, l'Académie des sciences, par sa Délégation aux relations internationales, a pris l'initiative de créer un Groupe interacadémique pour le développement. Regroupant dans un premier temps l'Académie des sciences, l'Académie des sciences morales et politiques, l'Académie nationale de médecine, l'Académie d'agriculture et l'Académie des technologies, le GID a accueilli, en raison de l'intérêt manifeste : les académies d'Italie, du Maroc, du Sénégal, de Tunisie et se propose d'associer en France : l'Académie de vétérinaire et l'Académie de pharmacie et en Europe : l'Académie royale d'Espagne, l'Académie du Portugal et l'Académie d'Athènes.

S'appuyant sur le caractère interdisciplinaire porté par l'expertise scientifique de haut niveau de chacune des académies, le GID s'est donné comme premier objectif de contribuer à un niveau d'excellence la promotion scientifique et technique des cadres des pays en émergence.

Un grand programme Sciences, Métiers, Société reposant sur la mise en place de cycles internationaux de formation a été mis en place sur les grands thèmes du développement : énergie, eau, économie et santé publique, alimentation, nutrition, etc. Le premier de ces ateliers internationaux a eu lieu à Rabat, organisé par l'Université Mohammed V et le soutien de l'Académie des sciences Hassan II et l'Académie des technologies de France.

Le succès remporté par la création du GID et l'intérêt suscité par ses initiatives a conduit à adjoindre au premier objectif Sciences, Métiers et Société, une initiative plus large visant au développement de l'identité scientifique de la région euro méditerranéenne.

3 – Le réseau EMAN et l'espace scientifique euro méditerranéen

Les potentialités révélées par la création du GID ont permis en particulier d'éclairer à la fois le rôle essentiel de la science dans le dialogue des cultures. Moteur essentiel du développement, la Science est un vecteur permanent du

progrès social et économique, en l'associant étroitement aux spécificités sociales et culturelles des pays et des régions où il s'applique.

Afin de répondre à ces objectifs et prolongeant et élargissant les objectifs du GID, nous avons souhaité promouvoir la création d'un espace scientifique euro méditerranéen associant les académies du Nord et du Sud de la méditerranée dans un réseau interacadémique (EMAN).

Ce réseau, en cours de constitution, a trouvé naturellement son expression opérationnelle dans le cadre des priorités accordées par le Chef de l'État au renforcement des potentiels de développement de la région euro méditerranéenne et la création de l'Union méditerranéenne.

Les missions générales que s'assigne le réseau sont de :

1. Promouvoir et renforcer l'identité et l'excellence scientifique de la région méditerranéenne.
2. Utiliser la science comme un vecteur permanent du développement et du progrès social et économique.
3. Jouer dans cet espace un rôle essentiel de passerelle vers le Maghreb, le Moyen Orient et le Continent africain en renforçant sans aucune exclusive culturelle et politique, par l'animation d'un réseau, la collaboration et les échanges permanents dans la région méditerranéenne.

Ce projet (site E M A N. net) bénéficie du parrainage et du soutien de l'UNESCO, de la collaboration de l'Agence française pour le développement (AFD), de l'Institut du Monde arabe, de la Fondation Veolia et du soutien exprimé de la Présidence de la République.

L'un des premiers succès importants de cette initiative a été la création officielle en juillet 2007 de l'Académie des Sciences du Liban, créée à l'initiative et avec l'aide de l'Académie des sciences de France et qui vient renforcer au machrek la qualité du réseau scientifique euro méditerranéen.

L'un des objectifs, à court terme, est la réalisation, à l'occasion de la réunion à Marseille des Chefs d'État de la Région méditerranéenne en juin 2008, d'une conférence scientifique consacrée à l'eau et aux ressources maritimes de la méditerranée. Cette conférence, qui constituerait une opportunité très favorable d'accueillir les représentants des académies du pourtour méditerranéen, serait organisée sous le parrainage de l'UNESCO par un consortium constitué avec le GID, le MAE, l'Agence française pour le développement (AFD), l'Ifremer, l'IRD, l'Institut du Monde arabe et la Fondation Veolia.

Ce projet doit être validé dans les prochains jours par la Présidence de la République.

Chacun s'accorde à considérer que la mortalité infantile liée aux maladies infectieuses, à la pathologie périnatale et à la malnutrition représente, par son ampleur dans les pays en développement (17 millions de morts annuels), un fléau inacceptable au XXI^e siècle.

De nombreuses études ont montré le rôle déterminant de l'éducation des femmes dans le succès de la pré-

vention des pathologies infantiles et la réduction de la mortalité chez les enfants de moins de 5 ans.

De multiples actions ont déjà été engagées dans le monde en faveur de l'éducation des femmes à la santé. On doit constater toutefois que la plupart de ces programmes n'ont eu qu'un succès partiel et un impact limité en raison de 3 facteurs principaux :

- absence de durabilité des stratégies d'éducation,
- absence d'appropriation par les communautés,
- absence d'évaluation.

Grâce à l'expérience de pilotage scientifique d'un programme national visant à la réduction de la pathologie foeto-maternelle (GRAMM), la délégation a souhaité développer un programme international d'éducation des femmes à la santé (WHEP). Présenté officiellement en décembre 2003 lors de l'assemblée mondiale de l'IAP (Inter Academy Panel) qui regroupe 94 académies dans le Monde, ce programme a vu le jour en juin 2004 et reçu le soutien de 24 académies internationales.

Entre 2004 et 2007, les principales réalisations de WHEP ont concerné :

1. La tenue de quatre colloques scientifiques internationaux.
2. Le lancement d'un projet pilote "La santé au fil de l'eau dans le bassin du fleuve Sénégal" en relation avec la Banque mondiale.
3. L'ouverture d'une plate forme internet interactive coordonnant les actions de WHEP. Le site WHEP info, structure entièrement bilingue, a reçu plus de 20 000 visiteurs depuis novembre 2006 cependant que 120 000 fichiers ont été téléchargés.
4. WHEP a assuré la promotion des échanges scientifiques pédagogiques et techniques entre académies, organisations internationales et acteurs de terrain.

Les objectifs de WHEP visent :

- au développement de nouveaux outils de communication (réseaux information),
- à la création de réseaux Écoles et Familles,
- à l'intégration des stratégies éducatives dans les politiques de santé publique.

Désormais, soutenu par les autorités sénégalaises et étendu à d'autres pays (Maroc, Philippines), le WHEP, ainsi qu'en témoigne le succès de son site web, a acquis une visibilité internationale.

5 – La Conférence des DRIs

Afin d'améliorer la connaissance réciproque des actions entreprises par les divers organismes de recherche et de viser à une meilleure coordination sur le terrain des programmes de coopération internationale, l'Académie des sciences a pris l'initiative de créer une conférence des DRIs rassemblant l'ensemble des Directeurs ou Délégués aux relations internationales des organismes de recherche.

Créée en novembre 2006, cette conférence s'est réunie à 3 reprises sur les thèmes suivants :

1. Coopération scientifique avec les pays d'Europe centrale et orientale (PECo) – février 2007.
2. Coopération scientifique avec la Chine – juin 2007.
3. Coopération avec les Pays en développement – novembre 2007.

Les Conférences, très suivies par l'ensemble des organismes et en présences des directions des ministères concernés (ministère de la Recherche et Affaires étrangères) ont suscité un intérêt unanime.

6 – Actions de coordination nationale

Par son indépendance, son prestige et la diversité des expertises qu'elle représente, l'Académie des sciences constitue un lieu naturel de rencontres et d'échanges avec l'ensemble des organismes de recherche et les divers départements ministériels.

Le Comité académique des relations internationales scientifiques et techniques (CARIST)

Ce comité, placé sous l'autorité du Président de l'Académie et animé par la Délégation aux relations internationales a connu un rôle accru de concertation et de coordination inter organismes des actions internationales. 8 réunions du CARIST ont été au total organisées au cours des 4 dernières années (voir programmes en annexes). Fréquentées assidûment à un haut niveau par les représentants des organismes et des ministères, les diverses réunions ont permis l'analyse politique internationale : mobilité des chercheurs, attractivité internationale, nouveaux outils de diffusion du savoir et plus récemment 2 séances consacrées à l'Espace de recherche européen et à la future présidence française de l'Union (2^e semestre 2008).

Conclusion

Au terme de ce rapide inventaire des actions menées par la Délégation aux relations internationales entre juillet 2003 et décembre 2007, il est possible au sein d'activités qui furent multiples ainsi qu'en témoigne l'agenda de la DRI tenu pendant ces 4 années, d'identifier quelques initiatives marquantes qui témoignent, au-delà des mécanismes habituels de relations bi ou multilatérales, de l'évolution de notre Délégation.

1. La création du Groupe interacadémique pour le développement.
2. La création de réseaux interacadémiques européen et d'universités d'été.
3. La création d'un réseau Euroméditerranéen EMAN et du projet de l'espace scientifique de l'Euroméditerranéen. Création de l'Académie des Sciences du Liban.

4. Le programme international WHEP d'éducation des femmes à la santé.

5. La conférence des Délégués aux relations internationales.

Il nous apparaît que l'ensemble de ces actions jointes aux échanges académiques traditionnels, confère désormais à notre Académie une dimension internationale accrue notamment dans une dimension essentielle de la science, celle de ses rapports avec la Société et le progrès humain ■

Guy Laval, nouveau Délégué aux relations internationales

Guy Laval, physicien, a été élu Délégué aux relations internationales de l'Académie en juin 2007 et a pris ses fonctions le 1^{er} janvier 2008 pour quatre ans. Il succède à André Capron, biologiste, qui a considérablement développé ces relations, en particulier avec les pays en développement.

Le Délégué assure le suivi des relations internationales de l'Académie, notamment en préparant les rencontres avec les Académies étrangères et en négociant les accords de coopération avec elles, ainsi qu'en veillant à la représentation de l'Académie dans diverses instances inter-académiques.

Guy Laval est Directeur de recherche émérite au Centre national de la recherche scientifique (CNRS) où il a effectué l'essentiel de ses travaux scientifiques. Il a également enseigné la physique de 1970 à 1989, comme maître de conférence et comme professeur à l'École Polytechnique. Dans cet établissement, il a dirigé le Centre de physique théorique de 1985 à 1995, et a assuré les fonctions de Directeur général adjoint pour l'enseignement en 1995-1996. Élu correspondant de l'Académie des sciences en 1997, il en est Membre depuis 2003.

Les travaux scientifiques de Guy Laval ont concerné essentiellement la physique des plasmas chauds dans les domaines de la fusion nucléaire, de l'astrophysique et de l'environnement spatial de la terre. Par nature, ces domaines de recherches demandent une collaboration internationale de tous les instants et constituent une bonne préparation aux activités d'un Délégué aux relations internationales ■

Grande médaille 2007 : Tomas Hökfelt

Professeur d'histologie et de biologie cellulaire au Karolinska Institute de Stockholm, Tomas Hökfelt est un neurobiologiste de notoriété mondiale. Pionnier de l'histochimie cérébrale, en particulier dans le domaine des neuropeptides, il a apporté une contribution majeure à la compréhension de la neurotransmission concernant la douleur et la dépression. En démontrant la coexistence de plusieurs neurotransmetteurs dans un même neurone, Hökfelt a révolutionné nos vues sur la transmission synaptique dans le cerveau et ses travaux sont à l'origine du développement de nouveaux médicaments neuropeptidiques ■



Cycles biogéochimiques et écosystèmes continentaux

Rapport RST
n° 27

Sous la direction de Georges Pédro
Éditions EDP Sciences

Depuis deux siècles, la poussée démographique et les développements industriels et agricoles provoquent un profond déséquilibre des cycles biogéochimiques de la planète.

La vie est dépendante d'un grand nombre des éléments de la classification périodique. Certaines parties du cycle biogéochimique de ces éléments ont été explorées et une connaissance approfondie des mécanismes qui les font intervenir dans certains processus biologiques a été acquise : comprendre comment les éléments chimiques voyagent d'un règne à un autre permettra de déterminer une nouvelle approche de la nutrition, de la santé, de l'environnement et du climat.

L'Académie des sciences a mené une réflexion multidisciplinaire pour établir l'état de l'art en ce domaine, tant du point de vue des connaissances fondamentales que de celui de la recherche et de ses structures.

Ce rapport décrit plusieurs problèmes biogéochimiques en fonction de leurs impacts actuels sur la société : production de CO₂ en relation avec l'évolution du climat, pollution d'origine industrielle et agricole en relation avec la dégradation des sols et des eaux, en incluant les conséquences d'ordre toxicologique, les phénomènes de phytoremédiation, etc.

L'étude est concentrée sur la biosphère fonctionnelle, celle où se développent des êtres vivants au sein d'écosystèmes bien déterminés mais variés. La biosphère considérée ici est avant tout superficielle, continentale et, à moindre titre, océanique. Cela implique de prendre en compte tout ce qui a trait à la matière organique, présente dans les sols et les sédiments, qui constituent l'interface géochimique entre l'inerte et le vivant et où les micro-organismes jouent un rôle prépondérant.

Le rapport s'articule en une première approche par éléments, puis une approche des milieux, qu'ils soient peu ou fortement anthropisés. La troisième partie traite des secteurs de recherche à développer ; elle est complétée par une argumentation en faveur de la modélisation et du développement de réseaux d'observation de longue durée.

Cette étude est justifiée par la nature d'un sujet très vaste, bien qu'ici volontairement délimité. Elle apporte un éclairage scientifique argumenté sur un sous-ensemble de la question générale de la connaissance de l'environnement et du cadre de toute vie sur la Planète ■

L'Académie des sciences dans l'histoire des expéditions vers les pôles

A l'occasion de l'Année polaire internationale 2007-2008, l'Académie des sciences a voulu faire revivre le souvenir de ceux de ses membres qui ont participé à des voyages vers les pôles et rappeler son rôle en tant qu'institution dans des expéditions polaires.

“L'Académie des sciences dans l'histoire des expéditions vers les pôles” remet au jour le souvenir de savants audacieux, relance l'intérêt pour leurs actions parfois héroïques et pour la description de leurs voyages, de leurs

découvertes et de leur œuvre scientifique. Les textes scientifiques cités dans ce travail proviennent des Histoires et Mémoires de l'Académie royale, puis, après 1835, des Comptes Rendus de l'Académie des sciences.

Cette étude comporte trois rubriques principales : la vie et l'œuvre des Académiciens voyageurs français et étrangers, des carnets de voyage illustrés et une approche d'enjeux scientifiques et sociétaux actuels avec des textes de Susan Solomon, Claude Lorius et Yvon Le Maho ■

<http://www.academie-sciences.fr/actualites/nouvelles.htm>

L'Académie des sciences dans l'histoire des expéditions vers les pôles



Expédition scientifique du Nord (1836, 1838-1839)



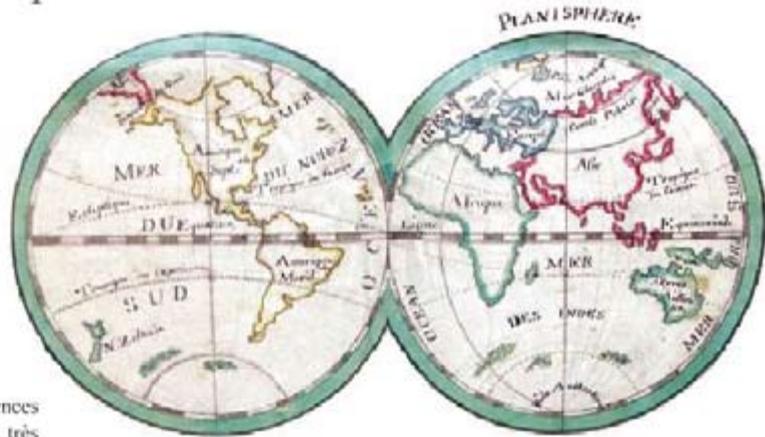
Arrivée de la corvette la Recherche au Groenland dans : Paul Gaimard, *Voyage en Islande et au Groenland exécuté pendant les années 1835 et 1836 sur la corvette la Recherche dans le but de découvrir les traces de la Lilloise*. Atlas, Paris, 1838-1852. © Bibliothèque de l'Institut de France

[Page précédente](#)

[Page suivante](#)



L'Académie des sciences dans l'histoire des expéditions vers les pôles



"Il est un devoir de l'Académie des sciences auquel elle a été toujours, dès sa fondation, très fidèlement attachée, c'est l'organisation des missions lointaines jugées par elle utiles au progrès de nos connaissances (...)"

Georges Perrier, discours lors de la séance publique des cinq Académies de l'Institut de France, 1932.

Dans le cadre de l'Année polaire internationale 2007-2008,...

[Lire la suite](#)

Papiers des géographes Guillaume De L'Isle (1675-1726), Philippe Buache (1706-1773) et Jean-Nicolas Buache de La Neuville (1741-1825), Membres de l'Académie des sciences. Carte extraite du manuscrit 2310. Bibliothèque de l'Institut de France

[Cliquer sur le globe ou...](#)

[Les académiciens voyageurs](#)

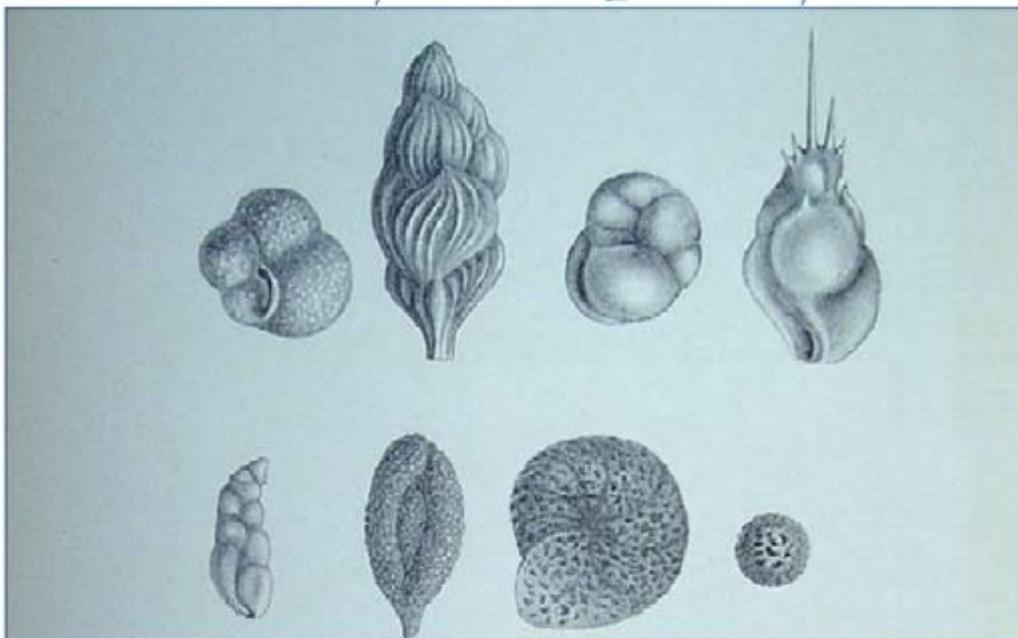
[Les carnets de voyage](#)

[Trois enjeux actuels](#)

L'Académie des sciences dans l'histoire des expéditions vers les pôles



Expédition du Pourquoi-Pas ? au pôle Sud (1908-1910)



Foraminifères dans : *Deuxième expédition scientifique dans l'antarctique (1908-1910) commandée par le Dr. Chareot.*

Sciences naturelles : documents scientifiques - Foraminifères par E. Fauret-Fremiet, Paris.

© Bibliothèque de l'Institut de France

[Page précédente](#)

[Page suivante](#)