

Laurent Labeyrie

CV « long » pour les collègues argonautes

## **Présentation synthétique de mes travaux de recherche:**

Mes recherches ont porté sur l'étude des mécanismes liés au rôle de l'Océan dans les changements climatiques passés et leurs évolutions possibles pour la période future, à partir de l'analyse des oscillations rapides enregistrées dans les sédiments marins des différents océans au cours des dernières centaines de milliers d'années. Les outils nécessaires à ce type de reconstruction sont basés sur la mesure de toute une série de paramètres calibrés à partir de l'étude de l'océan actuel, en particulier les squelettes carbonatés fossiles de différentes espèces de foraminifères, organismes microscopiques du plancton, vivant dans la colonne d'eau ou en surface des sédiments. Chaque espèce a un habitat connu, qui dépend des conditions hydrologiques et de leur besoins nutritifs. L'analyse micropaléontologique, mais aussi la géochimie de leur squelette (teneur en éléments traces) et leur composition isotopique (rapports  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  et  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ), nous informe sur la température, la salinité et la teneur en éléments nutritifs de leur eau de croissance. La période correspondante peut être connue précisément, en particulier par la teneur en  $^{14}\text{C}$  pour les derniers 40 000 ans. J'ai participé très activement à la mise au point de nombre des outils de base pour les reconstitutions quantitatives des changements climatiques passés et l'étude des mécanismes associés. J'ai montré par exemple que la circulation océanique, qui permet à l'Europe d'avoir des hivers si doux comparés à ceux du Canada, avait subi dans les dernières dizaines de milliers d'années des changements considérables et très rapides, avec des conséquences climatiques de grande amplitude autour de l'Atlantique nord. Ces phénomènes sont liés à des oscillations dans la distribution des précipitations et salinités aux hautes latitudes, qui modulent la densité des eaux froides, et leur permettent de plonger plus ou moins facilement dans l'océan profond, avant d'être reprises dans la circulation thermohaline globale. Cette variabilité rapide est liée à des instabilités propres aux composantes climatiques terrestres (champs de salinité dans l'océan profond, débâcles catastrophiques des calottes glaciaires).

Mes recherches se sont naturellement insérées dans les priorités nationales et internationales visant à une meilleure compréhension des mécanismes de la variabilité actuelle et future du climat suite à l'augmentation dans l'atmosphère de la teneur en gaz à effet de serre. D'abord expérimentateur et analyste comme Chargé, puis Directeur de recherche au CNRS, j'ai été amené progressivement à consacrer de plus en plus de temps au développement de cette discipline d'abord en France, puis au niveau international, sans abandonner mes activités de recherche. J'ai ainsi participé à de nombreux conseils scientifiques de programmes, à l'INSU, à l'IFREMER et à l'Institut Polaire (IFRTP/IPEV), puis au programme International d'Etude du Changement Global (PIGB). Une de mes grandes réussites personnelles a été la création, puis le développement, du programme international IMAGES, la composante marine du programme Past Global Change du PIGB (Programme International Geosphere-Biosphere). Ce programme a associé 26 nations différentes. Une à deux campagnes océanographiques internationales par an sur le navire français Marion Dufresne ont été organisées, sur tous les océans du globe, pour récupérer les séries sédimentaires nécessaires à nos études. Avec 200 publications, dont 140 dans des revues internationales de haut niveau, 30 thèses dirigées ou co-dirigées, et

des centaines de conférence invitées, mon aptitude a été, je pense, bien reconnue tant en France qu'à l'étranger (1998 Academia Europae, 2003 « fellow » de l'American Geophysical Union », 2004 éditeur du journal *Geophysics, Geochemistry and Geosystems* de l'AGU. 2002-2008 vice-président du SCOR (Comité scientifique interdisciplinaire de l'ICSU, chargé de la recherche Océanographique).

## CURRICULUM VITAE

### **Nom et Titre**

**Laurent LABEYRIE,**

Docteur es Sciences, Membre honoraire de l'Institut Universitaire de France,  
Professeur Emérite à l'Université Versailles-St Quentin (UVSQ) (jusqu'en Septembre 2012)

**Recherche (jusqu'en Septembre 2012)** Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement, Gif/Yvette cedex France

**Date et lieu de Naissance :** 1 mai 1946 à Paris **Nationalité :** Française

**Ens. Supérieur** Doctorat d'Etat -UPS-Orsay Février 1979

**Carrière :** Entré au CNRS au CFR le 1.1.1972

Directeur de Recherche CNRS 1985-1993

Professeur de 1ere classe, Université Paris XI-Orsay le 1.1 94

Professeur, Université de Versailles-St Quentin, 1 Février 2004 à 2009

Responsable du module d'enseignement "Climat et Océan" à l'Ecole Nationale Supérieure des Techniques avancées (ENSTA) et du module paléoclimats à l'ENS-Rue d'Ulm  
Membre Senior Institut Universitaire de France 2004-2008

**2008-2014 :** Elu au Conseil Municipal de la ville d'Arzon, adjoint délégué à l'environnement, au Développement durable, aux nouvelles techniques de communication (NTIC), et aux moyens de transport.

### **Distinctions scientifiques:**

Médaille de bronze du CNRS en 1979 ; Prix de la fondation Philip Morris 1992 en Climatologie  
Elu Membre de l'Academia Europa d'1998 Nommé Fellow de l'American Geophysical Union 2003  
Prix Hans Oeschger European Geophysical Union et Louis D. de l'Institut, Académie des Sciences 2004  
Médaille Menley-Bendall Fondation Albert de Monaco 2004

Lauréat de la liste des Scientifiques les plus cités " Highly Cited Scientist " ISI 2002-2012  
Review editor Chapitre Océans GIEC (reçu collectivement le Prix Nobel de la Paix 2008)

### **Responsabilités scientifiques nationales et internationales:**

-Vice président du Comité International pour la Recherche Océanographique (Scientific Committee on Ocean Research) (2002-2008).

Initiateur, Directeur puis Président du Programme international de Recherche Océanographiques IMAGES (International Marine Global Change Study), la composante marine du programme Past Global Change du PIGB (Programme International Geosphere-Biosphere), qui a associé les 20 pays et des centaines de chercheurs développant des l'études de paléocéanographie

### **Responsabilités administratives et d'enseignement:**

Co-responsable du domaine de Masters Sciences de l'Environnement, du Territoire et de l'Economie (de la création 2004 à 2008) à l'UVSQ

### **Activités professionnelles autres**

-Ancien Editeur du journal *G-cubed (Geochemistry, Geophysics, Geosystems)* et Editeur associé des journaux *Quaternary Science Review*, et *Paleoceanography*

### **Direction de travaux de recherche**

**Animation scientifique :** Responsable de l'équipe Paléocéanographie du LSCE jusqu'en 2002 (20 personnes, 14 permanents).

Responsable Français des programmes Européens CESOP et PACLIVA  
Coordinateur pour l'Océan du programme PNEDC VAGALAM (Variabilité climatique glaciaire)  
**Plus de 215 Campagnes océanographiques autour du monde**

**Domaine principal de recherche:**

Evolution du climat et de la circulation océanique au cours des dernières centaines de milliers d'années: transferts de chaleur et cycle du carbone dans l'Océan et l'atmosphère. Développement de méthodes isotopiques quantitatives et modélisation. Applications à l'étude des impacts des changements climatiques.

Plus de 200 publications scientifiques, dont plus de la moitié dans des revues internationales de haut niveau (plus de 15 000 citations sur Google Scholar)

**Quelques publications parmi les plus citées (dernière mise à jour 2009):**

Correlations between climate records from North Atlantic sediments and Greenland ice...G.Bond, S Johnsen, J McManus, L Labeyrie... - Nature, 1993 - Cité 1470 fois -

Evidence for massive discharges of icebergs into the North Atlantic ocean during the last glacial period G Bond, H Heinrich, W Broecker, L Labeyrie... Nature - 1992 - Cité 973 fois

Macintosh program performs time-series analysis D Paillard, L Labeyrie... - Eos Transactions, 1996 - Cité 797 fois

Deepwater source variations during the last climatic cycle and their impact on the global deepwater circulation ..., NJ Shackleton, RG Fairbanks, L Labeyrie...Paleoceanography 1988 cité 642 fois

The astronomical theory of climate and the age of the Brunhes-Matuyama magnetic reversal FC Bassinot, LD Labeyrie, E Vincent... - Earth and Planetary ..., 1994 Cité 708 fois -

Sea-level and deep water temperature changes derived from benthic foraminifera isotopic records C Waelbroeck, L Labeyrie, E Michel... - Quaternary Science ..., 2002 -Cité 548 fois -

Changes in east Atlantic deepwater circulation over the last 30,000 years: Eight time slice reconstructions ..., SJA Jung, JC Duplessy, L Labeyrie... - Paleoceanography 1994 - cité 382 fois

Changes in the distribution of  $\delta^{13}C$  of deep water  $\Sigma CO_2$  between the last glaciation and the Holocene WB Curry, JC Duplessy, LD Labeyrie... - Paleoceanography, 1988 Cité 341 fois -

Variations in mode of formation and temperature of oceanic deep waters over the past 125,000 years LD Labeyrie, JC Duplessy... - Nature, 1987 Cité 325 fois -

Patterns of ice-rafted detritus in the glacial North Atlantic (40–55 N) FE Grousset, L Labeyrie, JA Sinko... - ..., 1993 - europa. Cité 280 fois -

Contribution of Southern Ocean surface-water stratification to low atmospheric CO<sub>2</sub> concentrations during the last glacial period ..., M Frank, G Bohrmann, G Bareille, LD Labeyrie - Nature, 1997 - Cité 262 fois -

The North Atlantic atmosphere-sea surface  $^{14}C$  gradient during the Younger Dryas climatic event..., J Mangerud, M Paterne, L Labeyrie... - Earth and Planetary ..., 1994 - Cité 240 fois

SIMMAX: A modern analog technique to deduce Atlantic sea surface temperatures from planktonic foraminifera in deep-sea sediments ..., C Pujol, LD Labeyrie - Paleoceanography, 1996 Cité 231 fois -

Evidence for changes in the North Atlantic Deep Water linked to meltwater surges during the Heinrich events L Vidal, L Labeyrie, E Cortijo, M Arnold... - Earth and Planetary ..., 1997 Cité 176 fois -

Reconstructing sea surface temperature and salinity using  $\delta^{18}O$  and alkenone records..., FC Bassinot, PJ Müller, LD Labeyrie... - Nature, 1993 Cité 174 fois -

The Dole effect and its variations during the last 130,000 years as measured in the Vostok ice core ..., T Sowers, L Labeyrie - Global ..., 1994 - AGU Cité 181 fois

Changes in surface salinity of the North Atlantic Ocean during the last déglaciation JC Duplessy, L Labeyrie, M Arnold, M Paterne... - 1992 - Nature Cité 143 fois -

## ***PUBLICATIONS IMPORTANTES, étapes de ma carrière scientifique***

La première partie de ma carrière de chercheur a été focalisée sur le développement de l'analyse isotopique de la silice hydratée des squelettes de diatomées, pour aider aux études paléoclimatiques dans les lacs et la zone Australe, où elles sont particulièrement abondantes. C'est dans une note à *Geochimica Cosmochimica Acta* 1982 que je pose les bases de la méthode. La présence d'eau piégée dans les pores fermés de la structure de la silice et de nombreux radicaux silanols (Si-OH) instables, rend particulièrement difficile l'analyse du rapport  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  de la silice biogénique. J'ai mis au point au cours de ma thèse d'état, et publié dans la note au G.C.A. une méthode permettant d'obtenir des analyses isotopiques reproductibles en effectuant (avant extraction de l'oxygène par fluoration sous vide) un échange isotopique contrôlé de la phase hydratée isotopiquement instable de la silice. Cette méthode a d'abord été exploitée par une de mes élèves (Anne Juillet) qui a précisé la loi du fractionnement isotopique de la silice biogénique avec la température, puis par plusieurs équipes au niveau international (en particulier N. Mikkelsen à la Scripps, puis A. Shemesh au Lamont puis à Jérusalem). Mes travaux sont encore la référence internationale de base sur cette méthode, qui continue à être exploitée dans d'autres instituts. J'ai personnellement abandonné ce domaine, car il s'est révélé peu adapté à l'étude de la variabilité du climat: le système semi-cristallin de l'opale biogénique est trop instable à long terme.

**1974, L. D. Labeyrie, New approach to surface seawater paleotemperatures using  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  ratios in silica of diatom frustules, *Nature*, 248, 40-42**

J'ai effectué un séjour de deux ans à Woods Hole (WHOI, USA), comme Visiting Investigator, entre 1973 et 1975, dans le Département de Géochimie, au titre d'aide à la coopération lors de ma période de service national. J'ai dû interrompre, faute d'équipement, mes travaux de thèse. J'ai donc profité de l'expertise de l'équipe du Dr. V. Bowen sur l'utilisation des retombées radioactives des essais nucléaires atmosphériques comme traceurs de la dynamique externe, pour développer une étude de la géochimie du fer dans les océans. J'ai en particulier développé un compteur de haute sensibilité permettant la mesure du  $^{55}\text{Fe}$  radioactif, et son usage comme traceur du transport du Fer réactif entre les continents, les sédiments côtiers, et le milieu hauturier. Hélas, à l'époque, le Fer et son rôle dans la productivité océanique n'était pas encore à la mode. Je n'ai pu poursuivre ces études en rentrant en France, ni publier les résultats de mes travaux, faute des mesures géochimiques complémentaires nécessaires. Seul papier:

**1974 Measurements of iron 55 from nuclear fallout in marine sediments and sea water Labeyrie et al. *Nuclear Instr. and Methods*, 128, 575-580**

1984 marque pour moi le début de l'utilisation des foraminifères pour les études paléocéanographiques. Les analyses du rapport  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  n'étaient jusqu'alors utilisées que dans le cas des foraminifères benthiques. J'ai mis en évidence, par l'étude détaillée des changements comparés du rapport  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  des foraminifères planctoniques et benthiques dans des carottes de sédiment de haute latitude que ce traceur pouvait aussi être interprété dans le cas des foraminifères planctoniques. L'espèce polaire *Neogloboquadrina pachyderma* s., par son habitat de sub-surface, est particulièrement intéressante pour suivre l'évolution de la stratification dans les zones potentielles de formation d'eau profonde. J'ai été le premier, par ce travail, à proposer l'hypothèse d'une forte diminution de la ventilation des eaux profondes en période glaciaire par une augmentation de la stratification des eaux de surface de haute latitude.

**1985, Changes in the oceanic  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  ratio during the last 140 000 years: high-latitude surface records, L. Labeyrie and J. C. Duplessy, *Paleogeogr., Paleoclimatol., Paleoecol.*, 50, 217-240.**

---

Mon intérêt pour la paléoclimatologie des hautes latitudes s'est affirmé au cours de la période 85-90. J'ai réalisé de nombreuses campagnes de carottage en Océan Austral. La publication suivante, dans *Nature* correspond au premier essai de reconstitution simultanée des changements de température et de salinité des eaux de surface, à partir de l'étude comparée des faunes de foraminifères et de leur rapport  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ . J'ai ainsi mis en évidence l'existence de périodes de forte débâcle de la calotte Antarctique au cours des dernières dizaines de milliers d'années. A l'époque, cet article a été peu remarqué, car

l'attention scientifiques était focalisée sur les résultats des forages réalisés au Groenland et en Antarctique central. La situation est toute autre maintenant, car des instabilités similaires à celles que j'avais décrites ont été démontrées pour la calotte Laurentide au dernier glaciaire.

**4-1986, Melting history of Antarctica during the past 60,000 years, L. Labeyrie et al., *Nature*, 322, 701-706;**

-----

Au cours des années 1980-1990, mes connaissances sur la géochimie isotopique de l'oxygène, et mon goût pour le développement de méthodes analytiques nouvelles m'ont conduit à participer à différents projets. Un de ceux dont je suis particulièrement fier, est le développement de l'analyse isotopique de l'oxygène de l'air dissous dans les glaces polaires et de l'étude de la variabilité passée: séduit par une idée de M. Bender (l'utilisation du rapport  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  de l'oxygène de l'air piégé dans la glace pour reconstruire l'activité photosynthétique global dans le passé), j'ai mis au point la méthode de mesure. En collaboration avec M. Bender et les glaciologues de Grenoble, j'ai appliqué cette méthode à la première étude des changements de la composition isotopique de l'air depuis 20 000 ans. Nous avons pu montrer que ce n'était pas vraiment par son application à l'étude des changements de productivité primaire que cette méthode était intéressante. Le rapport isotopique de l'oxygène de l'air reflète en fait surtout les changements isotopiques de l'océan au cours des périodes glaciaires-interglaciaires. On bénéficiait dès lors d'un outil pour établir directement des corrélations stratigraphiques globales entre les différentes calottes glaciaires et l'océan. De nombreux laboratoires utilisent maintenant ce type d'analyse.

**1986 Isotopic composition of atmospheric  $\text{O}_2$  in ice linked with deglaciation and global primary productivity, M. Bender, L. D. Labeyrie et al. *Nature*, 318, 349-352**

**1993 Sowers, T., M. Bender, L. Labeyrie et al. A 135000-year Vostok-Specmap common temporal framework, *Paleoceanography*, 8 (6), 737-766.**

**1994, M. Bender, T. Sowers and L. Labeyrie, The Dole effect and its variations during the last 130,000 years as measured in the Vostok ice core, *Global Biogeochemical Cycles*, 8, 363-376.**

-----

Les deux notes suivantes (la seconde réalisée avec un de mes étudiants en thèse), correspondent aux premières reconstitutions de l'évolution de la température des eaux profondes des différents océans au cours du dernier cycle glaciaire-interglaciaire, en utilisant le rapport  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  des foraminifères benthiques. J'ai montré par cette méthode que chaque période glaciaire se traduit par un refroidissement de plusieurs degrés des eaux profondes de l'ensemble des bassins océaniques. Ce refroidissement dérive directement de la diminution de la formation d'eau profonde en Mer de Norvège, et des changements associés des caractéristiques hydrologiques de NADW. C'est en partie par ces travaux que la communauté internationale a pris conscience de la variabilité hydrologique des eaux profondes en liaison avec l'évolution des eaux de surface de haute latitude. Je relance maintenant cette thématique, en utilisant une nouvelle méthode de reconstitution des températures de l'eau par la teneur Mg/Ca des foraminifères. Une étudiante, J. Gherardi, est en cours de thèse sur ce sujet.

**4-1987 Variations in mode of formation and temperature of oceanic deep waters over the past 125,000 years, L. D. Labeyrie, J. C. Duplessy and P. L. Blanc, *Nature*, 327, 477-482**

**-1988 A deep hydrological front between intermediate and deep-water masses in the glacial Indian Ocean, N. Kallel, L. D. Labeyrie et al. *Nature*, 333, 651-655**

-----

Ces travaux ont été complétés, en 1992, par une synthèse des connaissances sur les changements de la structure hydrologique de l'Atlantique nord en période glaciaire, basée en grande partie sur mes travaux. J'ai montré dans cette étude que les zones de formation des eaux profondes nord Atlantique s'étaient déplacées en période glaciaire vers le sud de l'Islande. La Mer de Norvège, bien qu'en partie

déglacée en été, était trop peu salée en surface pour permettre l'existence de zones actives de convection verticale.

**5-1992 Changes in the vertical structure of the north Atlantic ocean between glacial and modern times, L. Labeyrie et al. , *Quaternary Science Reviews*, 11, 401-413.**

---

J'ai réalisé au cours des années suivantes de nombreuses notes dans le domaine de la paléocéanographie Australe en collaboration avec mes collègues du DGO-Bordeaux pour perfectionner les outils de reconstitution quantitative, en particulier pour estimer les températures de surface. Ces travaux m'ont conduit à publier en 1996 une note de synthèse sur l'évolution de l'Océan Austral depuis 230 ka. Elle représente le résultat de plus de 1000 analyses isotopiques et micropaléontologiques dans une carotte exceptionnelle prélevée sur la ride Indienne à l'Est du plateau de Kerguelen. J'ai abordé dans ce travail le problème du rôle de l'Océan Austral dans les changements climatiques glaciaires-interglaciaires. J'ai pu montrer que l'évolution des eaux de surface sub-polaires (à 45° sud) était très fortement liée aux changements d'insolation des basses latitudes. Au contraire, les eaux profondes dépendent beaucoup plus de la réponse de l'Océan Global au changement du volume des glaces de l'hémisphère nord. Des déphasages de plusieurs milliers d'années apparaissent ainsi , dans la même carotte, entre les changements glaciaires-interglaciaires enregistrés par les marqueurs des eaux de surface (foraminifères planctoniques, diatomées) et des eaux profondes (foraminifères benthiques). Ces résultats expliquent la rapidité du réchauffement post-glaciaire et du refroidissement glaciaire des eaux sub-polaires Australes, en phase avec les changements d'insolation de basse latitude, plusieurs milliers d'années en avance par rapport à la climatologie de l'hémisphère nord. Ces études sont maintenant confirmées par les résultats des analyses de gaz dans les forages de Vostok et de Bird en Antarctique. Elles ont été récompensées par le Prix de la fondation Phillip Morris.

**6-1996 Hydrographic changes of the Southern Ocean (south-east Indian sector) over the last 230 ka, L. Labeyrie, et al. *Paleoceanography*, 11, 57-76**

Ce travail a été accompagné, en 1995, par une note en collaboration avec une de mes anciennes étudiantes, explorant les conséquences des changements de la circulation de l'Océan Austral sur le cycle du carbone en période glaciaire :

**Michel, E., L. Labeyrie et al. Could deep Subantarctic convection feed the world deep basins during the last glacial maximum?, *Paleoceanography*, 10, 927-942, 1995.**

Les conséquences des changements de l'hydrologie Australe sur la teneur atmosphérique en CO<sub>2</sub> ont été explorées dans une note collective publiée dans *Nature*

**François, R., M. Altabet, F. Yu, D.M. Sigman, M. Bacon, M. Franck, G. Bohrmann, G. Bareille, and L. Labeyrie, Contribution of Southern Ocean surface-water stratification to low atmospheric CO<sub>2</sub> concentrations during the last glacial period, *Nature*, 389, 929-935, 1997.**

---

L'étude des carottes sédimentaires prélevées dans la campagne Paléocinat, que j'ai montée en Atlantique nord en 1990, a amené une nouvelle étape dans mes travaux, en m'associant à la découverte des débâcles glaciaires à grande échelle maintenant connues sous le nom d'évènements de Heinrich. Une série de 58 publications a été réalisée avec différents co-auteurs sur l'étude des changements climatiques rapides, entre 1993 et 2004. Cette période marque aussi mon investissement dans le développement du programme international IMAGES (International Marine Global Change Study), qui dépend du programme IGBP-Past Global Changes.

Comme pour l'Océan Australe, cette étude est le fruit d'une collaboration très étroite avec les sédimentologues et micropaléontologues du DGO-Bordeaux. Notre groupe a occupé une place importante dans la compétition internationale sur l'étude des débâcles massives des calottes de glace (événements de Heinrich) et des changements climatiques et hydrologiques associés. La note de 1993 avec F. Grousset présente les premières évidences de la très grande surface occupée par les débris glaciaires transportés

par les icebergs lors des débâcles massives. Nous présentons une méthode rapide de détection de ces événements dans les sédiments, basée sur la mesure des anomalies de susceptibilité magnétique engendrées par l'apport depuis le bouclier Canadien de minéraux détritiques riches en grains de magnétite de grande taille (cette dernière démonstration a été réalisée au cours d'une étude complémentaire au CFR). Nous montrons aussi que la plupart de ces événements, mais pas tous, ont pour origine la calotte glaciaire de la Laurentide. Dans des études complémentaires, réalisées sur des carottes étudiées en collaboration avec mes collègues du Lamont (G. Bond et W. Broecker), j'ai pu montrer que ces débâcles étaient accompagnées de la fonte d'une grande quantité de glace d'origine continentale, que je pouvais estimer à plus de  $10^6$  km<sup>3</sup> à partir de l'anomalie du rapport  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ , engendrée dans les foraminifères planctoniques vivant à ces époques.

**1992, G. Bond, H. Heinrich, W. Broecker, L. Labeyrie, J. McManus, J. Andrews, S. Huon, R. Jantschik, C. Clasen, C. Simet, K. Tedesco, M. Klas and G. Bonani, Evidence for massive discharges of icebergs into the glacial north Atlantic, Nature, 360, 245-249**

**1993, G. Bond, W. Broecker, S. Johnsen, J. McManus, L. Labeyrie, J. Jouzel and G. Bonani, Correlations between climate records from north Atlantic sediments and Greenland ice, Nature, 365, 143-147**

**7-1993 Patterns of ice rafted detritus in the Glacial North Atlantic (40-55°N), F. Grousset, L. Labeyrie et al., *Paleoceanography*, 8, 175-192.**

---

Toujours dans le cadre de l'étude des débâcles catastrophiques des calottes de glace continentales, j'ai proposé un schéma d'évolution du système climatique lors des événements de Heinrich, basé sur une interaction non linéaire entre l'évolution de la circulation thermohaline et la croissance et la débâcle des calottes de glace. La note à *Nature* présente une simulation du système couplé océan-atmosphère-glace réalisée grâce à un modèle analytique simple développé pour étudier ces interactions par un de mes étudiants, D. Paillard. Ce modèle permet d'expliquer l'enchaînement des phénomènes enregistrés dans les glaces du Groenland et les sédiments marins, et en particulier le refroidissement progressif lié à l'extension marine des calottes de glace, le maximum de froid au cours de la débâcle (arrêt du transfert de chaleur par la circulation thermohaline), puis le réchauffement rapide immédiatement après la fin de la débâcle par le retour vers le nord des eaux chaudes stockées à basse latitude pendant la période de limitation de la circulation thermohaline.

**8-1994 Role of the thermohaline circulation in the abrupt warming after Heinrich events, D. Paillard and L. D. Labeyrie, Nature, 372, 162-164.**

---

Ce travail m'a conduit à une première étude de synthèse des conséquences des événements de Heinrich sur les changements de l'hydrologie de surface et profonde de l'Atlantique nord au cours du dernier cycle glaciaire-interglaciaire (150 ka). 10 carottes ont été étudiées à haute résolution. La distribution géographique de l'anomalie isotopique de l'oxygène des eaux de surface a pu être ainsi précisée (entre 45° et 55°N, sur toute la largeur de l'Atlantique). Les changements de densité des eaux de surface et profonde ont été estimés, à partir de l'analyse du rapport  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  des foraminifères benthiques. Ces résultats permettent d'émettre l'hypothèse, contrairement à ce qui a été admis jusqu'à présent, que la convection profonde à l'origine de la boucle thermohaline s'est poursuivie sur la bordure nord de l'Atlantique et en Mer de Norvège sur une grande partie des derniers 150 ka. Le système s'interrompait seulement pendant les débâcles glaciaires. Les zones de convection profonde étaient alors déplacées plus au sud, vers 45°N.

**9-1995 Surface and deep hydrography of the Northern Atlantic Ocean during the last 150 kyr, L. Labeyrie et al. Phil. Trans. R. Soc. Lond. B, 348, 255-264.**

De nombreuses études ont suivi, pour mieux quantifier ces changements hydrologiques, et voir leur influence sur la ventilation des eaux profondes, le cycle du carbone, et l'évolution des flux de chaleur vers l'atmosphère. On peut citer, parmi les plus représentatives (les premières réalisées avec mes étudiants thésards) :

**Cortijo, E., L. Labeyrie et al. Sea surface temperature reconstructions during the Heinrich event 4 between 30 and 40kyr in the North Atlantic Ocean., *Earth and Planetary Science Letters*, 146, 29-45, 1997.**

**Vidal, L., L. Labeyrie et al. Evidence for changes in the North Atlantic Deep Water linked to meltwater surges during the Heinrich events, *Earth and Planetary Science Letters*, 146, 13-26, 1997.**

**Labeyrie, L. et al. Temporal Variability of the surface and deep waters of the North West Atlantic ocean at orbital and millennial scales, in *Mechanisms of Global Climate Change at millennial Time scales.*, edited by P. Clark, R.S. Webb, and L.D. Keigwin, pp. 77-98, AGU, Washington, 1999.**

**Elliot, M., L. Labeyrie, and J.C. Duplessy, Changes in North Atlantic deep-water formation associated with the Dansgaard-Oeschger temperature oscillations (10-60 ka), *Q. S. R.*, 21, 1153-1165, 2002.**

-----

Mes connaissances sur la dynamique des changements climatiques ont été reconnues par les responsables du programme international IGBP-PAGES, qui m'ont demandé de réaliser le chapitre de synthèse sur le domaine, dans le cadre de la publication du bilan des 10 premières années du programme international Changements globaux (PIGB). Cette publication correspond à une synthèse provisoire des connaissances sur la variabilité climatique rapide, ses causes et ses conséquences, basée en grande partie sur les travaux de mon équipe. Nous sommes loin encore d'avoir compris les tenants et les aboutissants de ces changements climatiques rapides (transitions de quelques dizaines d'années), et de grande amplitude (plus de 10°C de changement de température moyenne au dessus de l'Atlantique Nord et l'Europe) observés lors des cycles glaciaires-interglaciaires. Nous savons que ces phénomènes associent chacune des grandes composantes du climat : c'est l'atmosphère qui transporte les excès de précipitation (et de neige) vers les hautes latitudes nord. L'excès de précipitation va ralentir (ou même bloquer) la convection thermohaline en bordure nord de l'Atlantique et dans les mers arctiques. Le transfert de chaleur associé est diminué lui aussi, ce qui provoque un refroidissement important à haute latitude, accentué par l'extension des glaces (et donc de l'albedo) quand le refroidissement de la température estivale se poursuit en dessous de 0°C. Les oscillations millénaires observées dérivent probablement de l'existence de constantes de temps relativement lentes dans la croissance des calottes de glace et le mélange des océans : La circulation thermohaline reste active tant que les neiges sont accumulées sur des calottes de glace continentales. Mais celles-ci, progressivement, envahissent le domaine marin et deviennent instables (les débâcles catastrophiques dites événements de Heinrich), restituant ainsi l'excès d'eau douce à l'océan, et interrompant brutalement la circulation thermohaline. Ce mode de circulation ne peut reprendre que quand l'excès d'eau douce a été réparti dans l'océan global.

**Labeyrie, L., J. Cole, K. Alverson, and T. Stocker, The history of climate dynamics in the Late Quaternary, in *Paleoclimates, Global Change and the Future*, edited by R.B. Keith Alverson, and Thomas Pedersen, pp. 33-62, Springer, Berlin, 2002.**

J'ai réalisé dans ce travail, à la demande de PAGES-IGBP, une synthèse de "l'état de l'art" sur les connaissances apportées par la paléoclimatologie dans le domaine de la dynamique du climat. Plus de 1000 publications ont été analysées, dont plus de 300 référées. Je me suis particulièrement attaché à analyser les mécanismes de la variabilité climatique rapide, et les rétroactions entre le bilan précipitation-évaporation des zones intertropicales, l'hydrologie globale et le développement des calottes de glace.

-----

Ayant eu connaissance du développement d'un nouveau proxy géochimique de la circulation océanique, basé sur les différences de solubilité de l'uranium et du protactinium dans la colonne d'eau, j'ai pu, avec



d'aide d'un géochimiste de l'ENS-Lyon, S. Pichat, développer la méthode dans le cadre d'une thèse d'une étudiante commune, J. Gherardi. Ce travail a conduit à la première reconstruction de la variabilité des flux thermohalins en Atlantique nord,

**J.-M. Gherardi, L. Labeyrie, et al. Evidence from the North Eastern Atlantic Basin for Variability of the Meridional Overturning Circulation through the last Deglaciation., EPSL 240(2005) 710-723.**

**J. Gherardi, J. McManus, R. Francois, L. Labeyrie, Reconstructing changes in the meridional overturning circulation using sedimentary  $^{231}\text{Pa}/^{230}\text{Th}$  ratios, PAGES news 16(2008) 30-31.**

-----

A partir de 2004, notre équipe s'est équipée pour développer l'analyse de la variabilité des éléments traces dans les foraminifères, en particulier le rapport Mg/Ca, qui s'est révélé un très bon traceur des températures de croissance. Toute une série de papiers ont été publiés sur ce sujet, qui continue encore son développement,

**C. Cleroux, E. Cortijo, P. Anand, L. Labeyrie, F. Bassinot, N. Caillon, J.-C. Duplessy, Mg/Ca and Sr/Ca ratios in planktonic foraminifera: Proxies for upper water column temperature reconstruction, Paleoceanography 23(2008) doi:10.1029/2007PA001505.**

**MARGO, C.Waelbroeck, , L. Labeyrie, and co-authors, Constraints on the magnitude and patterns of ocean cooling at the Last Glacial Maximum, Nature Geosciences 2(2009) 127-132.**

-----

J'ai entamé une nouvelle aventure scientifique avec un post-doc biologiste marin formé à la modélisation à Villefranche/mer, Fabien Lombard. Le besoin d'améliorer la précision de nos reconstructions paléocéanographiques demandait une meilleure connaissance de la biologie des foraminifères planctoniques et de leur cycle de croissance. Ce travail nous a donné plusieurs publications

**F. Lombard, L. Labeyrie, E. Michel, H.J. Spero, D.W. Lea, Modelling the temperature dependent growth rates of planktic foraminifera, Marine Micropaleontology 70(2009) 1-7.**

**F. Lombard, J. Erez, E. Michel, L. Labeyrie, Temperature effect on respiration and photosynthesis rates for symbionts-bearing foraminifera *Globigerinoides ruber*, *Orbulina universa* and *Globigerinella siphonifera*, Limnology Oceanography 54(1)(2009).**

.

.