

TERRE D'



CEAN

*Magazine vivant des sciences de l'environnement*

**Lire  
notre  
avenir**

*dans les  
nuages*

Robert Kandel  
«Le changement  
climatique et les  
ressources en eau»  
**p.20**



*De la déforestation  
en Amazonie*  
**aux tempêtes  
sur l'Europe**

«Regards croisés  
sur les changements globaux»  
**p.10**



*Dumont d'Urville*

Voyage d'exploration  
scientifique au Pôle Sud.  
(1837-1840) **p.40**

**CLIMATS**

**: aux limites de  
nos connaissances**

n°3 - 2004 [www.ocean.asso.fr](http://www.ocean.asso.fr) - **4,60€**







# La croisée des chemins

EDITO

**D**epuis un demi-siècle, les sciences de l'environnement et du climat ont beaucoup progressé. Dans le recensement et l'analyse des situations actuelles et passées, dans les échanges internationaux des avancées des connaissances, ou encore dans le croisement de multiples approches disciplinaires, de la chimie aux mathématiques en passant par la

biologie, la géologie et aussi l'histoire et l'archéologie. Mais aujourd'hui, la société impose et demande toujours plus à ces sciences si particulières : il leur faudra maintenant prévoir, anticiper et peut-être aussi rassurer, éteindre ou amortir les peurs du lendemain, occuper une partie de l'espace laissé vacant par d'autres approches plus empiriques ou plus spirituelles. Car depuis trois siècles, les sciences de l'environnement ont construit de nouvelles conceptualisations du monde, de Buffon et son histoire naturelle à Lovelock et sa planète vivante en passant par Darwin et sa mobilité de la vie. Longtemps en opposition, leurs progressions croisent aujourd'hui de plus en plus fréquemment les cultures ancestrales, les mythologies et les religions, du déluge à l'Atlantide, d'El Niño à l'île de Pâques. Face à de telles interrogations et réponses partielles, les scientifiques ne peuvent plus uniquement rester dans leur coin de laboratoire à puiser et compiler données et résultats sans entrer de

plein pied dans les échanges et les débats sociaux. Depuis quelques mois, dans les sciences du climat, l'amorce est faite, le pas est franchi. A travers Terre d'Océan, l'Association Océan, porte-parole régional des sciences de l'environnement, propose un espace nouveau d'échanges, d'écritures et de lectures, un outil de plus de participation citoyenne. Jusqu'ici peu invitées dans les débats décisionnels, les sciences de l'environnement ont pourtant un rôle essentiel à tenir dans les choix sociétaux des années à venir, ne serait-ce que pour tempérer le trop grand poids des «partielités» et des partialités.

**«La connaissance isolée n'a aucune valeur» Erwin Schrödinger\***



En parallèle et parfois (même modestement) en amont de ces évolutions, Océan veut également passer la porte de la pérennité, de la durée dans l'action. Ce semestriel

«colorisé» et désormais thématique serait un des éléments de cette pérennité. Mais au delà des textes, l'oral, le contact direct et la pratique sur le terrain, demeurent nos priorités, nos évidences, nos fondements. L'Aquaforum Rives d'Arcins, lieu d'alimentation du contenu de ce magazine, a accueilli plus de 15 000 personnes depuis sa création en avril 2001. Il se doit maintenant de devenir un «vrai lieu pérenne» de rencontres culturelles et pédagogiques autour d'un thème encore trop peu partagé dans nos valeurs sociales communes : l'environnement avec sa mobilité et la complexité de nos échanges avec lui. Aborder ce que nous en savons en le pratiquant physiquement est la base conceptuelle de nos échanges «in situ» avec les publics. Symbole et fer de lance de nos programmes, nos activités navigantes de plus en plus attractives imposent de se doter d'un bateau spécifique. A ces jalons de base se rajoutera désormais un événementiel annuel : les «Rencontres Internationales Terres d'Océan» dont la première édition consacrée aux «Estuaires et Deltas du monde» se déroulera les 5 et 6 Novembre prochains. En somme, l'Association Océan, comme les sciences qu'elle diffuse, se trouve plus que jamais à la croisée des chemins, entre l'expérimental prometteur et le pérenne attractif et renouvelé. L'heure des choix approche... ■

**Eric Veyssy**

\* Erwin Schrödinger : l'équation qui porte son nom (1923) décrit l'évolution au cours du temps de l'onde associée aux électrons de l'atome





# Aux limites de nos connaissances

## Editorial

### La recherche en direct

## Brèves

## Carnets d'Aquaforum

## Histoire des sciences

## Histoire d'hommes et d'environnements

## Carte postale

## De la recherche à la gestion

## Paroles à la volée...

## A découvrir

## Reportage junior



**p. 2** : *La croisée des chemins.*

**p. 4** : *Les grandes trajectoires du climat terrestre.*

**p.10** : *De la déforestation en Amazonie aux tempêtes sur l'Europe.*

**p.14** : *Les feux tropicaux nous réchauffent-ils ?*

**p. 9** : *Histoires d'icebergs et variabilité rapide du climat*

**p.13** : *L'intensification de l'effet de serre peut-elle être bénéfique ?*

**p.17** : *Variations glaciaires et changements climatiques dans les Pyrénées.*

**p.20** : *Lire notre avenir dans les nuages.*

**p.24** : *Vous avez dit «développement durable» ?*

**p.27** : *La mer monte : aux abris ?*

**p.28** : *Le climat a une histoire : celle des paysans !*

**p.32** : *Des statues de pierre nous regardent ...et nous mettent en garde !*

**p.34** : *Mettre la Terre en équations...*

**p.38** : *Amnésie et mémoire de la remontée du niveau marin.*

**p.40** : *Dumont d'Urville : voyage d'exploration scientifique au Pôle Sud (1837-1840).*

**p.42** : *Que de blanc, de bleu, de glace !!!*

**p.44** : *L'incontournable choix énergétique.*

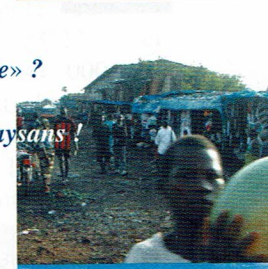
**p.48** : *Agriculture et effet de serre.*

**p.31** : *Paroles volées !*

**p.37** : *Balades, conférences et sorties sur le terrain.*

**p.53** : *A lire.*

**p.58** : *Croisières-climat pendant la fête de la science.*





# Les grandes trajectoires

## du climat terrestre

En novembre 2002, Arles a accueilli environ 200 scientifiques francophones, venus faire le bilan de l'état des connaissances et des prévisions de l'évolution climatique planétaire... et croiser leurs «regards sur les changements globaux»\*. Présentations illustrées, débats et synthèses magistrales se sont enchaînés pendant 5 jours.

Parmi tous les intervenants, André Berger a particulièrement capté notre attention, amorçant le début d'une mutation formelle dans le mode d'expression de la communauté scientifique, jetant un pont réfléchi et déterminé entre connaissances et citoyenneté. Voici quelques extraits de son intervention.

André Berger est professeur à l'Université Catholique de Louvain-la-Neuve en Belgique. Il s'est spécialisé dans la modélisation des climats aux échelles géologique et séculaire. C'est un pionnier reconnu de l'étude interdisciplinaire des climats et du développement de la théorie astronomique des paléoclimats qui explique la récurrence des cycles glaciaires/interglaciaires. Auteur de 180 articles scientifiques, il a également publié 11 livres. Entre 2000 et 2002, il fut Président de la Société Européenne de Géophysique et du Groupe d'experts-conseil sur le changement global, la biodiversité et le climat de la Commission Européenne.

### En quelques phrases

«Il y a 21 000 ans, la Terre portait 40 millions de km<sup>3</sup> de glace de plus qu'à l'heure actuelle.»

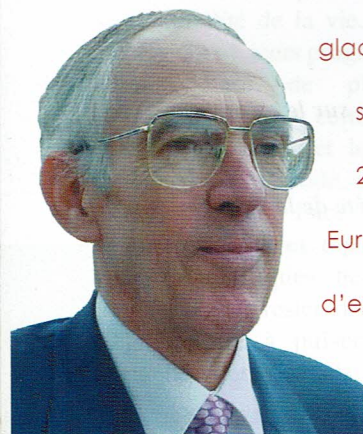
«L'origine astronomique des cycles climatiques a été parfaitement mise en évidence par un célèbre géophysicien serbo-croate, Milutin Milankovitch.»

«Le cycle climatique majeur, de l'ordre de 100 000 ans est similaire à celui de l'excentricité de l'orbite de la Terre.»

«La distribution en latitude et en saison de l'énergie que l'on reçoit du soleil est appelée à ne pratiquement plus varier au cours des 50 000 prochaines années.»

«Dans les sciences du climat, la beauté scientifique est la multidisciplinarité.»

«Si nous dépassons les 750 ppmv (d'équivalent CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère) au cours des 21<sup>ème</sup> et 22<sup>ème</sup> siècles, la nature mettra à peu près 50 000 ans pour oublier que les hommes de ces siècles se sont permis de jouer aux apprentis sorciers.»





# Les grandes trajectoires du climat terrestre

## Plantons le décor !

### Chauds et froids d'hier à aujourd'hui

«Au cours des derniers millions d'années, l'évolution climatique la plus spectaculaire est celle qui caractérise le passage entre le monde glaciaire et le monde interglaciaire. L'apogée la plus récente du monde glaciaire date d'environ 21 000 ans. A cette époque il faisait 5 °C de moins (en moyenne globale) pour l'air à la surface terrestre et en conséquence, la Terre portait 40 millions de km<sup>3</sup> de glace en plus des 30 millions de km<sup>3</sup> actuels. Le niveau des océans se situait à quelques 120 mètres en dessous du niveau actuel, et Cro-Magnon pouvait profiter ainsi de 17% de surfaces continentales de plus qu'aujourd'hui. Dans l'atmosphère, la concentration en CO<sub>2</sub> dans l'air était de l'ordre de 200 ppmv\*. Plus récemment, celle-ci était de 280 ppmv à l'ère pré-industrielle. Aujourd'hui, nous sommes à 373 ppmv de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère et les glaces restantes dans l'Hémisphère Nord se résument à la calotte du Groënland et à quelques glaciers de montagne ...»

## Pourquoi ces variations ?

### Les cycles des astres et le climat

(voir encart Les paramètres orbitaux)

«L'évolution climatique est caractérisée par des quasi-cycles dont le principal est de l'ordre de 100 000 ans. Superposés à cette cyclicité, il existe des cycles secondaires dont les périodes sont de l'ordre de 41 000 ans et de 21 000 ans. Que ce soit dans l'océan ou dans la glace, les reconstitutions nous indiquent une évolution similaire du climat. Au cours des 800 000 dernières années, nous voyons 8 grands cycles sur lesquels se superposent les cycles secondaires...

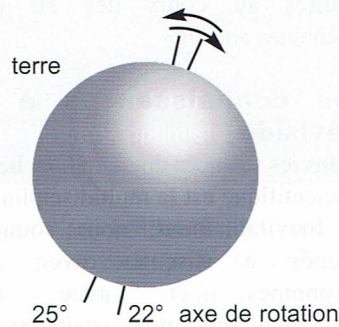
Il y a 21 000 ans (dernière période glaciaire), en pleine période glaciaire, l'insolation était pratiquement la même qu'à l'heure actuelle. De 21 000 à 9 000 ans, la quantité d'énergie disponible pendant les mois d'été dans l'hémisphère nord a augmenté et cela a abouti au fameux «maximum chaud» de l'interglaciaire

## Les paramètres orbitaux



### Excentricité :

La forme de la trajectoire de la Terre autour du Soleil varie d'un cercle à une ellipse aplatie à 6%. Périodicité : 100 000 et 400 000 ans.



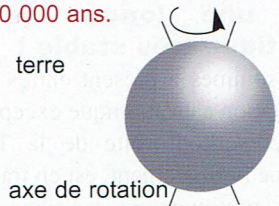
### Obliquité :

Inclinaison de l'axe de la Terre par rapport à la perpendiculaire au plan de l'écliptique. Cet angle oscille entre 22 et 25°, la valeur actuelle étant de 23°27'. Périodicité : 41 000 ans.

atteint il y a 6 000 ans environ. Puis progressivement l'insolation s'est réduite, jusqu'à aujourd'hui.

L'origine astronomique de ces cycles a été parfaitement mise en évidence par un célèbre géophysicien serbo-croate : Milankovitch (voir encart). Son hypothèse suppose que la neige accumulée au cours d'un hiver fonde peu ou pas du tout durant l'été. Le résultat immédiat est une augmentation de la masse de neige et de glace année après année. Ainsi la calotte (ou inlandsis\*) accroît son volume et par conséquent l'albédo\* planétaire augmente. Il reste donc moins d'énergie disponible pour alimenter le système climatique, la neige de l'hiver fond encore moins en été et nous entrons alors dans une boucle de «rétroaction\* positive», qui nous conduit vers une période glaciaire...

Le paramètre astronomique de base est celui qui définit la forme de l'orbite de la Terre : l'excentricité de l'orbite elliptique de la Terre autour du Soleil, qui varie avec un cycle de 400 000 ans dans lequel s'intègre un sous-cycle de 100 000 ans. Le deuxième paramètre conditionne l'inclinaison de l'axe de rotation de la



### Précession des équinoxes :

La Terre tourne sur son axe comme une toupie en fin de course (mouvement de précession). De plus, l'orbite elliptique de la Terre tourne autour du Soleil. La position des solstices et des équinoxes le long de l'orbite, directement liée à l'inclinaison de l'axe de la Terre par rapport au Soleil, se déplace donc. Périodicité résultante : 22 000 ans.

terre : c'est l'obliquité\* qui est actuellement de 23°27' et possède un cycle de 41 000 ans (voir encart Culture et changements orbitaux). L'autre paramètre, un peu plus compliqué, est la précession climatique, qui définit la distance

## Milutin Milankovitch, l'initiateur astronomique

«Il a commencé sa carrière comme ingénieur et très rapidement, il s'est rendu compte que ce n'était pas du tout sa vocation. Il est alors entré dans le monde de la recherche fondamentale initiant entre 1920 et 1941 ce que l'on a appelé la «théorie astronomique des paléoclimats». Il n'est pas le premier à avoir émis l'hypothèse fondamentale de la relation possible entre l'évolution de l'orbite et de l'axe de rotation de la Terre avec le climat. C'est un français, Adémar qui à la fin du 19<sup>ème</sup> siècle a émis cette hypothèse. Mais Milankovitch a travaillé cette hypothèse de façon très détaillée (en prison), si bien qu'elle est aujourd'hui assez largement acceptée, même si nous sommes loin de croire que le modèle qu'il a présenté, explique totalement l'évolution du climat de la période Quaternaire.»





entre la Terre et le Soleil pendant une saison déterminée. A l'heure actuelle, la Terre est la plus proche du Soleil au moment de l'hiver dans l'hémisphère nord. C'est un cas très particulier car cela évolue dans le temps avec une fréquence caractéristique de l'ordre de 21 000 ans.»

### **Vers une longue plage climatique très stable !**

«Nous sommes à présent entrés dans une situation astronomique exceptionnelle, puisque l'orbite de la Terre, elliptique normalement, est en train de devenir pratiquement circulaire. La précession climatique est dès lors appelée à ne pratiquement plus varier au cours des 50 000 prochaines années. En conséquence, les distributions en latitude et en saison de l'énergie reçue du Soleil, sont elles aussi appelées à ne pratiquement plus varier au cours de ces 50 000 prochaines années.

### **Culture et changements orbitaux**

La tour de Taiwan est un témoin concret de la variation de l'obliquité de la terre. L'île de Taiwan est traversé par le tropique du Cancer. En son honneur, une première tour fut érigée en 1908 par les Chinois, à la latitude de l'époque : N 23°27'4".51. Depuis cette date, les Chinois ont maintenu la tradition de la construction des tours, pour commémorer l'emplacement du tropique du Cancer. Par rapport à 1908, le cercle tropical a migré vers le sud d'environ 14 mètres par an et va continuer à se déplacer vers le sud pendant 9 300 ans. Il se sera alors déplacé de 90 km et repartira ensuite dans l'autre sens ! Entre 9 000 ans dans le passé, date de notre entrée dans le maximum de notre interglaciaire et 10 000 ans dans le futur, date où l'orbite de la terre va devenir circulaire, les cercles polaires et les tropiques dans les deux hémisphères se seront déplacés d'environ 200 km. C'est là une preuve des cycles de Milankovitch. (voir Chao B.F., 1996, EOS, Transactions of American Geophysical Union, 77(44), p. 433)

L'obliquité de la Terre, qui fixe la latitude des tropiques et des cercles polaires et qui gouverne la distribution latitudinale et saisonnières des pluies, continuera à varier, mais par une extraordinaire coïncidence, l'amplitude de cette variation restera elle aussi faible. Donc, d'un point de vue astronomique, les climats terrestres devraient avoir une variabilité des plus réduites au cours des 50 000 prochaines années.»

### **Des connaissances à la prévision**

«Dans les sciences du climat, la beauté scientifique est la multidisciplinarité. Inévitablement, nous sommes amenés à discuter avec des astronomes et avec des mathématiciens pour calculer la quantité d'énergie qui vient du Soleil et à rencontrer ensuite les climatologues pour modéliser la réponse du système climatique à tous les forçages\*. Finalement la traduction de tous ces paramètres et de leurs interactions en de multiples équations (modélisation), permet de reproduire sur des ordinateurs l'évolution du climat, en particulier au cours du dernier million d'années. Le modèle élaboré par mon équipe a été testé et validé sur un bon nombre de situations climatiques différentes. Ainsi, de 1850 à l'an 2000, notre modèle reproduit la courbe classique du réchauffement observé : de l'ordre de 1°C pour les 150 dernières années. On n'obtient cette reproduction que si le modèle intègre l'augmentation observée des gaz à effet de serre. Sans cela c'est à dire avec les seuls forçages naturels que sont l'activité solaire et les éruptions volcaniques (Krakatoa, Indonésie 1883 ; Mont Saint-Helens, Etats Unis 1980 ; Pinatubo, Philippines 1992), il est totalement impossible de reproduire le réchauffement observé des dernières décennies. Dans ce cas, notre modèle indique que nous aurions aujourd'hui une température à peine supérieure au niveau préindustriel. Pour la fin du 21<sup>ème</sup> siècle, la réponse de notre modèle aux scénarios du GIEC (voir encart) prévoit un réchauffement compris entre + 1,5°C et + 2,7°C par rapport à 1990,

prévision qui s'inscrit bien dans la fourchette des projections du GIEC et qui va de + 1,4°C à + 5,8°C.

Toutes ces expériences de simulation permettent de comprendre le comportement du système climatique. Il s'agit surtout de bien situer les processus de rétroaction\* qui doivent obligatoirement être inclus dans le modèle pour reproduire les variations du climat avec ses grands cycles glaciaires/interglaciaires. Il y a par exemple un effet d'amplification entre l'albédo et la température, entre la vapeur d'eau et la température, ou encore entre le volume total des glaces, le niveau de la mer et la couverture des sols libérés par les fontes de ces glaces, etc ...»

### **Ce qui nous attend s'est-il déjà produit ?**

«Par la suite, nous avons cherché à identifier la période climatique du passé la plus semblable à la situation actuelle. Cet «analogue» de l'actuel nous donnerait en effet des indications essentielles sur ce que pourrait devenir notre environnement au cours des siècles à venir. Traditionnellement, les scientifiques considéraient le dernier interglaciaire, dit de l'«Eemien» (- 125 000 ans), comme étant le meilleur «analogue». Or, l'amplitude des variations de l'énergie solaire était à cette époque nettement différente de celle qui nous attend dans le futur. Par conséquent, cette période ne peut pas être utilisée comme un analogue fiable de l'actuel ou du futur. Par contre, nous avons pu montrer qu'il y a environ 400 000 ans, l'évolution de l'énergie solaire était similaire à celle que nous prévoyons pour le futur. Nous avons alors reconstitué le climat de cette époque en calculant l'énergie venue du Soleil et la quantité de CO<sub>2</sub> présente dans l'air (déduites des résultats de Vostok). Cette reconstruction a permis de mettre en évidence le lien entre les évolutions



## Les scénarios du GIEC

«Le forçage rapide d'un système non linéaire a de grandes chances de nous réserver des surprises ... plus les changements seront importants et rapides, plus les effets négatifs domineront» (extrait du rapport du GIEC, 2001). Au-delà des marges d'incertitudes scientifiques concernant les effets de l'augmentation des teneurs en gaz à effet de serre, les plus grandes incertitudes pour l'avenir concernent les évolutions et les choix socio-économiques planétaires. Les scénarios établis par le GIEC pour le siècle à venir se répartissent en 4 grandes familles. La famille

des scénarios «A1» (socialement optimistes) décrivent un futur caractérisé par une croissance économique très rapide convergeant vers une homogénéité mondiale, un maximum de population atteint vers 2050 suivi d'une chute et le développement rapide de nouvelles technologies efficaces. La famille des scénarios «A2» (socialement pessimistes) décrit un monde très fragmenté avec des identités locales fortes, des développements régionaux hétérogènes, une augmentation constante de la population et des progrès technologiques lents. La famille des scénarios «B1» (plutôt optimistes) décrit un

monde convergeant vers une économie axée sur les services et l'information, avec un maximum de population atteint vers 2050 suivi d'une chute et l'adoption de technologies propres. Celle des scénarios «B2» (plutôt optimistes) décrit un développement économique modéré avec une augmentation régulière mais modérée de la population et un souci prioritaire pour la protection de l'environnement et l'équité sociale dans le cadre de recherches de solutions énergétiques locales... Mais dans tous les modèles, tous ces scénarios nous entraînent vers une nette augmentation de température, notamment dans l'hémisphère Nord, à l'horizon 2100.

simultanées de l'énergie solaire et du CO<sub>2</sub> dans l'air. Un interglaciaire court ne semble être possible que si ces deux paramètres diminuent en phase...»

### Et demain ? Quelle est la responsabilité humaine sur le climat à court terme ? Et à long terme ?

«Comme au cours des six derniers millénaires, la concentration en CO<sub>2</sub> est restée importante alors que l'insolation a commencé à décroître, notre interglaciaire ne durera probablement pas seulement une dizaine de milliers d'années comme les géologues le croyaient traditionnellement. Notre modèle indique en effet qu'il devrait se prolonger de manière naturelle pendant environ 50 000 ans avant une première poussée glaciaire qui devrait se terminer par un véritable âge glaciaire d'ici 100 000 ans, mais d'une intensité moindre que le dernier en date, il y a 21 000 ans. Cette exceptionnelle longueur de l'interglaciaire en cours est liée à la stabilisation de l'apport d'énergie solaire lors des 50 000 prochaines années. Le CO<sub>2</sub> aura alors un rôle climatique accru ...

Le seul scénario qui conduit à une glaciation plus rapidement (d'ici environ 10 000 ans), nécessite une concentration en CO<sub>2</sub> de l'ordre de 230 ppmv ou moins. Or, nous

sommes aujourd'hui à 373 ppmv, et nous prévoyons pour le futur des concentrations bien plus élevées.»

En replaçant les prévisions de concentration en CO<sub>2</sub> dans l'air du 21<sup>ème</sup> siècle, dans leur contexte historique et géologique, nous voyons qu'avec 373 ppmv, nous avons battu tous les records des 3 derniers millions d'années. Mais qu'en sera-t-il si effectivement nous arrivons à des concentrations de l'ordre de 450 à 1 000 ppmv en CO<sub>2</sub> auxquels s'ajoutent les autres gaz à effet de serre ? En

**«Notre responsabilité est-elle dès lors engagée au-delà du siècle en cours pour lequel nous savons déjà que nous avons perturbé le système climatique ?»**

utilisant notre modèle, nous avons fait deux scénarios relativement optimistes. Un premier scénario, où nous avons supposé que la concentration en CO<sub>2</sub> et autres gaz dans l'air allait atteindre 550 ppmv en équivalent CO<sub>2</sub>\* d'ici la fin du 21<sup>ème</sup> siècle. Nous avons ensuite supposé que l'océan et la biomasse continentale allaient re-pomper progressivement ce CO<sub>2</sub> additionnel injecté dans l'atmosphère, de sorte que la concentration en gaz à effet de serre rejoigne l'évolution du scénario «naturel» au bout de 1 000 ans. Ce scénario à 550 ppmv reproduit un long interglaciaire qui est pratiquement similaire à celui simulé par le modèle avec les seules conditions naturelles. Donc,

apparemment, à 550 ppmv, il n'y a pas d'incidence majeure sur l'évolution naturelle (initiée par les cycles astronomiques) du système climatique au cours des centaines de milliers d'années à venir, mise à part une légère fonte du Groënland au cours des prochains millénaires.

Nous avons ensuite refait exactement le même type de simulation en supposant cette fois que nous avons dépassé les 750 ppmv d'équivalent CO<sub>2</sub>. Et dans ce cas, le système réagit d'une manière totalement différente. Apparemment, il y a un seuil au sein de notre modèle, que nous avons estimé être de l'ordre de 700 ppmv, à partir duquel les glaces du Groënland commencent à fondre et disparaissent en 10 000 ans environ. Elles auraient totalement disparues pendant les 15 000 ans suivants, puis se reconstitueraient progressivement pour ré-atteindre leur volume actuel dans 50 000 ans environ.»

### Une empreinte humaine indélébile ?

«Si nous dépassions les 750 ppmv d'équivalent CO<sub>2</sub> au cours des 21<sup>ème</sup> et 22<sup>ème</sup> siècles, la nature mettrait donc à peu près 50 000 ans pour



© Stéphanie Carac



oublier que les hommes des 20<sup>ème</sup> et 21<sup>ème</sup> siècles se sont permis de jouer aux apprentis sorciers. A partir de là, le Prix Nobel de Chimie Paul Crutzen a proposé, de renommer la période dans laquelle nous sommes «l'Anthropocène»\*, parce qu'elle est largement dominée par les activités humaines. En fonction de nos premiers résultats qui doivent bien sûr être confirmés par d'autres simulations et d'autres modèles, il me semble que cet «Anthropocène» pourrait être une transition entre la période de l'histoire terrestre que l'on appelle le Quaternaire et une nouvelle période, que je propose d'appeler «le Quintenaire». La configuration terrestre du Quintenaire serait totalement différente, car dans

l'hémisphère Nord, il n'y aurait plus de glace et dans l'hémisphère Sud, seule la partie Est du continent Antarctique resterait englacée. Nous aurions alors une dissymétrie extrêmement importante entre les hémisphères Nord et Sud, et évidemment on peut en attendre de notables conséquences sur la répartition des climats de la Terre.»

P.S. «Bien sûr, il n'est pas absolument certain que nous ayons raison, mais il est hautement improbable que nous ayons totalement tort.»

Retranscrit par **Eric Veyssy** et **Laurence Candon**, avec les corrections d'**André Berger**.

un forage encore plus profond est en cours d'études dans le cadre du programme EPICA (Européen Project for Ice Coring in Antarctica : Projet Européen de forage de glace en Antarctique). Ce programme européen devrait apporter de nouveaux éléments pour répondre à des questions restées en suspens lors des précédents forages (de Vostok entre autres), notamment sur les changements climatiques rapides. Pour cela deux forages sont prévus. Le premier au Dôme Concordia devrait permettre de couvrir les 500 000 dernières années, l'épaisseur des glaces étant plus importante qu'à Vostok. Le deuxième forage est prévu en Antarctique Est et permettra pour les 100 000 dernières années, une comparaison avec les forages du centre du Groënland, qui avaient confirmé l'existence de variations climatiques rapides (de la dizaine d'années au siècle) lors de la dernière période glaciaire (cf article p.09 Cycles rapides).

### De Vostok à EPICA, la mémoire inépuisable des glaces.

La station scientifique de Vostok, Antarctique, est située sur un dôme de 3500 mètres d'altitude formé de glaces accumulées depuis des centaines de milliers d'années. En descendant dans les profondeurs des forages, on remonte le temps : chaque centimètre de glace renferme des bulles d'air piégées à l'époque de la formation de la glace. Ce sont de véritables extraits d'atmosphères fossiles. Plusieurs forages ont été réalisés avec un objectif toujours plus ambitieux : aller encore plus profond dans la glace afin de remonter encore plus loin dans le temps. En 1999, le dernier forage réalisé à Vostok a permis de prélever 3623 mètres de glace, c'est à dire de couvrir 420 000 ans d'histoire du climat. A quelques 1500 kilomètres plus à l'Ouest, à la station de Dôme Concordia,

© Bruno Maizaïé, Océan

\* «**Regards croisés sur les changements globaux**» Colloque CNES/CNFCG, Arles, 25-29 novembre 2002.

\* **PPMV** : Partie par million en volume c'est à dire 1 cm<sup>3</sup> pour 1 m<sup>3</sup>

\* **calotte continentale ou inlandsis** : glace reposant sur un continent émergé en quantité importante.

\* **Albédo** : proportion de l'énergie solaire réfléchi par la surface terrestre. C'est un phénomène majeur influant sur le climat.

\* **Rétroaction** : réponse d'un phénomène sur le phénomène qui l'a induit. La rétroaction est amplifiante lorsqu'elle provoque en retour une accélération du phénomène initiateur (par exemple réchauffement ou refroidissement), elle est modératrice lorsqu'elle l'atténue.

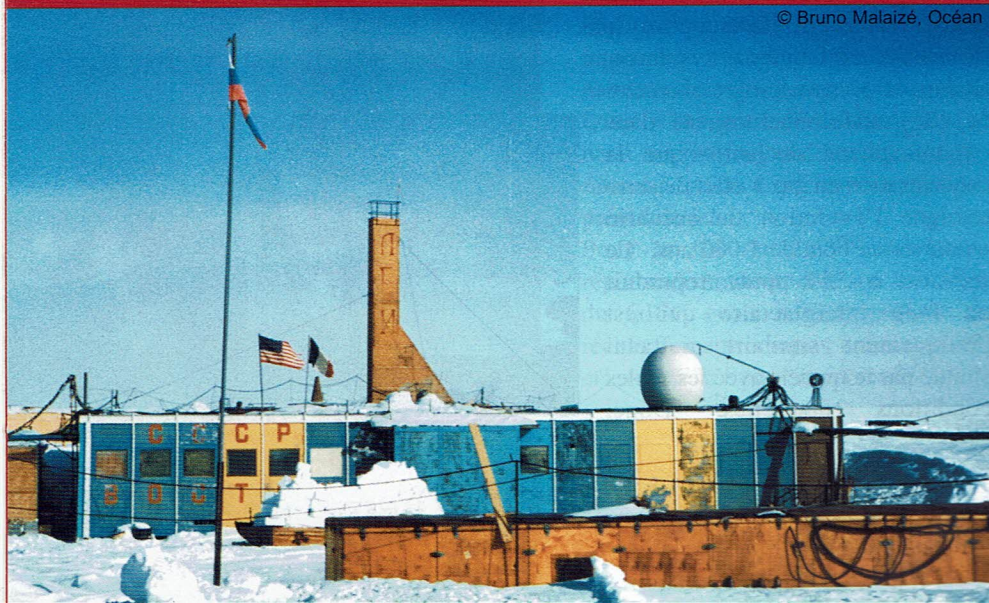
\* **Précession** : rotation autour d'un axe conique.

\* **Interglaciaire** : période climatique chaude à l'opposé d'une période glaciaire.

\* **GIEC** (Groupement/Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat) : crée en 1988 au sein du Programme des Nations Unies pour l'Environnement. Le dernier rapport du GIEC, publié en 2001, est téléchargeable sur internet : <http://ipcc.com>.

\* **Équivalent CO<sub>2</sub>** : contributions de tous les gaz à effet de serre dont le pouvoir radiatif total est ramené à la quantité équivalente en CO<sub>2</sub>, le CO<sub>2</sub> étant le principal gaz à effet de serre pris en référence dans le problème des activités humaines.

\* **Anthropocène** : bien avant de pouvoir dater de façon précise les périodes du passé terrestre, les géologues les ont nommées : de l'Archéen, au delà de 2,5 milliards d'années au Cénozoïque en passant par le Paléozoïque et le Mésozoïque. Chacune de ces grandes tranches d'histoire de la terre est ensuite découpée en systèmes ou ères, séries et étages de plus en plus précis. Nous sommes aujourd'hui dans l'ère Quaternaire\* depuis 1,65 millions d'années (et caractérisée par l'alternance climatique Glaciaire/Interglaciaire) et dans la série de l'Holocène ayant succédé au pléistocène il y a environ 10 000 ans.





«... Heinrich identifia des traces de débâcles rapides d'icebergs lors de la dernière déglaciation...»

Brèves



© Stéphanie Caradec, Océan.

En 1988, l'allemand Hartmut Heinrich amena la preuve que les cycles climatiques n'étaient pas aussi lisses qu'on le pensait. A partir de carottes prélevées en Atlantique Nord, il identifia des traces de débâcles rapides (1000 à 2000 ans, ce qui est bref à l'échelle des temps climatiques) d'icebergs lors de la dernière déglaciation. Depuis, d'autres recherches ont confirmé l'importance de ces événements froids dont on a également trouvé des traces sur les continents, en Europe du Nord, mais aussi en Israël ou en Chine. Lors de ces débâcles, l'eau douce des icebergs et des glaciers continentaux, arrivant abondamment en Atlantique Nord, a provoqué un fort ralentissement, voire un blocage de la plongée des eaux en Mer de Norvège, perturbant la circulation océanique mondiale. Privée de Gulf Stream, l'Europe s'est alors nettement refroidie, et elle est devenue plus aride. Ces événements ne semblent avoir aucun lien avec des variations d'insolation. Le démantèlement brutal de l'immense calotte de glace de la Laurentide (calotte nord-américaine) constitue l'évènement majeur de chacun de ces événements.

Quelques mois plus tard, à partir de forages dans les glaces du Groënland, le danois Dansgaard et le suisse Oeschger apportèrent des indices de variations intenses et encore plus rapides de l'ordre de 50 à 100 ans, et d'une cyclicité de l'ordre de 1 500 ans\*. Ils mirent en évidence des variations de la température groënlandaise d'environ 6 à 8°C en 50 ans et parfois moins. En 1993, les américains Bond et Broecker confirmeront ces «chaos climatiques» grâce aux traces sédimentaires récoltées dans l'Atlantique Nord\*. Dans certains réchauffements, on a même atteint la température actuelle alors que l'on était en pleine période glaciaire ! Ces «coups de boutoir du climat dans le chaud» auraient pu favoriser les débâcles d'icebergs mises en lumière par Heinrich. Un coup de chaud provoquant un coup de froid en quelque sorte.

Ces événements brusques et rapides du climat amènent à se poser d'autres questions. Certaines sont relatives à l'avenir proche : ces événements peuvent-ils se reproduire demain en Antarctique ou plus près de nous au Groënland ? Pour l'Antarctique, l'éventuelle fonte des glaces de la seule péninsule ouest est très surveillée aujourd'hui car elle pourrait faire évoluer le niveau marin global de 5 mètres. En ce qui concerne le Groenland, son éventuelle fonte

amènerait des quantités importantes d'eaux douces en surface. Et, de même que lors des événements passés décrits par Heinrich, ces eaux froides ralentiraient la remontée habituelle des eaux atlantiques de surface vers le pôle et leur plongée en Atlantique Nord. Il pourrait en résulter un refroidissement brutal et net de l'Europe. A ce sujet, des observations très récentes font état d'un ralentissement régulier de cette plongée et une accélération des flots de la glace\*. D'autres interrogations concernent les mécanismes responsables de ces faits pulsés et l'éventuel synchronisme des débâcles des différentes calottes. Enfin y-a-t-il des événements précurseurs que l'on pourrait identifier au niveau de l'Europe ou de l'Amérique du Nord ? Il semble que les «événements d'Heinrich» soient précédés par des relargages lents d'icebergs européens pendant 1000 à 1500 ans avant les débâcles. La période actuelle a quelques points communs avec ces prémices. Mais nous ne sommes plus dans les conditions initiales des événements les plus intenses : la calotte de glace de la Laurentide n'est plus ce qu'elle était. Reste le Groenland et l'Antarctique...

Ces résultats ont démontré que la cyclicité glaciaire/interglaciaire n'est pas une alternance progressive et tranquille et que les calottes polaires n'évoluent pas forcément en même

temps

que la température globale. On sait par exemple que si Cro-Magnon pouvait admirer le voyage des icebergs dans le golfe de Gascogne jusqu'au devant des côtes portugaises, il aurait pu aussi se baigner dans ses eaux qui atteignaient 16°C en été, soit une température abordable pour qui était doté, comme Cro-Magnon, d'un bon système pileux... Et tout cela en plein «maximum glaciaire», il y a 16 à 20 000 ans. Ces mêmes eaux étaient beaucoup plus froides durant les «événements d'Heinrich», qui encadrent ce «maximum glaciaire».

Le climat stable que nous connaissons depuis quelques siècles est une plage calme et peut-être trompeuse. La surprise causée par ces révélations récentes, explique l'humilité et les précautions que prennent les scientifiques dans une discipline (la paléoclimatologie), où les connaissances encore discontinues, évoluent très vite au fil des découvertes dans un champ d'exploration de temps et d'espace encore si peu parcourus ■

Eric Veyssy  
avec la participation de  
Frédérique Eynaud,  
Sébastien Zaragosy,  
Laurence Candon  
et Francis Grousset.

Notes :

\*«Evidence for general instability of past climate from 250-kyr ice-core record»

Dansgaard et al. Nature 364, 218-220, 1993

\*«Correlations between climate records from North Atlantic sediments and Greenland ice»

Bond et al., Nature 365, 143-147, 1993

\*«Long-lived vortices as a mode of deep ventilation in the Greenland Sea»,

Jean-Claude Gascard et al., Nature, avril 2002



# De la déforestation en Amazonie aux tempêtes sur l'Europe



Le climat de notre planète est un système complexe dans lequel sont imbriqués un très grand nombre de phénomènes atmosphériques, océaniques, terrestres etc... Tous les continents, toutes les régions du monde sont connectés et une modification en un endroit donné peut avoir d'étonnantes et inattendues répercussions à des milliers de kilomètres plus loin. C'est ainsi que d'Amazonie en Europe...





© Philippe Hillion,



**Entretien avec Christophe CASSOU,** chercheur au CNRS (Centre National de Recherche Scientifique)

détaché au CERFACS (Centre Européen de Recherche et de Formation Avancées en Calculs Scientifiques)

**Terre d'Océan :** Qu'est-ce que l'oscillation Nord Atlantique ?

**Christophe Cassou :** Tout le monde a entendu parler, dans le bulletin météo télévisé par exemple, de l'anticyclone des Açores et de la dépression d'Islande. L'oscillation Nord Atlantique (NAO) est une altération en intensité et en position de ces deux centres de pression climatologiques. Certaines années, la dépression d'Islande est plus «creusée», plus prononcée que la normale, et ce renforcement est associé à un anticyclone des Açores également plus musclé. Les deux centres d'action sont intensifiés simultanément et génèrent des vents à dominance ouest plus marquée sur l'ensemble du bassin Atlantique Nord. D'autres années, au contraire, les deux centres d'action sont plutôt «ramollis», d'où le nom d'oscillation pour caractériser l'alternance entre phases actives, ou NAO positive dans notre jargon, et phase molle ou NAO négative. La phase de la NAO est associée à de nombreuses entités météorologiques. On lui associe par exemple les trajectoires de tempêtes. Quand la dépression d'Islande et l'anticyclone des Açores sont renforcés (NAO positive), les tempêtes sont plus intenses et se décalent vers l'Atlantique Nord, passant préférentiellement sur les Iles Britanniques, la Mer du Nord puis la Norvège; à l'inverse, en phase NAO négative, les tempêtes passent de manière privilégiée sur la France, la péninsule ibérique, puis la Méditerranée.

**TO :** Alors justement, lors des tempêtes de décembre 1999, les

centres de pression sur l'Islande et les Açores étaient-ils exceptionnels ?

**CC :** Il est difficile de lier un événement isolé, en particulier un événement extrême de cette nature, à des circulations climatologiques à grande échelle pour lesquelles on parle en termes de statistique, en termes de moyennes etc... L'hiver 1999-2000 fut incontestablement dominé par des phases NAO positive et nous avons vu que les tempêtes passent statistiquement sur l'Atlantique Nord dans ce cas. Cependant, il arrive, même en phase NAO positive dominante, qu'une des tempêtes sorte du rang «classique» et vienne frapper plus au sud au niveau de la France comme en 1999. Il faut bien noter que des tempêtes de telle intensité existent au large sur l'océan, mais il est rare qu'elles balayent le continent en pleine puissance.

**TO :** Cette NAO influence-t-elle le climat que nous avons sur la France ?

**CC :** La NAO est le principal chef d'orchestre de notre climat européen, en particulier en hiver et au printemps. On lui associe quasiment la moitié de la variabilité d'une année à l'autre en termes de précipitations, de température et de chutes de neige (c'est un peu plus controversé pour ces dernières et surtout plus compliqué de par leur caractère régional). Mais rien n'est constant. Il y a fort à penser, par exemple, que la NAO n'était pas prédominante au début du siècle. En effet, il existe d'autres oscillations qui s'expriment à d'autres échelles de temps, ce qui rend l'étude du climat européen très complexe. Une chose est cependant sûre : la fin du 20<sup>ème</sup> siècle est largement dominée par la NAO et l'on peut se demander s'il s'agit d'une

signature/conséquence du réchauffement planétaire ou d'autres facteurs.

**TO :** Dans tes recherches, tu as démontré que des zones éloignées les unes des autres pouvaient finalement être connectées. Tu dis en particulier que ce qui se passe en Amazonie/Caraïbes pourrait en particulier avoir un effet sur notre climat en France.

**CC :** Oui ... apparemment la région Amazonie/Caraïbes serait une zone clé jouant sur la phase de la NAO et donc sur le climat européen. Il faut bien comprendre que l'atmosphère par elle-même génère ses propres modes de variabilité et n'a pas besoin des autres composantes climatiques comme l'océan, la glace de mer, etc... pour évoluer. Ainsi, l'atmosphère de l'Atlantique Nord fluctue intrinsèquement entre différents régimes comme, entre autres, la NAO positive et la NAO négative. Si l'atmosphère était isolée, elle passerait de manière chaotique d'un état à l'autre avec une fréquence de transition de l'ordre de la dizaine de jours. Or ce n'est pas du tout ce qui se passe dans la réalité, car l'atmosphère est bien évidemment dépendante de l'océan, de la végétation etc... qui sont des systèmes à «évolution plus lente» et qui contraignent l'atmosphère à «ralentir» ou à se maintenir dans un régime donné. Il apparaît ainsi que la zone Atlantique tropicale Nord (océan+continents), c'est à dire l'Amazonie/Caraïbes, semble avoir une influence sur la NAO. Alors pourquoi l'Amazonie/Caraïbes ? La nature déteste les différences et l'ensemble du climat terrestre peut se comprendre comme l'établissement de mouvements (courants dans l'océan, vents dans l'atmosphère)



© Stéphanie Caradec, Océan.





pour réduire les contrastes entre le froid polaire et la chaleur tropicale. La chaleur monte du sol vers la haute atmosphère dans la bande tropicale, puis est lentement transférée vers 30 degrés de latitude Nord. Cette énergie thermique se transforme alors par des processus complexes en énergie dynamique et aboutit à la formation de tempêtes qui à nos latitudes, dites tempérées, prennent le relais pour transporter de la chaleur vers le pôle. Il semblerait que l'Amazonie soit une zone clé pour ce mécanisme. Le bassin amazonien est une des zones les plus arrosées de la planète. Les précipitations s'expliquent par l'existence de mouvements verticaux puissants qui s'accompagnent d'orages importants (convection) dus à la présence simultanée d'humidité et de chaleur. Donc si l'on perturbe ce cocktail humidité/chaleur des tropiques, on modifie en définitive la source potentielle des tempêtes et l'ensemble du climat européen en bout de chaîne.

**TO :** Qu'est ce qui peut perturber les régimes des pluies au niveau de l'Amazonie/Caraïbes ?

**CC :** Des sources locales, tout d'abord. Les précipitations dans les régions tropicales sont liées aux conditions de surface à la fois océaniques et continentales. Dans le cas présent, les régimes des pluies sur la zone Amazonie/Caraïbes sont sensibles à la nature de la couverture végétale (forêt, culture, lacs etc...) et à l'état de l'Océan Atlantique tropical adjacent. Des conditions anormales de température de surface océanique sur le bassin Atlantique tropical Nord et/ou Sud jouent sur la position et l'intensité des pluies sur le continent. Il existe aussi des sources dites «à distance». L'Océan Pacifique par les événements El Niño contrôle aussi une partie de la variabilité des pluies sur le continent

Sud-Américain et le bassin des Caraïbes. Enfin, une troisième source, plus indirecte, émanerait de l'Océan Indien qui perturbe les précipitations, en premier sur l'Afrique, et en bout de chaîne, la convection sur le continent Sud-Américain. Cette relation Indien-Amazone est encore controversée mais ce qu'il faut retenir, c'est que l'ensemble de la bande tropicale forme «un tout» fortement connecté.

**TO :** Au delà de ces causes naturelles, l'action de l'homme peut-elle aussi avoir un impact ?

**CC :** Bien sûr... Les causes d'origine anthropique s'articulent essentiellement autour de la déforestation qui aurait pour effet de diminuer le régime des précipitations sur l'Amazonie. Les processus mis en jeu sont très complexes et résultent d'un déséquilibre subtil entre l'humidité du sol, l'évaporation, la quantité de rayonnement solaire qui atteint le sol etc... Transformer la forêt en terres cultivables affecte localement les réserves d'eau, la convection, les précipitations, l'érosion des sols. Mais des études ont montré à l'aide de modèles climatiques couplés atmosphère-végétation, que si on enlevait artificiellement l'Amazonie, si on la remplaçait par des cultures, on augmenterait la fréquence des tempêtes sur l'Europe, c'est à dire bien loin de l'Amazonie. Bien que l'on en parle beaucoup moins qu'à une certaine époque, il est important de rappeler que la déforestation tropicale se poursuit à un rythme effrayant.

**TO :** La conséquence de cette déforestation serait donc plus de tempêtes sur la France ?

**CC :** Il est difficile de donner une réponse tranchée à cette question dans la mesure où tous les modèles ne donnent pas les mêmes résultats en terme de localisation et intensification des tempêtes lorsque le climat amazonien change. Mais il est clair que tous les modèles montrent un changement climatique aux latitudes tempérées lorsque les régimes de pluie sur la zone Amazonie/Caraïbes sont modifiés. Ce

qu'il faut retenir, en définitive, c'est que toute région si petite soit-elle est connectée climatologiquement au reste de la planète. Il est donc essentiel d'avoir une politique cohérente non seulement à l'échelle locale mais aussi globale.

**TO :** Justement, quel est ton sentiment sur le rapport entre la recherche et le transfert vers les politiques ?

**CC :** C'est une question très délicate. Je pense qu'il est temps aujourd'hui pour les scientifiques de fournir un discours clair, convaincant et non frileux sur le rôle indéniable de l'homme dans le changement climatique que nous connaissons. Je pense qu'il est temps aujourd'hui pour les politiques, en se basant sur les conclusions scientifiques, de susciter une véritable révolution des modes de pensées et des comportements qui impliquent tous les citoyens du monde. Je crois, par exemple, que l'éducation des jeunes et des moins jeunes, que la communication du savoir sur les changements climatiques, doivent aller de pair avec une volonté politique marquée dans les domaines du transport, de l'énergie, du respect de l'environnement etc. Il faut que les politiques et les scientifiques travaillent main dans la main afin que les êtres humains prennent de plus en plus conscience que chacun, vous, moi, nous, jouons un rôle dans l'évolution du climat. Et peut-être que tout simplement, il faudrait écouter un petit peu plus le bon sens... ■

Propos recueillis par Eric Veyssy et Laurence Candon, lors du colloque «Regards croisés sur les changements globaux» à Arles, en novembre 2002.

© Christophe Cassou.



**TO :** A partir de quelle vitesse de vent peut-on réellement parler de tempête ?

**CC :** Tout dépend des conséquences, de l'étendue des dégâts, ce qui rend la définition subjective. Il existe une échelle météo qui place la barre autour de 90 km/h pour un vent moyen. L'extension spatiale des vents violents est aussi un facteur qui rentre en compte.



# peut-elle être bénéfique ?

© Eric Veyssy, Océan.

L'intensification de l'effet de serre

L'accroissement du CO<sub>2</sub> atmosphérique et d'autres gaz à effet de serre provoqué par la combustion d'hydrocarbures fossiles et d'autres activités humaines modifie le climat et affecte aussi directement les plantes terrestres qui se «nourrissent» de CO<sub>2</sub>. Pour l'agriculture comme pour les forêts, les possibilités d'adaptations à ce changement climatique rapide sont tributaires de l'ensemble des modifications apportées à leur milieu: hydrologie, climat, CO<sub>2</sub> et autres (ozone, dépôts d'azote...).

En réponse au changement climatique, la période de croissance des végétaux a augmenté dans l'hémisphère nord depuis une quarantaine d'années, le début de saison ayant connu un avancement de 6 à 10 jours pour la plupart des arbres et végétaux observés. Le CO<sub>2</sub> étant l'élément de base de la croissance des plantes, on pouvait penser que l'accroissement en CO<sub>2</sub> aurait un effet dopant pour celle-ci et donc pour les rendements agricoles. Ainsi le changement climatique aurait pu être un espoir de mieux nourrir les populations mondiales. Mais la réalité apparaît plus complexe. Les bénéfices vont dépendre du climat régional et du type de plante. Ils concerneront des cultures céréalières des moyennes et hautes latitudes, c'est à dire essentiellement l'agriculture intensive des pays développés exempts de pénuries alimentaires. De plus, ces augmentations de rendement restent conditionnées par d'importants apports d'eau et d'engrais... et probablement de produits phytosanitaires, car le réchauffement pourrait favoriser l'émergence de parasites. L'accroissement de divers types de pollution atmosphérique (ozone) ou phréatique pourrait cependant annuler tout effet positif du

«... Le CO<sub>2</sub> étant l'élément de base de la croissance des plantes, on pouvait penser que l'accroissement en CO<sub>2</sub> aurait un effet dopant pour celle-ci et donc pour les rendements agricoles...»

changement climatique sur les rendements agricoles. Par contre, dans la plupart des régions tropicales et subtropicales, les rendements pourraient baisser. En résumé, il ne faut sans doute pas compter sur le changement climatique pour améliorer l'état alimentaire ou sanitaire de la planète... Il pourrait tout aussi bien les détériorer.

Les zones forestières ont été intégrées dans les marchandages des droits d'émissions inclus dans les accords de Marrakech (novembre 2001) faisant suite au protocole de Kyoto. Certains pays, dont les Etats-Unis (bien que finalement non signataire de ces accords) ainsi que le Japon et l'Australie, ont avancé la capacité des forêts à stocker du carbone et atténuer ainsi l'augmentation anthropique de l'effet de serre. Un an plus tôt à La Haye, c'était déjà un gros point de discorde entre la France et les Etats Unis. Mais la base scientifique de l'argument est contestable : sur une longue période de temps, le bilan global de carbone d'une plantation forestière est au mieux équilibré et l'accroissement des surfaces forestières peut tout au mieux tamponner provisoirement l'accroissement de la teneur en CO<sub>2</sub> atmosphérique. Les estimations de la marge de stockage de carbone envisageable pour les écosystèmes terrestres montrent que celle-ci ne peut en aucun cas compenser à elle seule les émissions de carbone liées à l'utilisation de combustibles fossiles. On peut cependant souligner que l'utilisation de produits comme le bois pour remplacer des matériaux coûteux en énergie fossile (aluminium, acier, métaux, béton...) ou comme source d'énergie se substituant

aussi important que la séquestration de carbone dans les arbres vivants. Même si elle n'est pas encore prise en compte dans les accords en vigueur, un développement de la filière forêt-bois respectueux du patrimoine mondial de biodiversité doit donc être encouragé. Remarquons malheureusement que ce vœu reste à l'heure actuelle incantatoire, l'exploitation forestière des milieux tropicaux étant aujourd'hui à l'opposé d'une gestion raisonnée de la biodiversité de ces écosystèmes qui constituent le principal réservoir de la biodiversité terrestre. ■

## Denis Loustau\* et Eric Veyssy

\* Denis Loustau est chercheur à l'INRA et travaille sur le projet CARBOFOR qui a pour but de quantifier les impacts d'un changement climatique sur le bilan et le stockage de carbone, la production primaire et l'hydrologie des grands écosystèmes forestiers français (feuillus sociaux de plaine, pinède atlantique, chênaie méditerranéenne), ainsi que des plantations industrielles d'Eucalyptus en milieu tropical. Tous les détails : <http://www.carbofor.fr.st>

## Références :

«Regards croisés sur les changements globaux» Communications du colloque CNES/CNFCG, Arles, 25-29 novembre 2002

«Bilan 2001 des changements climatiques : les éléments scientifiques» Rapport du groupe de travail du GIEC, 2001

«Effet du changement climatique sur l'agriculture et les forêts» Conférence de Charles Valancogne et Denis Loustau, Chercheurs à l'INRA, AQUAFORUM du 28 février 2002

«... l'accroissement des surfaces forestières peut tout au mieux tamponner provisoirement l'accroissement de la teneur en CO<sub>2</sub> atmosphérique...»

aux hydrocarbures fossiles offre un potentiel de réduction au moins





# Les feux tropicaux nous réchauffent-ils ?



Entretien avec  
**Didier HAUGLUSTAINÉ**,  
chercheur au Laboratoire  
des Sciences du Climat  
et de l'Environnement  
hauglustaine@cea.fr

Le carbone, élément socle de la vie, est au centre du système climatique. Les glaces de Vostok en Antarctique en ont apporté la preuve absolue. Appréhender sa dynamique terrestre est une des préoccupations fondamentales des chercheurs. Son cycle est décortiqué, de la saison aux milliers d'années, de l'émission locale à la réponse de la planète. Sous la chaleur des tropiques, les feux émettent tous les ans des polluants (gaz et poussières) dans l'atmosphère. Didier Hauglustaine nous éclaire sur l'impact climatique local et global de ces feux, sur l'importance des poussières atmosphériques qui, selon le dernier rapport du GIEC\*, pourraient être en partie responsables du léger refroidissement global du milieu du 20<sup>ème</sup> siècle.

## Lexique

**Aérosols** : fines particules solides ou liquides, en suspension dans un gaz sous pression.

**Biomasse** : masse totale des animaux et des végétaux.

**Effet de serre additionnel** : l'effet de serre existe naturellement. L'effet de serre additionnel est dû aux émissions de gaz à effet de serre dégagés par les activités humaines

**Forçage radiatif** : capacité à absorber et ré-émettre de l'énergie.

**GIEC** : Groupement Intergouvernemental sur l'Evolution des Climats (en anglais IPCC : Intergovernmental Panel of Climate Change).

**Photochimie** : réaction chimique provoquée par les radiations solaires

**Equivalent CO<sub>2</sub>** : c.f. Lexique p.08 (article d'André Berger).

**Troposphère** : couche de l'atmosphère la plus proche de la surface de la Terre, dont l'épaisseur augmente du pôle (7 km) à l'équateur (17 km).

**Convection** : mouvement atmosphérique verticaux et latéraux

**Rétroaction** : c.f. lexique p.08 (article d'André Berger).

**Terre d'Océan** : Dans le bilan du cycle du carbone, les zones tropicales sont très influentes sur l'effet de serre additionnel\*. En quoi elles sont plus importantes qu'on ne le pensait jusque là ?

**Didier Hauglustaine** : Ce qui apparaît de plus en plus clairement, c'est que la combustion de la biomasse\* est responsable d'importantes émissions de gaz à effet de serre et de particules dans l'atmosphère. Ces émissions affectent la composition chimique de l'atmosphère localement, mais aussi à l'échelle continentale et même planétaire. Des mesures ont montré qu'au milieu du Pacifique, dans des régions éloignées des feux, on retrouve des produits de la combustion de la biomasse tropicale. Car ces produits de combustions sont rapidement transportés et redistribués par les

mouvements atmosphériques planétaires. Cela concerne tous les gaz : les gaz à effet de serre à longue durée de vie (cf encart) comme le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), ou le méthane (CH<sub>4</sub>), mais également des gaz plus réactifs comme le monoxyde de carbone (CO) ou l'ozone (O<sub>3</sub>). Lorsqu'il y a des épisodes de feux comme en Indonésie en 1997, suite à El Niño (cf encart), ou encore en Amérique du Sud, ou plus près de chez nous au Portugal lors de l'été 2002, tous ces gaz ont eu des teneurs très élevées dans l'atmosphère.

**TO** : Au delà du type de gaz émis, sait-on les quantifier pendant ces grands feux de forêt ?

**DH** : Les travaux de recherche progressent rapidement dans ce domaine. Les inventaires que l'on utilisait précédemment à partir de

L'Environnement



## Les feux tropicaux...

mesures sur le terrain, étaient assez incomplets. On essayait d'estimer les surfaces brûlées à partir de mesures sur le terrain et on extrapolait ensuite ces résultats pour en déduire des émissions pour les différents gaz et les aérosols à l'échelle globale. Cette approche permettait de calculer des émissions moyennes sur une période. Aujourd'hui, les données satellitaires donnent les images précises des surfaces brûlées. Il est alors possible d'en déduire les émissions de carbone mais aussi d'autres gaz polluants, comme les oxydes d'azote ( $\text{NO}_x$ ) qui vont contribuer à la formation d'ozone dans la troposphère\*. Mais on manque de données dans ces régions là pour alimenter nos modèles numériques. C'est le cas en particulier pour l'ozone pour lequel très peu de séries de mesures existent sur de longues périodes. Avec les mesures satellites, nous pouvons suivre à la fois l'évolution des feux et leurs impacts sur les régions tropicales.

**TO :** Et des feux, il y en a de plus en plus ?

**DH :** Il est difficile de savoir comment ces feux ont évolué dans le temps. Mais il est vrai que leur nombre suit la population ; donc plus il y a de personnes pour déboiser, plus il y a de feux.

**TO :** Il y a aussi les feux naturels...

**DH :** Dans les forêts boréales il y a beaucoup de feux naturels (en Sibérie, au Canada) initiés en particulier par les éclairs. Mais sous les tropiques, c'est vraiment la déforestation : le brûlage des forêts et de la savane, ou l'utilisation de bois pour se chauffer et cuisiner, comme c'est le cas en Asie du Sud-Est.

**TO :** La somme de ces feux est-elle un des facteurs importants des changements climatiques ?

**DH :** Oui, c'est un facteur extrêmement important de l'impact de l'homme sur l'atmosphère et le climat. Ce qui est nouveau, c'est de se rendre compte à quel point ce phénomène est global et va modifier la composition chimique de l'atmosphère pour des régions très sensibles. Ceci parce que la photochimie\* y est rapide, puisque l'ensoleillement est important et les processus de redistribution par les transports atmosphériques sont efficaces.

**TO :** Parmi tous les gaz en question, l'ozone joue un rôle à la fois dans le changement global et dans la qualité de l'air.

**DH :** Oui, l'ozone mais aussi les aérosols\*, carbonés en particulier. En tant que chimiste, j'insiste toujours en disant que le  $\text{CO}_2$  est important puisqu'il a un temps de vie très long dans l'atmosphère, de l'ordre de 100 ans, mais il ne représente que 50% de l'effet de serre additionnel. Donc il est vrai que si l'on oublie le reste, on ne peut pas agir de manière efficace contre l'effet de serre, qui est dû à la fois aux gaz à longue durée de vie et aux gaz à courte durée de vie, dont l'ozone, qui contribue pour 20 ou 25 % à l'effet de serre.

**TO :** On en parle assez peu finalement, de cet ozone-là ?

### La durée de vie des gaz à effet de serre dans l'atmosphère.

Au centre des complexités de l'atmosphère, le temps de séjour des gaz à effet de serre est une donnée capitale pour la gestion. En effet, car il y a des gaz sur lesquels les effets d'une politique peuvent être rapides, et d'autres pour lesquels ces effets ne se mesurent que sur plusieurs générations. Cette durée de séjour avant élimination est d'environ 120 ans pour le  $\text{CO}_2$ , 12 ans pour le  $\text{CH}_4$ , 114 ans pour le  $\text{N}_2\text{O}$  et peut atteindre plus de 50 000 ans pour certains halogénés. Autre complexité de la chimie atmosphérique : le comportement des gaz dépend de leur altitude, de l'ensoleillement, des gaz associés et de leur propre concentration. Les modèles climatiques ne prennent pas encore en compte toutes les subtilités de cette chimie dont les rétroactions\* sont sans aucun doute de première importance.



**DH :** Il est vrai qu'avant, dans les modèles climatiques, il n'y avait que le  $\text{CO}_2$ . Par la suite, les modélisateurs se sont dits qu'ils allaient travailler en «équivalent  $\text{CO}_2$ »\*... Lorsqu'on considère les perturbations globales, ce n'est pas une mauvaise approximation. Mais pour étudier les perturbations locales et faire ainsi de la régionalisation, ce n'est plus suffisant car les autres gaz et les aérosols réagissent vite et ont des forçages radiatifs beaucoup plus localisés, à l'échelle d'une région ou d'un continent. Exemples : dès qu'il pleut, les aérosols sont éliminés. Quant à l'ozone, il ne reste dans l'atmosphère que quelques jours ou quelques semaines. Ces composés-là n'ont pas le temps d'être transportés dans l'atmosphère parce qu'ils en sont éliminés très vite. C'est bien de se préoccuper du  $\text{CO}_2$  ; mais il y a de nombreux autres gaz à effet de serre

© Laurent Theillet et Jean-Paul Larrouy-Castéra





## ...nous réchauffent-ils ?

moins bien connus, et aux comportements différents. Et surtout les particules ou aérosols.

Certains aérosols vont rétro-diffuser la lumière solaire, et vont refroidir ainsi les basses couches de l'atmosphère et la surface. C'est le cas des sulfates. Par contre, les aérosols carbonés sont noirs et absorbent donc l'énergie solaire et réchauffent l'atmosphère. Mais cela, on est très loin de bien le comprendre et surtout de le représenter précisément dans nos modèles... Car ces différents types d'aérosols se mélangent, donnant lieu à une véritable chimie des aérosols et, suivant les types de mélange, les propriétés optiques de ces particules et en conséquence leurs effets sur le climat peuvent être complètement différents.

**TO :** Ces particules atmosphériques n'ont donc pas encore livré tous leurs secrets...

**DH :** Dans les rapports du GIEC les marges d'erreur sur les forçages radiatifs sont assez faibles, excepté pour les aérosols. Pour eux, l'erreur sur le forçage radiatif que l'on peut faire dans nos calculs peut atteindre voire dépasser un facteur 2. De plus, les aérosols interviennent dans la

chimie de l'atmosphère, car ils constituent des surfaces réactives sur lesquelles les gaz vont réagir. Ils sont donc doublement importants.

**TO :** Ces aérosols si importants, sont-ils d'origine naturelle ou issus des activités humaines ?

**DH :** Les aérosols dont nous parlons ici sont essentiellement anthropiques. Ils sont émis par les feux tropicaux et surtout par l'utilisation des combustibles fossiles. Il semble que les sécheresses actuelles en Chine soient dues aux aérosols carbonés car ceux-ci changent le régime de convection\* et de transports atmosphériques dans ces régions. En conséquence, le régime des précipitations est affecté.

**TO :** Ceci est surtout valable pour l'Asie ?

**DH :** Cet effet est particulièrement préoccupant en Asie du Sud-Est, où les usines sont très polluantes et où les gens utilisent encore beaucoup de bois de chauffage et de charbon. Il y a donc une forte émission d'aérosols carbonés dans ces régions et on prévoit qu'elles vont continuer à augmenter en suivant la croissance démographique et les développements économiques ■

## El Niño : un dérèglement régional récurrent

Il y a des zones où naturellement, les variabilités climatiques interannuelles sont très importantes. «El Niño» (nommé ainsi en référence à l'enfant Jésus, car c'est un phénomène qui se produit au moment de Noël), courant océanique chaud longeant la côte péruvienne au moment de Noël est devenu le symbole des contre-pieds climatiques récurrents dans l'hémisphère sud. Cette «oscillation australe», phénomène naturel existant depuis plusieurs milliers d'années, se produit dans une zone où les conditions océaniques et atmosphériques sont très changeantes. D'une année à l'autre, les vents entraînant les courants océaniques de surface, peuvent avoir des intensités très variables et même s'inverser. Les «humeurs d'El Niño» provoquent des perturbations abruptes s'étendant de l'Amérique du Sud à l'Australie : des pluies intenses et des inondations, des sécheresses et des feux de forêts, des graves crises pour la pêche et l'agriculture.

Propos recueillis par **Eric Veyssy** et **Laurence Candon**, lors du colloque «Regards croisés sur les changements globaux» à Arles, en novembre 2002.





Cette nouvelle rubrique est ouverte à tous ceux qui assistent aux Diaporamas/Conférences/Débats du jeudi soir (18h30/20h00) de l'Aquaforum et qui veulent réagir, proposer une synthèse ou un prolongement aux exposés et discussions. Pour que l'Aquaforum soit plus que jamais un espace de réflexion, de convivialité et de liberté, n'hésitez pas à vous exprimer. Alors à vos stylos.

# Variations glaciaires et changements climatiques dans les Pyrénées



par P. René, Glaciologue  
et Président de l'Association Moraine

**D**ans les Pyrénées, étant donné la latitude (42°45' latitude Nord), l'altitude maximum (3400 m) et le climat régional, les glaciers se trouvent à la limite de leurs conditions d'existence. Ils sont donc extrêmement réduits, leurs surfaces étant inférieures à 1 km<sup>2</sup>. Cette spécificité en fait des indicateurs d'autant plus sensibles aux variations climatiques. En effet, depuis 150 ans environ, ils connaissent une forte régression puisque leur perte de superficie atteint en moyenne 80 à 90%. Alors que, durant la même période, les glaciers alpins ont perdu entre 20 et 30% de leur surface. Le suivi des glaciers pyrénéens (les plus méridionaux d'Europe) complète la base de données mondiale de surveillance de la Terre, au niveau d'une région (le Sud-Ouest de la France) où le réchauffement climatique serait particulièrement important.

### Etat actuel des glaciers pyrénéens

Aujourd'hui, la chaîne pyrénéenne compte une cinquantaine de glaciers ayant une surface supérieure à 2 ha et couvrant au total environ 5 km<sup>2</sup> entre la France et l'Espagne. Ils se répartissent au sein de dix massifs allant de celui du Balaïtous à l'Ouest à

celui du Mont Valier à l'Est. Moins de la moitié d'entre eux possède des crevasses, signes d'une dynamique encore présente. A titre d'exemple, dans le massif du Vignemale, les vitesses d'écoulement sont de 1 à 10 m/an, selon les endroits, pour le glacier d'Ossoue, tandis que celui des Oulettes de Gaube, doté d'une forte pente dans sa zone supérieure, présenterait des déplacements de plus de 50 m/an. Seulement dix glaciers dépassent les 10 ha et la plupart d'entre eux sont dit «de suraccumulation», c'est à dire formés aux pieds de parois abruptes où se déclenchent des avalanches qui, par leurs dépôts, augmentent l'accumulation neigeuse. Les plus grands sont ceux d'Aneto avec 76 ha et Maladeta avec 45 ha dans le massif d'Aneto (Espagne), et celui d'Ossoue avec 58 ha (France), ils sont tout naturellement les plus étudiés de la chaîne, par des scientifiques espagnols d'un côté et par l'Association Moraine sur l'autre versant.

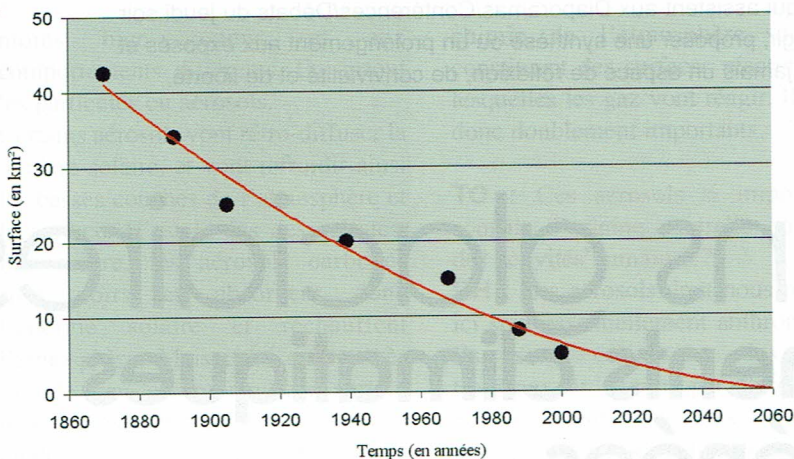
### Méthodes d'étude mise en œuvre dans les Pyrénées

Sur le versant français des Pyrénées, les observations et les mesures mises en œuvre concernent neuf glaciers judicieusement sélectionnés. L'objectif est de suivre l'évolution annuelle des

masses glaciaires. Pour ce faire, les méthodes d'investigations sont nombreuses : elles consistent à définir l'étendue des zones d'accumulation et d'ablation et l'altitude des lignes d'équilibre, à mesurer la position des fronts glaciaires, les vitesses d'écoulement et les variations de volume (ou bilan de masse). Cette dernière technique qui permet de connaître le gain ou la perte annuel(le) de masse, reflète directement les données du climat (températures et précipitations). Elle est donc particulièrement intéressante, mais nécessite de lourds moyens humains et matériels. Il s'agit d'une part de mesurer par carottage la quantité de neige accumulée pendant l'hiver glaciaire (octobre à mai), et d'autre part de quantifier la fonte enregistrée pendant l'été glaciaire (juin à septembre), grâce à des balises (elles sont ancrées dans la glace et voyagent avec le glacier) dont l'émergence fournit la couche de glace disparue depuis la dernière mesure. Le bilan annuel de masse, en mètre d'eau, est égal à l'accumulation moins l'ablation. S'il est négatif alors le glacier perd du volume, dans le cas contraire, il en gagne.

De plus, de façon ponctuelle, des études sont menées, comme celle ayant pour but de reconstituer les variations frontales de trois glaciers depuis la fin du Petit Age Glaciaire





Evolution de la surface totale englacée des Pyrénées depuis 1870 (données de l'Association Moraine).

(1850). Elle s'inscrit dans le cadre d'un vaste projet sur l'histoire du climat pyrénéen depuis le Moyen-Age, et découle du programme européen ECLIPSE.

## Evolution récente des glaciers pyrénéens

Le suivi des glaciers des Pyrénées a débuté au cours de la deuxième moitié du XIX<sup>e</sup> siècle, avec la participation de divers intervenants utilisant des méthodes différentes. Mais surtout, ce suivi est discontinu dans le temps. Depuis la fin du Petit Age Glaciaire (entre 1550 et 1850, période au climat favorable à l'accroissement des glaciers), la décrue glaciaire est spectaculaire. La surface totale des glaces pyrénéennes est ainsi

passée d'environ 25 km<sup>2</sup> en 1900 à 5 km<sup>2</sup> aujourd'hui, soit une superficie divisée par cinq en 100 ans. De nombreux glaciers ont complètement disparu à l'image de ceux du Néouvielle. Les fronts glaciaires ont considérablement reculé, 450 m pour celui des Oulettes de Gaube et 750 m pour celui du Taillon (massif de Gavarnie). Mais, durant ces 150 années, il y eu au moins quatre courtes périodes de progression des fronts,

donc un climat favorable à l'embonpoint des glaciers. Elles se situent dans les années 1890, 1920, 1945 et 1980. La crue des années 1970-80 a sans doute été la plus importante depuis le Petit Age Glaciaire, puisque le front du glacier d'Ossoue aurait avancé de 150 m entre 1965 et 1985.

Plus récemment, les glaciers connaissent une régression



© L. Gaurier.



© Pierre René.

Glacier d'Ossoue (massif du Vignemale) depuis le col des Gentianes

importante avec des bilans de masse négatifs au cours des années glaciaires (octobre à septembre) 1997-98, 1998-99, 1999-00, 2001-02 et 2002-03. Le glacier d'Ossoue a perdu environ 1 m d'eau par an en moyenne sur l'ensemble de sa surface. Le cycle 2000-01 avait par contre connu des bilans de masse positifs. Les fronts gla-

Le glacier d'Ossoue, qui s'échelonne entre 2730 et 3220 m, couvre 58 ha. Il comporte un vaste plateau supérieur alimentant une langue glaciaire plus pentue, le tout représente une longueur de 1600 m contre 2500 m vers 1850. D'où un retrait global de 900 m depuis les moraines construites lors du Petit Age Glaciaire. La position de ces dépôts glaciaires permet d'estimer la surface d'alors, à savoir 110 ha (1.1km<sup>2</sup>). En 150 ans, la perte de superficie atteint ici quasiment 50%, il s'agit pourtant d'un des glaciers pyrénéens qui a le moins régressé.

Depuis 1911, le front du glacier d'Ossoue a reculé de 420 m. En 90 ans, sa superficie est passée d'environ 90 à 58 ha, soit une perte de surface de 35%. Concernant la diminution de volume, le pourcentage de perte est bien plus important. On peut s'en rendre compte en voyant le creusement du plateau supérieur.

Si les prévisions des modèles climatiques pour le XXI<sup>e</sup> siècle se concrétisent, à savoir une augmentation des températures d'au moins 1.5°C d'ici 2100, ou si l'évolution passée se poursuit, alors les glaciers des Pyrénées pourraient disparaître totalement d'ici le milieu du siècle en cours.

En effet, le graphique ci-dessus montre une tendance nette à la régression depuis la fin du Petit Age Glaciaire. Toutefois, certaines de ces valeurs correspondent à des estimations et non à des mesures rigoureuses. Ce graphique est donc à interpréter avec beaucoup de réserves.



© Stéphanie Caradeu



ciaires, quant à eux, perdent selon les glaciers 3 à 10 m de terrain par an ces dernières années ■

P. René



### L'Association Moraine

[www.moraine.fr.st](http://www.moraine.fr.st)  
[asso.moraine@wanadoo.fr](mailto:asso.moraine@wanadoo.fr)  
06 71 47 30 32

La création récente de l'association Moraine, dont le but est l'étude et la diffusion des connaissances sur les glaciers pyrénéens, vient combler une lacune importante puisque ces éléments du milieu naturel étaient délaissés de toutes observations régulières depuis plus de quinze ans.

Dans un contexte où l'évolution du climat est un sujet d'actualité récurrent, comment pouvait-on délaissier les glaciers des Pyrénées ?

L'association Moraine constitue donc la structure spécialisée d'étude des glaciers des Pyrénées françaises. Dans le cadre de son activité, elle a su mettre en place de nombreux partenariats avec divers organismes comme le laboratoire de glaciologie de Grenoble, le Parc National des Pyrénées, les services de Restauration des Terrains en Montagne (65 et 31), le laboratoire GEODE de Toulouse, Météo France, la Région Midi-Pyrénées, l'Agence de l'Eau Adour-Garonne, le Conseil Général de la Haute-Garonne et la Mairie de Luchon (31).

09/2001.



Entrée

## CONFERENCES DEBATS

Tous les

jeudis soirs de 18h30 à 20h

*A l'Aquaforum, en bord de Garonne, derrière le centre commercial Rives d'Arcins.*

Ces soirées abordent des sujets de société liés aux fleuves et plus

généralement à l'eau, à

l'océanographie, aux changements

environnementaux et aux activités

humaines actuelles et passées qui

leurs sont liées. Ces sujets sont

abordés à la lumière des

connaissances acquises et exposées

par les scientifiques, les historiens et

les professionnels.

**Programme disponible sur**

**<http://www.ocean.asso.fr>**

**ou par téléphone au**

**05 56 49 34 77**



© François Weisbecker, Océan.



# AQUAFORUM

RIVES D'ARCINS



Libre



# Lire notre avenir dans les nuages

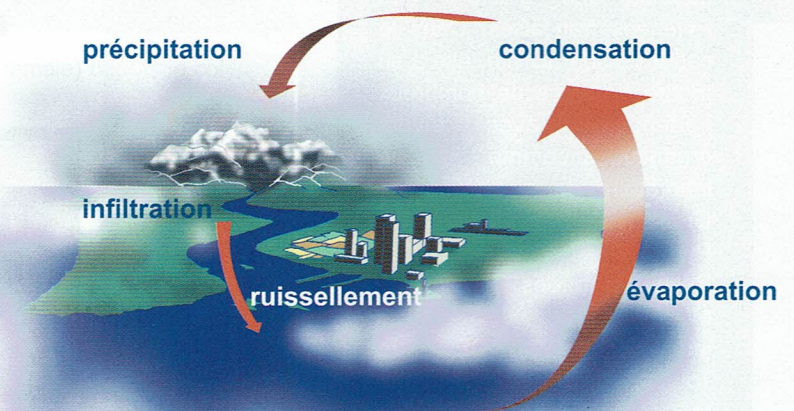
© Stéphanie Caradec, Océan.

«L'eau, c'est la vie !» a-t-on coutume de dire. Mais l'eau c'est aussi et avant tout le fluide essentiel de la régulation de notre climat planétaire et de nos climats régionaux. Et on l'oublie souvent ! Sans doute parce que son cycle n'est pas aussi simple qu'il n'y paraît à première vue. C'est même l'une des plus grandes complexités de notre belle planète «bleue». C'est particulièrement vrai au niveau de l'atmosphère, de sa dynamique et...des nuages. Comprendre finement et anticiper le cycle de l'eau est pourtant un préalable incontournable pour préciser régionalement les projections climatiques du siècle prochain. Au cours d'un exposé d'une grande «fluidité» et d'une sincérité peu commune, Robert Kandel a fait l'état des connaissances sans rien masquer des zones d'ombres nouvelles ou persistantes de l'extraordinaire variance de nos nuages au pouvoir climatique majeur.

D'après la conférence de **Robert Kandel** à l'Aquaforum le 13 novembre 2003 : «le changement climatique et les ressources en eau»

## «Le climat, c'est avant tout de la variabilité»

Le cycle de l'eau s'emballe-t-il ? Si l'eau était équitablement répartie à la surface de la Terre, elle s'étalerait partout sur une épaisseur de 2 800 mètres ce qui représente un volume de 1 420 millions de km<sup>3</sup>. Sur cette tranche largement dominée par les eaux salées des océans (97,2%), les



LE CYCLE DE L'EAU



glaces et les neiges permanentes ne représentent que 60 mètres aujourd'hui contre 140 mètres lors de la dernière glaciation il y a 20 000 ans. En plus, il y a pour quelques dizaines de mètres d'eau (en partie salée, en partie douce) dans le sous-sol profond. A côté de ces réservoirs importants, l'eau des pergélisols (ou permafrost) ne représente que 60 cm, les lacs 24 cm, l'humidité des sols 3 cm, l'atmosphère 26 mm, les cours d'eau 4 mm et enfin la biomasse 1 mm chaque fois, en moyenne sur toute la surface du globe.

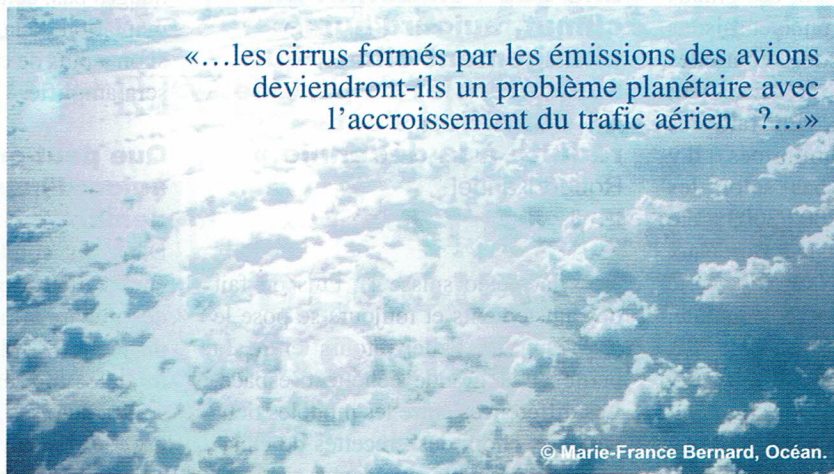
Bien entendu, la répartition géographique réelle de l'eau sur Terre montre une réalité bien éloignée de ces moyennes, avec une surface océanique nettement plus importante au Sud qu'au Nord. Une calotte épaisse de glace couvre tout le continent Antarctique, alors qu'au Nord, il n'y a, en plus de la calotte du Groenland, que la glace qui flotte sur l'océan Arctique. Ces contrastes dans

la répartition de l'eau liquide et solide renforcent les contrastes dans la répartition de l'eau atmosphérique. Il existe en effet de très nettes différences régionales du Nord au Sud liées aux variations de rayonnement solaire incident entre pôles et équateur, et d'Est selon les circulations atmosphériques et les barrières de reliefs. L'essentiel de l'eau atmosphérique se trouve dans la basse atmosphère, particulièrement le long des Tropiques, zones d'intenses évaporations des eaux chaudes de la surface océanique. Il y en a très peu par contre au dessus des terres hautes et/ou froides : Tibet, Andes, Groenland, Antarctique, etc... A ces disparités spatiales, s'ajoutent naturellement des variabilités des

précipitations dans le temps. Comprendre régionalement et précisément leurs variations historiques constitue encore aujourd'hui un domaine de recherches... non abouties. Car le climat, c'est avant tout de la variabilité. Et heureusement ! Car un climat uniforme serait sans doute bien morose. Imaginez votre quotidien avec 2,5 mm de pluie tous les jours sans exception ou même une irrégularité récurrente où par exemple on serait certain que tous les 12 mars, 10 mm de pluie tomberaient précisément entre 12 et 16 heures ! L'eau gardera toujours sa dimension de surprise. Reste à ce que ces surprises restent acceptables et ne deviennent pas imparables.

atmosphériques à zéro» tous les 10 jours, laissant très peu de traces de ce qui a précédé. L'atmosphère «tourne» vite et réagit donc également rapidement à chaque changement d'émission de gaz à effet de serre ou de polluant par exemple. Malgré tout, il y a des zones où une certaine mémoire persiste permettant d'identifier le cycle régional de l'eau. C'est le cas en Amazonie où l'étude des rapports isotopiques\* des atomes d'hydrogène et d'oxygène qui constituent les molécules d'eau (H<sub>2</sub>O) nous a appris que l'eau y est recyclée plusieurs fois : au pied du versant est des Andes, l'eau des pluies est en grande partie celle qui s'est évaporée par la transpiration des végétaux de la

forêt amazonienne plus à l'Est, depuis la côte atlantique. Le cycle régional fonctionne ainsi en circuit semi-fermé. C'est là une confirmation de l'impact de la couverture végétale des sols (et donc de ses modifications, déforestation entre autres)



«...les cirrus formés par les émissions des avions deviendront-ils un problème planétaire avec l'accroissement du trafic aérien ?...»

© Marie-France Bernard, Océan.

## L'atmosphère n'a pas de mémoire

Décrypter la «danse planétaire» de l'eau est donc un problème gigantesque, que le changement climatique amorcé ne fait qu'amplifier. Ce réchauffement pose déjà des complications très concrètes. Dans les régions de hautes latitudes par exemple : si l'eau des pergélisols se met à fondre, de nombreuses routes, ponts et bâtiments se retrouveront déstabilisés. Mais c'est surtout la part atmosphérique très rapide du cycle de l'eau qui attire le plus l'attention des climatologues et météorologues. Car l'atmosphère n'a pas de mémoire. Une molécule d'eau n'y reste en moyenne qu'une dizaine de jours, comme si on remettait les «compteurs

sur la partie atmosphérique du cycle de l'eau, ayant des conséquences sur le climat régional et probablement plus largement (cf «De la déforestation en Amazonie aux tempêtes sur l'Europe» p.10).

## Les paradoxes régionaux

Dans le domaine de l'eau bien plus que pour les températures, identifier les conséquences régionales environnementales et humaines des changements globaux est très compliqué et l'inverse ne l'est pas moins. D'autant que l'occupation humaine sur un lieu donné dépend parfois de précipitations tombant sur des zones très éloignées, les transferts d'eau se faisant alors par les cours d'eau. C'est le cas de l'Egypte ou de la

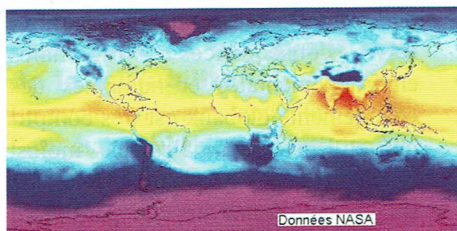


Mésopotamie, zones très peu arrosées, où les premières civilisations se sont développées et où des populations importantes subsistent encore aujourd'hui grâce aux apports du Nil d'une part, du Tigre et de l'Euphrate d'autre part. De telles zones peuvent ainsi subir l'impact de changements climatiques touchant les zones d'altitude où les fleuves s'alimentent.

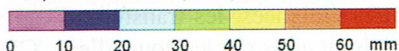
Il y a par ailleurs des endroits comme les sources du Nil ou le Bangladesh où il ne suffit pas de regarder les précipitations moyennes. Elles ont en effet peu de signification, car on passe régulièrement de périodes de sécheresse à des inondations dans la même année. Les variations saisonnières très marquées rendent difficile l'utilisation de l'eau. Les pays de mousson mais aussi le pourtour méditerranéen connaissent ces grands écarts entre saisons de pluie et saisons sèches. Comment ces zones vont-elles réagir avec le réchauffement planétaire en cours ? En fait, les évolutions ne sont pas uniformes : il y a des hauts et des bas selon les régions. Ainsi l'hiver 2002/2003 a été plus chaud que la normale à Bordeaux mais bien plus froid à New York, l'été 2003 très sec en Europe occidentale, mais fortement arrosé à l'est des Etats-Unis.

## Les incertitudes sont-elles insolubles dans l'eau ?

Le couplage du cycle de l'eau et de l'énergie rend la compréhension difficile car l'eau affecte l'effet de serre et les nuages. Une des grandes sources d'incertitude est liée au type de rétroactions à attendre entre la vapeur d'eau et le réchauffement. Une atmosphère plus chaude peut contenir plus d'eau ; beaucoup de spécialistes pensent qu'elle sera effectivement



Vapeur d'eau atmosphérique en juillet 1995



© Robert Kandel.

plus humide. Une grande partie du débat tourne autour de ce lien entre la température et l'humidité de l'atmosphère. Il amplifierait le réchauffement pour la majorité des chercheurs alors que d'autres pensent qu'il le modérerait. Alors on se tourne vers les résultats de la modélisation pour trancher. Mais les modèles ne pourront jamais suivre chaque m<sup>3</sup> d'air. Alors on découpe, on schématise et l'erreur peut se glisser dans ces simplifications. Simplifier c'est dans certains cas rattacher l'Angleterre à l'Europe (est-ce bien nécessaire ?), faire disparaître la Corse (quel dommage !) ou encore raboter les Alpes (imaginez ce que devient

**«C'est en général sur 30 ans que l'on définit un climat, aujourd'hui le changement climatique s'accélère et sa période de définition s'est réduite à la décennie.»**

Robert Kandel

alors la météo suisse !). Puis on fait des ajustements et toujours se pose le problème des aller-retours entre la petite et la grande échelle d'espace. Les différences entre les modèles tiennent aux choix des «recettes de cuisine» utilisées pour représenter ce qui se passe à la petite échelle, inférieure à la maille du quadrillage du modèle. Les modèles ignorent ce qui se passe au dessus du canton de Vaud ou des îles de l'estuaire de la Gironde par exemple. Ils ignorent aussi une grande partie de la diversité et de la dynamique des nuages : des nuages bas chargés d'eau liquide et des cirrus, nuages hauts constitués de cristaux de glace. Il reste beaucoup à connaître de ces nuages et des particules qu'ils transportent et qui sont le siège de réactions chimiques importantes. D'autant que de plus en plus, on observe des nuages d'un type nouveau : ceux provoqués par les navires dont les cheminées rejettent du dioxyde de soufre. Ce gaz se transforme en acide sulfurique par dilution dans l'eau atmosphérique, et ces



gouttelettes catalysent la formation de nuages particulièrement blancs autour des émissions. C'est une pollution qui rend plus blanc ! Autre interrogation : les cirrus formés par les émissions des avions deviendront-ils un problème planétaire avec l'accroissement du trafic aérien ? L'évolution dans le futur du nombre et des mouvements des nuages conditionnera la réponse du système climatique au réchauffement actuel. Car si on a plus de nuages bas, cela tend à modérer l'augmentation de la température, alors que si on a plus de cirrus, le réchauffement sera amplifié.

## Que peut-on prévoir aujourd'hui pour l'eau demain ?

Dans ces conditions, on ne sait pas encore très bien ce qu'il va advenir des précipitations. Contrairement aux projections de température, les modèles donnent des réponses contradictoires dans de nombreuses régions, d'un extrême à l'autre parfois. Probablement que les effets locaux et régionaux ont beaucoup plus d'importance dans le cycle de l'eau et dans les précipitations que pour la température. Mais il apparaît probable que les modifications seront nettes voire radicales sur une majeure partie des terres émergées même si le sens de variation pose encore de nombreuses questions. En première ligne, les Etats-Unis (y compris l'Est), l'Inde, l'Europe, la Chine n'échapperont pas à ces changements. Et les problèmes d'accès à l'eau douce vont probablement augmenter ne serait-ce qu'en raison de l'augmentation prévue de la population dans des zones où les difficultés sont déjà criantes. Il faut en effet garder en tête qu'aujourd'hui encore, directement ou indirectement, l'eau tue tous les ans 7 millions de personnes à travers le monde. L'Europe et la France ne seront pas





non plus épargnées. En France, a-t-on observé une augmentation significative des précipitations depuis un siècle ? C'est plus clair pour les températures, qui de nuit se sont encore plus réchauffées que de jour. La France est-elle en train de devenir plus nettement méditerranéenne ? Pour la Belgique qui consomme déjà une grande partie de son eau douce disponible, le changement pourrait poser de très sérieux problèmes et exiger une gestion plus rigoureuse de la ressource en eau pourtant abondante.

### Peut-on conclure au milieu des doutes ?

Malgré les incertitudes de taille, tous les modèles indiquent que la très grande variabilité des précipitations ira en s'accroissant dans de nombreuses régions, ce qui va créer ou accroître les problèmes d'eau et rendre les extrêmes plus fréquents. Et quoiqu'il en soit des nombreuses questions non encore résolues, rien ne justifie la gabegie\* qui ne fait qu'accroître le problème ■

**Eric Veyssey**

d'après la conférence de **Robert Kandel** et avec ses corrections.

## Lexique

\* **Rapport isotopique de l'eau** : proportions entre les atomes «lourd» et «légers» de l'hydrogène et de l'oxygène.

\* **Gabegie** : gestion désordonnée, gaspillage.

## Pour aller plus loin :

**Les Eaux du Ciel** de R. Kandel (Hachette 1998).

**Le Réchauffement Climatique** (Que sais-je ? n° 3650 P.U.F. 2002).

**Avis de tempête sur le climat.** enquête de Marie-Odile Monchicourt, (Platypus Press 2001).



# AQUAFORUM



RIVES D'ARCINS

## ATELIERS DE DÉCOUVERTE DE L'ENVIRONNEMENT.

Principaux thèmes abordés

**Entrée libre, inscription sur place, sans rendez-vous pour des séquences de 30 min à 2h00.**

**Tous les mercredis de 14h30 à 18h00 et tous les samedis de 14h30 à 18h30.**

**A l'Aquaforum, en bord de Garonne, derrière le centre commercial Rives d'Arcins.**

- l'eau du fleuve
- la vie dans le fleuve
- les hommes du fleuve
- les courants océaniques
- la vie dans les océans
- la formation des océans
- les fossiles
- archéologie
- l'eau du sol
- la faune du sol
- les climats de la Terre
- les saisons...





# Vous avez dit «développement durable» ?



Le terme «Développement Durable» est devenu un slogan incontournable. Dans l'actualité ce concept est propagé à la fois par plusieurs partis politiques, notre Chef d'Etat et son gouvernement - un de ses ministères porte même ce nom - ainsi que par les ONG écologistes et le mouvement altermondialiste. Etrange consensus ? Ce consensus n'est-il qu'une apparence ? Ainsi, il nous paraissait important de chercher ce qui se cache derrière ce concept, derrière ces deux mots et leur assemblage. Philippe Garrigue (chimiste à l'université Bordeaux 1) et Jean-Marie Haribey (économiste à l'université Bordeaux 4) nous ont proposé leurs éclaircissements sur ce sujet lors de l'Aquaforum du 9 octobre 2003. Leurs présentations ont suscité un vif intérêt pour le public d'une cinquantaine de personnes et un débat en a découlé.

Notes et commentaires de **Rutger de Wit** à la suite de l'Aquaforum du 9 octobre 2003 intitulé «Qu'est-ce que le Développement Durable\* ?» présenté par Philippe Garrigue\* et Jean-Marie Haribey\*

## Aux origines du «Développement Durable»

Philippe Garrigue a placé le concept de «Développement Durable» dans le contexte d'une prise de conscience planétaire de la nécessité de

préservation de la nature, en parallèle avec le développement de l'écologie comme discipline scientifique. Ainsi il a évoqué le nom de savants renommés comme Charles Darwin qui a construit la théorie de l'Evolution des espèces, Ernst Haeckel qui a proposé le terme «Ecologie» vers la fin du 19<sup>ème</sup> siècle et Sir Arthur Tansley qui a inventé en 1935 le terme «Ecosystème» par contraction des mots «ecological system» (système écologique). Philippe Garrigue aurait également pu

mentionner Thomas Malthus\*, l'un des inspirateurs de Charles Darwin et père de la démographie scientifique, qui a mis en lumière le principe d'impossibilité d'une croissance illimitée. Le rapport du «Club de Rome»\* dans les années 1970 l'exprima à nouveau en précisant la cause basique, à savoir les limites des ressources naturelles. En 1987, le rapport Brundlandt «Notre Futur Commun» a proposé les bases conceptuelles du «Développement





# Vous avez dit «développement durable» ?

Durable» avec comme principes basiques : ne pas gaspiller les ressources naturelles et conserver la qualité environnementale de la biosphère.

## Le développement peut-il être durable ?

Jean-Marie Haribey a expliqué de façon très intéressante comment l'approche économique pouvait converger avec les préoccupations environnementales. La grande préoccupation est le manque cruel de répartition équitable des ressources et des richesses entre les êtres humains des différentes régions du monde. Proportionnellement, une minorité d'individus, ceux du monde «développé», sont les grands consommateurs de ressources naturelles et aussi les principaux pollueurs. Pour exemple, les Etats-Unis avec moins de 5 % de la population mondiale contribuent à plus d'un quart des émissions de gaz à effet de serre. Si on souhaitait donner le niveau de vie moyen d'un américain à l'ensemble des êtres humains de la planète il faudrait trois planètes Terre ! Pour atteindre le niveau français deux planètes seraient encore nécessaires. Ceci n'est pas possible ! Le «développement durable» demande donc une

## Pour pérenniser l'homme dans la biosphère, une seule voie possible : le «Développement Durable» !

distribution moralement plus juste des ressources naturelles tout en tenant compte de leurs limites. Il a été calculé qu'avec une seule planète Terre et une répartition équitable pour neuf milliards d'êtres humains, nous pourrions atteindre le niveau de vie moyen de l'Italie des années 1950. A ce jour, le fossé entre les plus riches et les plus pauvres se creuse encore davantage, malgré le développement économique et technique. Mais ce développement économique et technique ne serait-il pas lui-même la cause de l'accroissement des écarts mondiaux ? Selon Jean-Marie Haribey, c'est la dynamique même de la croissance économique à outrance qui aboutit à creuser l'écart entre

les plus riches et les plus pauvres et qui nous éloigne chaque jour davantage d'une possibilité de répartir les richesses d'une façon équitable

entre les êtres humains.

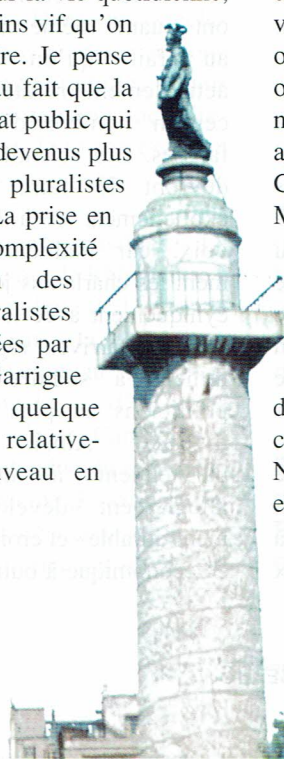
## Les complexités de la biosphère et des sociétés humaines et leurs incidences sur le «Développement Durable»

Après ces interventions stimulatrices et provocatrices pour la pensée unique, qui doivent nous toucher tous pour leurs implications au niveau politique comme pour la vie quotidienne, le débat a été moins vif qu'on aurait pu le croire. Je pense que ceci est dû au fait que la science et le débat public qui en découle sont devenus plus complexes et pluralistes qu'auparavant. La prise en compte de la complexité et l'utilisation des approches pluralistes ont été discutées par Philippe Garrigue comme quelque chose de relativement nouveau en

science et il a souligné que cette démarche est particulièrement positive et même nécessaire dans le domaine du «développement durable». Je pense en effet que ceci est très juste. Pour les sciences dites «dures» comme la physique et la chimie, qui ont d'ailleurs posé les fondements technologiques de la révolution industrielle et de la croissance économique, les choses sont encore relativement simples. L'écologie traite par définition des systèmes complexes et parfois on entend dire qu'elle est une science «douce». L'adjectif «doux», parfois péjoratif en sciences, évoque l'impossibilité de proposer des prédictions précises et n'est pas pour autant synonyme de sciences ni faciles, ni faibles. Les modèles mathématiques les plus avancés transcrivant les écosystèmes, prédisent et décrivent une incertitude inhérente à chaque système complexe. Il faut donc prendre en compte l'incertitude et on voit sa traduction dans «le principe de précaution». Le «Développement Durable» est certainement basé sur l'intégration des approches pluralistes et il faudra notamment des sciences «douces» comme l'écologie et l'économie, pour le développer.

## La complexité et l'incertitude vécues par les scientifiques

Personnellement je peux aussi témoigner du changement d'attitude entre les scientifiques. Il y a une vingtaine d'années, nous avions des opinions beaucoup plus tranchées et on était capable de critiquer durement nos collègues qui poursuivaient des approches qu'on estimait fausses. C'était le temps des écoles de pensées. Maintenant, dans un colloque scientifique il m'arrive souvent de penser : «Ce que mon collègue explique est bien étrange, mais c'est peut-être juste une autre façon de voir les choses et avec un peu d'efforts on pourrait trouver une convergence avec notre point de vue». Nous sommes devenus plus tolérants et pluralistes et c'est bien comme ça.



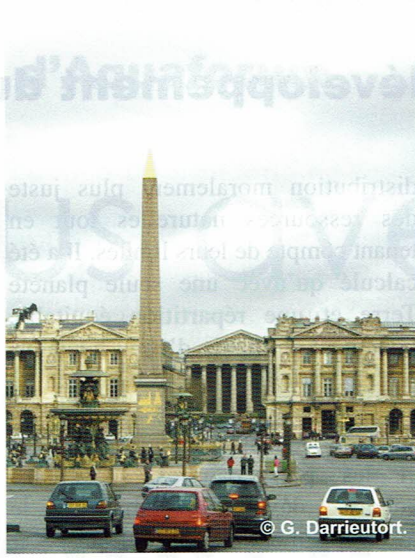




© R. Sérillou.



Italie années 50



© G. Darrieuort.



France aujourd'hui



© Philippe Hillion.



Etats Unis aujourd'hui

«Si on souhaitait donner le niveau de vie moyen d'un américain à l'ensemble des êtres humains de la planète il faudrait trois planètes Terre ! Pour atteindre le niveau français deux planètes seraient encore nécessaires. (...) Il a été calculé qu'avec une seule planète Terre et une répartition équitable pour neuf milliards d'êtres humains, nous pourrions atteindre le niveau de vie moyen de l'Italie des années 1950.»

### De la complexité à la malveillance...du «business as usual»

Malheureusement, la complexité et le pluralisme peuvent aussi créer beaucoup de confusions et nous empêcher d'y voir clair. Déjà, lors d'une discussion, il faut intégrer tellement de choses pour poser une bonne question sans paraître grotesque. Je pense que ceci explique aussi le manque de vivacité de notre discussion à la suite des exposés. Mais, dangereusement, des intérêts malhonnêtes peuvent utiliser cette situation et cet état d'esprit pour des opérations de maquillage. Ainsi, actuellement, certaines idées qui ont déjà été réfutées depuis deux siècles, se glissent dans une formulation particulière du «développement durable». Comme l'a remarqué Jean-Marie Haribey, des intérêts industriels ont habilement réussi à pervertir le concept du «Développement Durable» vers l'idée d'une «croissance durable», voire même de «croissance soutenue», clin d'œil malin vers «sustainable development», terme anglais pour «développement durable». Promouvoir une croissance illimitée est une véritable fuite en avant. Irréaliste à terme, comme l'avait déjà constaté Thomas Malthus il y a deux

siècles ! Ce constat même était la base du rapport du Club de Rome des années 1970 ! C'est d'ailleurs totalement en conflit avec les principes de conservation de masse et d'énergie et la création d'entropie (désordre) chaque fois que l'énergie est utilisée pour faire du travail selon les universelles Première et Deuxième Lois de la Thermodynamique, respectivement ! Malgré la tolérance, l'incertitude, la complexité et le pluralisme, plusieurs siècles de réflexion et de recherche scientifique ont quand même abouti au fait qu'on peut actuellement réfuter un certain nombre d'idées fausses. Les scientifiques devront le faire plus explicitement et à haute voix, car malheureusement les charlatans jouant cyniquement avec le sens des mots, arrivent régulièrement à séduire nos politiciens au plus haut niveau. Ainsi, ils parviennent à marier allègrement «développement durable» et croissance économique à outrance

pour continuer sans restriction leur «business as usual» ■

#### Rutger de Wit

Chercheur en Ecologie Microbienne  
Laboratoire d'Océanographie  
Biologique d'Arcachon  
UMR 5805 – CNRS & Université  
Bordeaux 1

### Notes

#### \*Définition la plus répandue du développement durable :

«s'efforcer de répondre aux besoins du présent sans compromettre la capacité de satisfaire ceux des générations futures»

\*Philippe Garrigue est Directeur du Laboratoire de PhysicoToxicoChimie de l'Environnement de l'Université Bordeaux 1 et Président de l'Observatoire de l'environnement et du développement durable en Aquitaine

<http://www.idea-reseau.org>

\*Jean-Marie Haribey est l'auteur de l'ouvrage «Développement soutenable», (1998)Edition Economica

\*Dans son «Essai sur le principe de population», Thomas Robert Malthus (1766-1834) prévoyait en 1798 que la production de denrées alimentaires ne pourraient suivre une évolution démographique galopante.

\* Ce rassemblement de gouvernements et d'ONG fut le précurseur du Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE) <http://unep.org>



# La mer monte...aux abris ?

Dans le vaste débat climatique, la hausse du niveau marin est souvent présentée en épouvantail suprême. Et il est vrai que l'histoire de notre planète nous a appris que ses fluctuations pouvaient être brusques et amples : 120 mètres de moins qu'aujourd'hui à l'époque de Cro-Magnon par exemple.

Roland Paskoff nous a proposé de faire le point sur «les mythes et les réalités» de la hausse du niveau marin lors d'un exposé précis et magistralement mené.

D'après la conférence de **Roland Paskoff** à l'Aquaforum le 16 janvier 2003 : «La hausse du niveau marin : le mythe et la réalité»

## «Aujourd'hui, les bords de mers sont très côtés»

Les eaux océaniques constituent après l'air atmosphérique le second fluide majeur du système climatique. Le 20<sup>ème</sup> siècle a vu une élévation du niveau de la mer à une vitesse moyenne de 1,5 mm par an. Mais cette élévation n'est pas perceptible partout avec la même acuité, en raison de phénomènes locaux d'abaissement ou d'élévation de la croûte terrestre (isostasie). La Scandinavie, par exemple, s'élève de quelques millimètres par an. En effet, depuis le dernier maximum glaciaire, il y a 20 000 ans, la fonte progressive des glaciers l'a allégée.

Les deux facteurs principaux, responsables de la montée du niveau marin, sont la fonte des glaciers de montagne et la dilatation thermique des eaux océaniques de surface. Dans la période la plus récente, l'élévation

du niveau de la mer s'est accélérée et a été en moyenne de 2,5 mm par an de 1990 à 1999. Les projections rassemblées dans le rapport du GIEC (Groupe Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat) donnent une probabilité de hausse de 44 cm d'ici 2100, soit une accélération de la vitesse d'élévation jusqu'à 4,5 mm par an. Cette hypothèse, considérée comme la plus probable, est encadrée par une estimation basse de 15 cm et une estimation haute de 88 cm. Cette élévation serait attribuable pour 60% à la dilatation des eaux océaniques de surface, 25% à la fonte des glaciers continentaux et 10% à celle des glaces du Groënland. Par contre, l'Antarctique verrait sa masse de glace croître, alimentée par des précipitations plus abondantes.

Mais l'impact de l'élévation du niveau marin sur les espaces côtiers est surtout dépendant d'autres facteurs dus à l'homme. Dans les siècles passés, la présence humaine le long des côtes était réduite, mais aujourd'hui, habitations, activités professionnelles et de loisirs exercent une pression sans cesse croissante sur ces zones dynamiques et sensibles. La charge solide que le Rhône livre à la mer a été réduite de l'ordre de 80% si on la compare à ce qu'elle était au milieu du 19<sup>ème</sup> siècle, d'où la vulnérabilité de la Camargue à l'élévation attendue du niveau de la mer. De même, la salinisation des étangs languedociens amorcée au 20<sup>ème</sup> siècle s'accélénera

probablement au 21<sup>ème</sup> ; les lidos qui les bordent s'aminciront et se tronçonneront. Autres zones, autres problèmes. Dans la zone tropicale, les coraux qui pourraient très bien s'adapter dans des conditions naturelles au réchauffement et à l'élévation des eaux grâce à leur croissance verticale, risquent de perdre une grande partie de leurs populations en raison de la simultanéité des pollutions côtières et d'une augmentation de la fréquence des cyclones. Le risque est fort en Martinique et en Guadeloupe, plus modéré en Polynésie, à Mayotte ou à La Réunion.

En résumé, le changement climatique et la hausse, même relativement modeste, du niveau marin vont mettre en lumière des erreurs dans les aménagements littoraux du 20<sup>ème</sup> siècle. Cela entraînera des coûts encore plus importants et en conséquence des choix plus difficiles à faire dans la gestion du recul des côtes. Selon les zones et le degré de connaissances et d'anticipation, il faudra décider entre des résistances dures ou douces, une adaptation préventive ou le recul radical avec l'abandon de zones habitées, comme un «retour aux abris» à l'intérieur des terres, loin des fureurs de l'océan et des lits mineurs des cours d'eau ■

**Eric Veyssy**  
d'après la conférence de  
**Roland Paskoff**  
et avec ses corrections

Le point le plus haut de Bordeaux est la place Gambetta : elle «culmine» à 12-13 mètres au dessus du niveau de la mer. Les villes situées comme elle pratiquement au niveau de la mer seront les plus touchées par une remontée du niveau marin.





# Le climat a une histoire : celle des paysans !

Si depuis Buffon (fin du 18<sup>ème</sup> siècle), les scientifiques ont poursuivi la «construction» de l'évolution spatio-temporelle du monde naturel, il a fallu attendre 1967 et Emmanuel Le Roy Ladurie pour que l'histoire du climat soit enfin rigoureusement croisée avec celle des hommes et plus précisément avec celle des oubliés de la grande Histoire racontée et enseignée : l'histoire plurielle des paysans, dont la vie, la richesse ou la survie fut de tout temps rythmée et gouvernée par les contraintes climatiques. Voici quelques morceaux choisis des péripéties du climat

et des hommes depuis l'an mil.

Texte reprenant librement certains éléments de la conférence d'Emmanuel Le Roy Ladurie à l'Aquaforum le 20 mars 2003.

**«L'historien est un mineur de fond, il extrait des données, mais il revient aux sciences exactes d'interpréter les faits physiques»**

Emmanuel Le Roy Ladurie

**L'histoire affine la connaissance du climat récent**

Dès 1883, le météorologiste Angot (1848-1924) avait utilisé les dates d'ouverture des vendanges pour évaluer les variations d'intensités saisonnières de l'ensoleillement et des pluies en France et en Europe. Ainsi, les climats vus par l'histoire nous indiquent eux aussi le «petit

optimum médiéval» de 970 à 1270 suivi du «petit âge glaciaire» perceptible sur les hauteurs alpines dès le début du 14<sup>ème</sup> siècle. Selon le chercheur suisse Christian Pfister, ce petit âge glaciaire «alpin» atteint son apogée entre 1600 et 1643, comme en atteste l'extension maximale du glacier de Grindenvald dans les Alpes suisses. Pour l'ensemble de l'Europe, le refroidissement du petit âge glaciaire ne semble avoir été plus largement partagé qu'à partir de 1560 et il faisait suite à une période plus douce de 1500 à 1560. Mais l'extension européenne du petit âge glaciaire ne fut pas uniforme. Les archives font état de variations régionales notables. En Aquitaine par exemple, il est perçu à partir de 1460-1480. Mais le climat n'est pas seulement cyclique,

il peut être brutal avec des variations sévères et abruptes comme celles qui firent suite à l'éruption du volcan Tamboura en avril 1815 à l'Est de l'île de Java. La détonation fut entendue à 1 400 kilomètres à la ronde et l'altitude du volcan passa en quelques jours de 4 300 à 2 800 mètres. Un vaste tsunami dévasta les





## Emmanuel LE ROY LADURIE

Historien et Professeur au Collège de France. Il est auteur de nombreux ouvrages dont «L'histoire des paysans français» (Editions du Seuil, 2002) et surtout «L'histoire du climat depuis l'an mil» (Editions Champs Flammarion, réédition en poche, 1983). Ce livre en deux volumes est un véritable recueil d'informations sur l'évolution du climat depuis 1000 ans.

En 1967, il ouvrit une nouvelle voie d'étude des climats avec le regard de l'histoire. Il entreprit un énorme travail de compilation de textes, de statistiques agricoles, d'interprétation de chroniques et d'illustrations. Ce travail innovant fut une mine d'informations permettant de transcrire ce qu'ont été localement les réalités humaines ou économiques du petit âge glaciaire en particulier, en relatant les impacts de ses aléas sur les populations paysannes de nos régions. Il mit en particulier en lumière par l'image, la régression très nette des glaciers de montagne, qui sont aujourd'hui reconnus comme étant un facteur non négligeable dans la remontée du niveau marin. Cette démarche fut le début de la remise de l'homme au centre des problèmes climatiques.

zones littorales proches et un voile de poussière obscurcit le ciel planétaire pendant de longs mois, provoquant un refroidissement de 0,5°C. Les années qui suivirent furent donc sombres à tous les sens du terme. 1816 n'eut même pas d'été et la famine frappa les populations en 1815, 1816 et 1821. Les victimes se comptèrent en dizaines de milliers.

### Du froid et des pluies aux famines... et au climat social

Au-delà des cycles plus ou moins récurrents et des événements ponctuels foudroyants et imparables, l'histoire laisse les traces de plus courtes périodes de réchauffement ou de refroidissement, plus limitées mais non dénuées d'impact sur la vie et les activités des hommes, avec toujours en première ligne les paysans. Ainsi de 1303 à 1328, le froid sévit et cette période fut marquée par deux grandes famines en 1315 et 1316. Auparavant et à l'inverse, l'Europe connut un «beau 13<sup>ème</sup> siècle», avec des étés particulièrement agréables et productifs pour l'agriculture, surtout entre 1240 et 1290.

L'histoire rappelle ainsi le rôle et les conséquences fortes des fluctuations climatiques sur le «climat» social ambiant. Le climat et ses «caprices» ont régulièrement affecté l'équilibre social dans le cadre d'une population

essentiellement paysanne. Les rudes hivers du petit âge glaciaire, humides et froids, furent les détonateurs de véritables tsunamis sociaux. Ce fut particulièrement le cas pour les hivers suivant la diminution des tâches solaires de 1690, dit minimum de Maunder. Ainsi les hivers 1692, 1693 et plus encore en 1709, furent meurtriers. L'hiver 1709 fut même le plus rigoureux depuis l'an mil ; la température descendit sous les -10°C pendant 18 jours consécutifs. Quelques 600 000 personnes ne passèrent pas cet hiver-là et on en estima le déficit de naissances à 200 000 environ. D'épidémies en récoltes anéanties, de disettes en famines décimant les populations, les tensions sociales n'ont cessé de se renforcer tout au long du petit âge glaciaire. Jusqu'à de véritables émeutes de subsistance, guerres civiles provoquées par la famine comme ce fut le cas en 1775, puis lors de l'hiver 1788/1789. Pour beaucoup la situation était devenue si précaire que l'achat du pain représentait la moitié du revenu familial. Il est donc clair que le climat fut un élément non négligeable précédant les événements de 1789. L'impact des aléas climatiques sur le prix des denrées de première nécessité se répéta de nombreuses fois durant ces siècles, comme en 1830 ou en 1846 avec un échaudage du blé qui là encore précéda de quelques mois... la révolution de 1848.

Les travaux d'Emmanuel Le Roy Ladurie ont montré que les variations climatiques ont eu des influences majeures sur l'économie et en prolongement sur la cohésion et la



Les paysans de la banlieue de Toulouse surpris par les eaux.

paix sociale. En France et en Europe, les facteurs de malheurs furent surtout les froids durables et les pluies excessives ou saisonnièrement décalées. Ailleurs, sur le pourtour méditerranéen ou sur la péninsule ibérique, des périodes de sécheresse ajoutèrent d'autres contraintes fortes aux populations locales.

### Sommes-nous moins vulnérables que les paysans ?

Ce qui était vrai pour la société majoritairement paysanne des siècles passés, peut-il être transposable à la société mondiale du 21<sup>ème</sup> siècle avec

Aujourd'hui le programme de recherche ECLIPSE (Environnement et Climat du Passé : Histoire et Evolution) poursuit la voie d'étude des climats ouverte par Emmanuel Le Roy Ladurie. Ce programme interdisciplinaire (géologie, biologie, histoire de l'homme et de la société...) a pour objectifs de reconstituer les environnements du passé, l'histoire des populations et de mieux comprendre le fonctionnement du système climatique lors du dernier millénaire. Il s'agit de compiler et d'interpréter des archives naturelles comme les données météorologiques, les cernes des arbres, le volcanisme, le volume des glaciers de tous continents, les tâches solaires, les traces des crues exceptionnelles ou de gels, les déboisements, etc... Ces données naturelles sont ensuite croisées avec les données archéologiques et les textes, afin de déduire de l'ensemble les conséquences des changements sur les sociétés humaines. C'est un programme national lancé en 2000 par le CNRS et qui se poursuivra jusqu'en 2007.



## Carnets d'Aquaforum

les changements climatiques annoncés ? Car même si la population paysanne a perdu de son poids démographique, les ressources de la terre travaillée restent la base de notre alimentation, de notre énergie vitale. La question de notre vulnérabilité actuelle et future est ouverte... les réponses régionales laissent déjà supposer que les choses n'ont que peu changé. Et quand on consulte l'ampleur planétaire, l'amplitude et la rapidité inédites des changements «promis» par le GIEC (cf encart p.7) pour le 21<sup>ème</sup> siècle, on peut rester songeur... et nous devons nous

rappeler que dans les siècles passés, l'absence de cette prévision était un handicap de taille pour anticiper les catastrophes humaines décrites par l'histoire des climats. Aujourd'hui, nous avons les éléments (même s'ils sont encore partiels) de connaissance, de prévisions donc d'anticipation, alors...il n'y a plus qu'à...■

**Eric Veyssy**

seul responsable du texte ci-dessus qui n'engage absolument pas la responsabilité d'**Emmanuel Le Roy Ladurie**

## L'histoire du climat depuis l'an mil

LE ROY LADURIE  
HISTOIRE  
DU  
CLIMAT  
DEPUIS L'AN MIL  
premier volume



Champs  
Flammarion

Emmanuel LE ROY LADURIE a fait du climat une discipline scientifique à part entière, donnant là un nouvel outil précieux de compréhension des climats du passé. Ce livre en deux volumes est un véritable recueil d'informations sur l'évolution du climat depuis le début du 10<sup>ème</sup> siècle.

Emmanuel Leroy Ladurie  
Ed. Flammarion, Paris, 1983.



© Toulouse, Musée Paul-Dupuy. Cliché S.T.C.

### BULLETIN D'ABONNEMENT (semestriel)

Je souhaite recevoir le n°0 «Journal d'Océan» (2 €)

Je souhaite recevoir le n°1 «Journal d'Océan» (2 €)

Je souhaite recevoir le n°2 «Terre d'Océan» (3 €)

JE SOUHAITE M'ABONNER À  
«TERRE D'OCÉAN» POUR ..... NUMÉROS

*Le prix au numéro de la nouvelle formule est de 4,60 + frais de port (1,40 par numéro)*

M., Mme, Mlle: ..... Prénom : .....

Adresse : .....

Code Postal : ..... Ville : .....



# Paroles volées !

Paroles à la volée !

Il faut toujours faire attention à ce que l'on dit. Surtout en public et encore plus avec Océan ! Ce magazine est un prétexte pour capter et restituer des phrases... volontairement sorties de leur contexte de base. Des phrases qui nous paraissent suffisamment fortes pour garder un sens même lorsqu'on les a isolées !

En voici quelques unes, dansant autour du climat, captées lors de rencontres ou de débats publics, de colloques ou d'Aquaforum. En espérant ne trahir personne (ou pas trop) et en n'oubliant jamais que «les idées naissent et se défont comme des tourbillons dans un cours d'eau» (Catherine Thomas).

## Ce que nous disent les résultats

«Les pays du Sud, dont l'Afrique contribue à 7% des émissions, mais vont subir des impacts importants... et disposent de très peu de points de mesure»

M. Hamel chercheur au CIRAD, Montpellier lors du colloque «Regards croisés sur le changement global», CNES, Arles, novembre 2002.

## Les scientifiques face aux incertitudes

«Les modèles actuels ne savent pas représenter les événements extrêmes qui pourtant génèrent le plus de coûts.»

Hervé LE TREUT, Laboratoire de Modélisation Dynamique, lors du colloque «Regards croisés sur le changement global», CNES, Arles, novembre 2002.



© Camille Blot

## L'adaptation des sociétés

«Je me demande si l'avenir du globe ne dépend pas uniquement du changement d'échelle des valeurs, en particulier celles des Chinois et des Indiens.»



© Camille Blot

Michel MEYBECK, UMR Sisyphe, Paris 6, lors du colloque «Regards croisés sur le changement global», CNES, Arles, novembre 2002

## La vision du monde par les sciences

«Les sciences procèdent par découpage et présentent donc un monde fragmenté»

Catherine THOMAS lors de l'Aquaforum «La nature est-elle sacrée ?» du 10 avril 2003.

«L'histoire de la Terre est un livre

dont on n'a que quelques pages et encore beaucoup sont abîmées.»

Patrick DE WEVER, lors de l'Aquaforum «Temps de la Terre, temps de l'homme» du 20 février 2003.



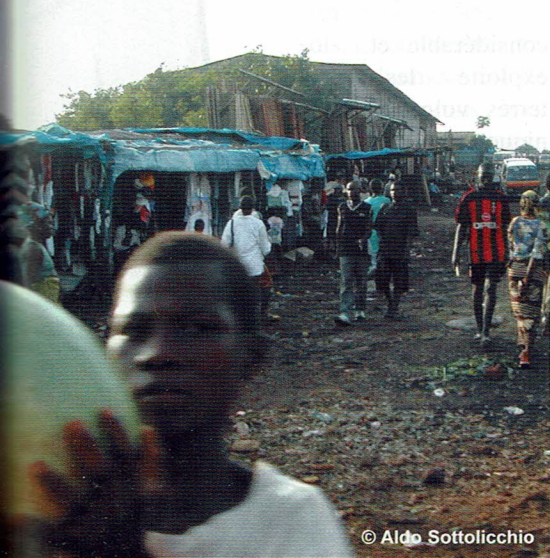
© Marie France Bernard

«L'hypothèse de Newton supposait que la Terre était une boule incandescente qui se refroidirait au fur et à mesure et sans fin.»

Patrick DE WEVER, lors de l'Aquaforum «Temps de la Terre, temps de l'homme» du 20 février 2003 ■



© Eric Tache



© Aldo Sottolichio



# Des statues de pierre nous regardent... et nous mettent en garde !

par Bruno Malaizé

Maître de conférences au Département de Géologie et Océanographie de l'Université Bordeaux 1, suite à sa propre conférence à l'Aquaforum le 15 mai 2003 : «Les civilisations disparues : histoires de changements climatiques»

Il était une fois sur une île du Pacifique...

Un peuple à forte croissance démographique, mais contraint à l'espace réduit d'une île, subit brutalement les changements d'un climat qui lui permettait jusqu'alors de prospérer. Sans aucun moyen de «s'échapper», il disparaît presque entièrement (diminution de près de 90% de sa population). Cette histoire tragique s'est déroulée il y a plus de trois siècles sur l'île de Pâques, en plein cœur de l'Océan Pacifique. Ce drame peut paraître bien éloigné de nos vies actuelles et de nos préoccupations de tous les jours. Pourtant, les indices d'une analogie existent bien. Les géants de l'île de Pâques nous lèguent peut-être une mise en garde pour l'avenir de notre planète.

## Installation et développement

Revenons tout d'abord à l'épopée de ces hommes et de ces femmes qui débarquent sur cette île du Pacifique aux alentours de l'an 600 de notre ère. Ils y trouvent une végétation luxuriante. Comment le sait-on ? C'est le résultat récent du travail de plusieurs archéologues et palynologues (chercheurs spécialistes

des pollens retrouvés dans certains sédiments de lacs). Cette flore offrait à ce peuple des matières premières de premier choix pour la fabrication de fibres et de vêtements, pour leur coloration, mais également pour le bois de chauffage ou pour réaliser des sculptures et des œuvres d'art. Très vite, cette population estimée à près de 15 000 âmes, répartie en 11 tribus différentes, prend un essor

considérable et exploite les terres volcaniques fertiles, et ce jusqu'en 1600. Les



chefs des tribus comprennent très vite l'intérêt de contrôler l'exploitation des terrains qui ne peuvent s'agrandir géographiquement, et instaurent un système de tabous (interdits) à ne pas transgresser sous peine de mort. De plus, ils font construire près de 230 statues gigantesques (Moai) pour démontrer leur pouvoir et leur richesse. Le transport est assuré par l'utilisation de la végétation. Si la quantité des arbres s'amenuise petit à petit, les pluies hivernales reviennent chaque année pour renouveler les forêts. De plus, ces précipitations facilitent également le développement de l'humus et des sols qui à leur tour retiennent l'eau de pluie qui, sans ce substrat, disparaîtrait dans les pores des roches volcaniques de l'île.

### **Violences, sur-exploitations et dégradation des ressources**

Mais malgré les lois du Tabou, la vigilance des ancêtres est peu à peu oubliée. Chaque tribu convoite les terres de la tribu voisine, pour renouveler et agrandir ses propres cultures. Ainsi des guerres sans pitié s'engagent. La surexploitation s'étend alors à l'ensemble de l'île: on construit de plus en plus de Moai, on coupe de plus en plus d'arbres, fragilisant ainsi les sols. L'eau de pluie des saisons humides est de moins en moins bien retenue et les terrains appauvris sont de moins en moins productifs. Chacun cherche alors à agrandir encore plus ses terres, déclenchant de

guerres de conquête. Un cercle infernal s'engage et la tension gagne la totalité de l'île, comme en témoigne une symbolisation accrue de Make Make, le dieu de la guerre, sur plusieurs gravures de pierre. Cependant, la population survie et bénéficie chaque année du renouveau venu du ciel, permettant l'entretien relatif d'un environnement désormais fragilisé.

### **La sanction climatique !**

Le coup de grâce a lieu entre 1640 et 1680. D'après les traces de pollens et de charbons de bois (retrouvés par les archéologues dans d'anciens foyers), la diversité végétale est brutalement divisée par 10 en moins de 40 ans, signant ainsi une disparition aussi soudaine que drastique de la flore de l'ensemble de l'île. Une accélération dans l'édification des Moai ne suffit probablement pas à expliquer ce phénomène. D'autant plus que près de 400 statues ont été retrouvées dans des carrières, attendant encore leur transport vers leur plate forme. Pourquoi des hommes continueraient à construire des Moai, tout en détruisant volontairement la totalité des arbres leur permettant de les acheminer vers leur destination finale ? L'origine humaine de cette destruction massive semble peu probable.

La réponse est très probablement d'origine naturelle. De récentes recherches en climatologie ont révélé un évènement aussi imprévisible que perturbateur qui affecte cette région du Pacifique équatorial. Il s'agit du célèbre phénomène El Niño. Son impact sur la météorologie des terres bordant cet océan (et donc de ces îles) peut se résumer par une inversion des manifestations climatiques. Là où l'hiver est connu pour être la saison sèche, un déluge torrentiel peut prendre place ; Là où l'hiver était hier accompagné de fortes pluies, on observe un arrêt complet des précipitations. Ce phénomène, s'il s'est produit dans le passé de façon récurrente, et sur quelques années d'intervalle, a très bien pu assécher et détruire une bonne partie des forêts de l'île de Pâques. Les sols ainsi privés de leur «ancrage» ont peu à peu disparu, laissant place à des terres arides. Ainsi, même après

un retour à des conditions climatiques normales, l'eau de pluie s'est infiltrée dans les roches poreuses, empêchant une exploitation suffisante pour nourrir l'ensemble de la population. Les habitants de l'île, privés du bois nécessaire à la fabrication éventuelle de bateaux de survie pour fuir, se sont retrouvés piégés sur leurs propres terres. On imagine alors les famines, épidémies et autres drames qui en découlent, décimant la population en quelques décennies. A l'arrivée du Néerlandais Jacob Roggeveen, en ce jour de Pâques 1721, il ne reste plus qu'une centaine de survivants.

### **La Terre, notre île fragile ?**

Cette tranche d'histoire peut être comparée à la situation actuelle de l'espèce humaine. Une expansion démographique importante qui entraîne inexorablement une surexploitation du milieu, qui provoque à son tour une fragilisation de notre planète. Pire que les Pascuans, nous sommes peut-être nous même en train de créer un déséquilibre climatique planétaire, conséquence directe du réchauffement anthropique qui semble se confirmer d'année en année. Les géants de l'île de Pâques nous rappellent alors qu'il suffit d'une infime perturbation sur un équilibre rendu précaire pour que les conséquences soient dramatiques et irréversibles. Notre planète, jusqu'à preuve du contraire, est la seule qui puisse nous héberger : c'est notre «île» dans notre Système Solaire. Écoutons donc le message des Moai et n'oublions jamais que l'homme ne peut se passer de son environnement dont la «santé» est garante de notre survie ■

**Bruno Malaizé**

### **Pour en savoir plus sur l'île de Pâques :**

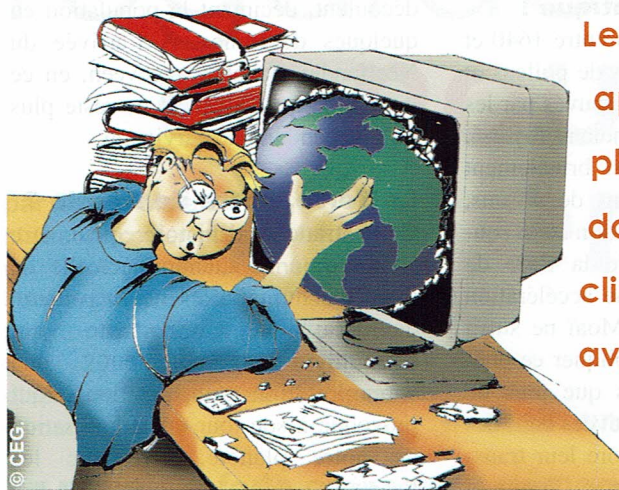
«Des Dieux regardent les étoiles», Catherine et Michel Orliac, Editions Gallimard

SITES INTERNET (en anglais) :  
[www.bradshawfoundation.com](http://www.bradshawfoundation.com)  
[www.nelaxs.com/~trance/rapanui.html](http://www.nelaxs.com/~trance/rapanui.html)





# METTRE LA TERRE EN EQUATIONS...



Les sciences modernes font beaucoup appel à la modélisation des phénomènes. C'est particulièrement le cas dans les sciences de l'environnement et du climat en particulier. Au point que notre avenir climatique est aujourd'hui «entre les mains» de puissants enchaînements de dizaines de milliers de lignes de calcul,

de modèles difficiles à maîtriser dans leur ensemble. Mais de maquettes en formules, depuis quand les scientifiques ont-ils tenté de mettre la Terre en équations ?

Entretien avec **AMY DAHAN**  
historienne des sciences au CNRS



«...dans les années 1980, il y a eu des gros ordinateurs avec des énormes mémoires, donnant l'espoir de pouvoir un jour tout mettre en boîte... mettre la Terre en boîte numérique...»

## BREVE HISTOIRE DES MODELES

**Terre d'Océan :** Qu'est-ce qu'un modèle ? Depuis quand et pourquoi en utilise-t-on en sciences ?

**Amy Dahan :** En sciences, le mot est très ancien puisqu'il apparaît au Moyen-Age. Il a toujours eu une double fonction : c'est à la fois une maquette et une copie; c'est à dire à la fois un «idéal type» abstrait et une figuration concrète. La signification du terme oscille entre ces deux pôles. Un modèle est quelque chose que l'on cherche à imiter ou un dispositif qui simule. Les ingénieurs ont utilisé le terme très tôt. La maquette d'avion ou d'architecture est un petit dispositif qui permet de raisonner, de manipuler les choses plus facilement que l'original. Mais ce type de signification est assez ambigu. C'est pour cela que les philosophes des sciences ont aussi eu du mal à définir ce mot de façon univoque. On a parlé

du modèle de Ptolémée puis de Copernic en cosmologie.

**TO :** Ce sont là des modèles conceptuels...

**AD :** Effectivement. C'est une représentation qui isole et privilégie certains aspects et en néglige d'autres. C'est cette simplification orientée, qui permet au scientifique de s'intéresser à ce qui, pour lui, est principal. Au 19<sup>ème</sup> siècle, étape importante, on s'est mis à penser qu'une théorie scientifique pouvait être modèle ou source pour une autre. Les équations de la physique mathématique, par exemple, ont donné l'impression d'être des modèles d'un certain nombre de phénomènes qui peuvent relever de la même description, telles que les équations de propagation des ondes électriques ou magnétiques... Ainsi va naître une idée très importante dans la notion contemporaine des modèles : il existe





## LEXIQUE :

**Claude Ptolémée (90-168) :** astronome, astrologue, géographe et mathématicien grec, l'un des plus grands savants de l'Antiquité romaine. Il fut un précurseur de l'esprit scientifique et s'intéressa à de nombreuses disciplines. Son œuvre majeure fut sans doute son traité d'astronomie «l'Almageste», repris en particulier par les arabes au Moyen-Age. Almageste vient de «al majisti» qui signifie «la grande encyclopédie».

**Nicolas Copernic (1473-1543) :** astronome polonais. Non satisfait du système de Ptolémée, il démontre que c'est la Terre qui tourne autour du Soleil et non l'inverse. La Terre n'est donc plus au centre de l'Univers !

**Isaac Newton (1642-1727) :** physicien, mathématicien et astronome anglais qui découvrit la loi de l'attraction universelle. Premier héros populaire de la science moderne, il a également inventé le télescope. «Je ne sais ce que je parais aux yeux du monde ; mais à moi-même, il me paraît n'avoir été qu'un petit garçon qui aurait joué sur le rivage, m'y étant diverti en y découvrant de temps à autre un galet plus lisse ou un coquillage plus beau que d'ordinaire, tandis que le grand océan de la vérité s'étendait, inviolé, devant moi» Extraits des «Découvreurs», Daniel Boorstin, Editions Robert Lafon, 1986.

**Edward Lorenz :** météorologue ayant construit en 1963 un modèle simplifié de la convection atmosphérique  
Les synopticiens visualisaient simultanément les phénomènes dans leur ensemble tout en décomposant chaque partie.

**Feed-back (rétroaction) :** action exercée sur les cause d'un phénomène par le phénomènes lui-même.

**Modèles conceptuels et modèles numériques :** les modèles conceptuels décomposent et décrivent les phénomènes et leurs enchaînements. Les modèles numériques apportent des réponses chiffrées aux différents éléments des précédents.

**Lewis Fry Richardson :** Physicien anglais (1881-1953), il introduisit les techniques mathématiques dans les prévisions du temps, et les lois physiques en météorologie. Sa méthode, lente à l'époque, a pris un intérêt nouveau depuis qu'on dispose d'ordinateurs.

un transfert possible d'un domaine phénoménologique précis à un autre qui n'a rien à voir, des fluides vers l'électricité, de l'économie à la physique, etc... Ainsi, dans les années 1870 la première construction de l'économie par Valras (économiste) se fait en utilisant le modèle de la loi dynamique de la gravitation de Newton. C'est un modèle de l'économie avec des individus qui sont régis par des lois d'attraction. Au 20<sup>ème</sup> siècle ensuite, l'entre-deux-guerres fut un moment important, parce que les modèles mathématiques vont s'appliquer à d'autres choses que la physique, à la biologie avec la dynamique de populations de poissons par exemple.

**TO :** C'est le début de l'adaptation des modèles aux sciences de l'environnement ?

**AD :** On ne peut pas parler de concept d'environnement encore à cette époque au sens moderne, mais effectivement, c'est la première fois qu'on applique des modèles mathématiques à des phénomènes du milieu naturel.

**TO :** Avec peut-être un nouvel objectif : prévoir, anticiper des événements difficiles à cerner.

**AD :** Il y a toujours eu des objectifs de prévision, et ce serait une erreur de penser que pendant un temps la science voulait connaître et que maintenant elle veut prévoir. Je crois que la science à toujours combiné les deux objectifs. Pour ce qui est de la météorologie, dès 1902, Richardson commence à travailler sur des programmes de prévision mais évidemment, il n'a pas les instruments de calcul adéquats eu égard à ses ambitions. Mais déjà la météorologie a une orientation numérique prédictive. Elle n'intéresse plus seulement les gens familiers de la forme des nuages, qui savent eux, que telle configuration va donner tel temps dans les heures qui suivent. Les synopticiens\* faisaient ça plus empiriquement et par intuition. Dans les années 1930, il y a de nombreux modèles qui apparaissent, dans des domaines très variés, en particulier des modèles économiques énormes,

comme celui de J.Tinbergen qui fut prix Nobel d'économie, et a écrit un modèle d'économie pour toute la Hollande. Il a initié l'idée de mettre dans un seul modèle tous les phénomènes économiques d'un pays, de façon à prédire et aussi pouvoir tester telle mesure économique, qui pourrait avoir telle conséquence.

## AUJOURD'HUI ET DEMAIN

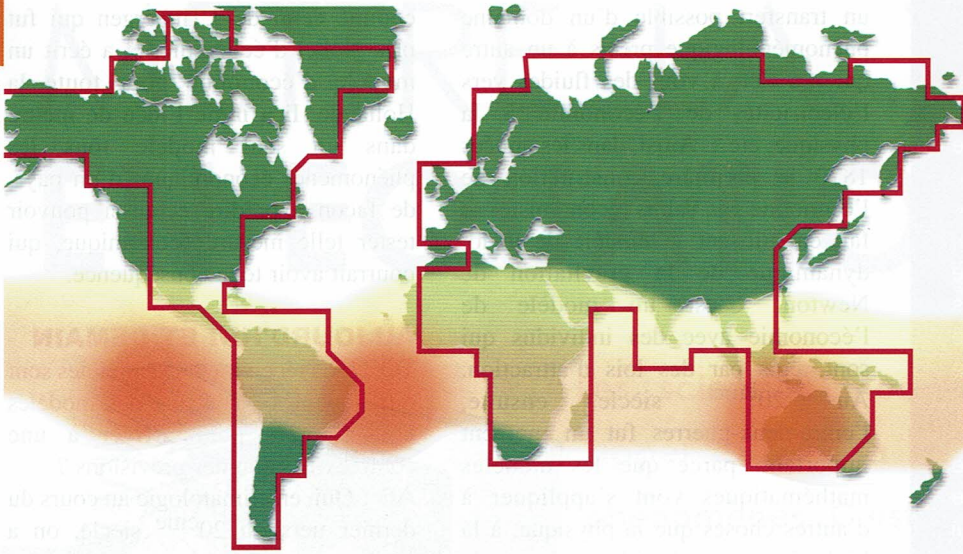
**TO :** Plus récemment les modèles sont dits «couplés» : on met des modèles bout à bout pour arriver à une complexification des prévisions ?

**AD :** Oui, en climatologie au cours du dernier tiers du 20<sup>ème</sup> siècle, on a voulu progressivement rassembler des classes de phénomènes de plus en plus nombreux, et les mettre dans des gros modèles qui se présentent comme des «architectures» compliquées de «boîtes» contenant d'autres modèles, et des sous-modèles. Et la difficulté c'est que là, il n'y a pas de théorie unifiée derrière. Auparavant, dans certains domaines, il y avait une théorie dominante, le modèle était une construction intermédiaire entre cette théorie et des observations quantifiées. Et il servait à valider la théorie. Maintenant, on modélise des phénomènes tellement compliqués et en interactions si nombreuses les uns avec les autres, qu'on n'a sûrement pas une théorie unifiée de tous les phénomènes, et on n'a même pas de connaissance claire des interactions. Alors, on cherche à «coupler les modèles», comme on dit. On les couple davantage, parfois, par des procédures «ad hoc» de calage sur des données, que par une compréhension théorique profonde de tous les ordres de phénomènes.

**TO :** Donc intellectuellement, on ne les maîtrise plus totalement ?

**AD :** En tout cas, on les maîtrise moins car on n'a pas de construction théorique globale unifiée. L'interaction entre les données, le calage, la construction des modèles, et l'absence de théorie, amènent une construction plus empirique. Dans le domaine de l'environnement et de la climatologie globale, un modèle implique de multiples sous-groupes scientifiques différents qui peuvent





Les résultats de simulation des modèles numériques peuvent se présenter sous la forme de cartes comme celle-ci.

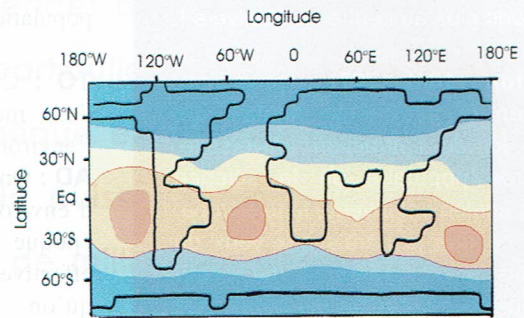
Dans cet exemple les plages de couleur ne représentent aucun paramètre réel.

chacun traiter un phénomène spécifique, l'océan ou l'évaporation dans l'atmosphère pour l'un, le rôle des forêts dans le CO<sub>2</sub> pour l'autre, etc... Et quand il faut tout mettre ensemble, il y a évidemment un grand nombre d'interactions non linéaires, générant des «feed-back». Les modèles traduiront avant tout la méthodologie qui a été privilégiée. Evidemment, tout cela ne serait pas possible si l'on n'avait pas eu le développement des simulations et des ordinateurs à partir des années 1950. Puis dans les années 1980, il y a eu des gros ordinateurs avec des énormes mémoires, donnant l'espoir de pouvoir un jour tout mettre en boîte... mettre la Terre en boîte numérique. Restent des questions méthodologiques. Qu'est-ce qui nous garantit de la validité de ces modèles ? Un modèle est l'aboutissement d'un long processus. Il y a différentes versions, les gens rajoutent des choses, on ré-écrit des lignes de codes, on met des sous-modules ; la mémoire de toutes ces étapes n'est pas parfaitement conservée, y compris chez les scientifiques. Et simultanément, il faut construire des modèles conceptuels simples, qui, même s'ils n'ont pas de sens physique réel, isolent un phénomène ou une interaction, et aident ainsi à l'explorer. Ce fut le cas pour la météo. A une certaine époque, on a fait des modèles dits «de laboratoire» volontairement très simples : trois équations et trois inconnues, non linéaires, pour le

système de Lorenz, au début des années 1960. Il savait très bien que l'atmosphère n'était pas aussi simple que ça, mais cette démarche a permis de comprendre son caractère chaotique. On est donc en permanence au milieu du gué... toujours plus ou moins dans un compromis avec ces allées et venues entre des très gros modèles réalistes d'une part, qui veulent copier et mimer la réalité le plus fidèlement possible, en prenant en compte le plus d'éléments possibles, mais ça devient très lourd, très peu maniable avec beaucoup de facteurs d'incertitude difficiles à identifier et à situer. Et d'autre part des modèles simples, très simples trop simples au regard du phénomène, nous aident à comprendre, en décortiquant un aspect particulier. Il faut donc jouer sur les deux tableaux. C'est une alternative qui a toujours existé en sciences, dans beaucoup de domaines...

**TO :** Vous parliez du problème de mémoire autour de la construction progressive des modèles. S'il y a pertes d'une partie des informations entre modélisateurs, n'y a-t-il pas un danger à plus long terme de moindre maîtrise des modèles ?

**AD :** C'est vrai que ces modèles numériques sont constitués de milliers de lignes de codes. Il y a des gens



qui en rentrent des «couches», des générations de scientifiques qui arrivent et qui peuvent réorganiser les choses, simplifier, ou au contraire, complexifier. Et finalement, quand ils travaillent directement au niveau du code pour la programmation du modèle, ils sont quelque peu détournés du sens physique de ce qu'ils représentent. C'est une difficulté pour les sciences de l'environnement, mais aussi dans d'autres domaines, les dispositifs de sécurité sur les installations nucléaires par exemple. Depuis 40 ans maintenant, EDF utilise d'énormes modèles pour tester la sécurité des installations nucléaires, et aujourd'hui, il n'est pas évident d'avoir des gens qui sont au courant de tout et qui savent tester l'ensemble du modèle. Assembler et maîtriser des couches successives de sciences, c'est assez compliqué ■

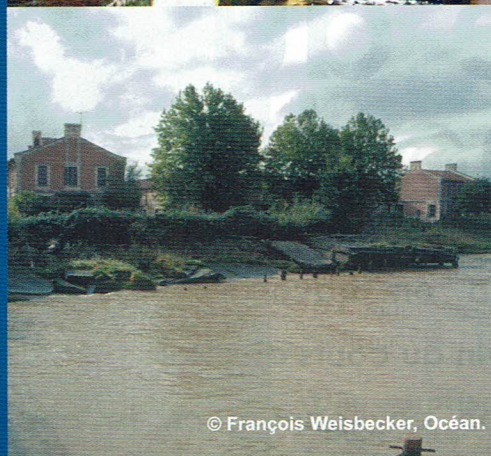
Propos recueillis par **Eric Veysy** et **Laurence Candon**, lors du colloque «Regards sur les changements globaux» à Arles, en novembre 2002.



# Croisières environnementales



© Océan.



© François Weisbecker, Océan.



© Océan.



© Stéphanie Caradec, Océan.

## GRAND PUBLIC

### Journée complète (9h30-18h) en bateau sur le fleuve :

avec conférences-diaporamas interactifs, commentaires au fil de l'eau et visite histoire-environnements lors d'une escale (Ile Verte, Bourg sur Gironde, Blaye, Cadillac, Canal des deux mers...)

### Journée complète sur le Bassin d'Arcachon (9h30-18h) :

conférences-diaporamas interactifs en salle, puis croisière commentée autour de l'île aux oiseaux, escale au Canon ou au Cap Ferret, croisière commentée avec escale éventuelle au banc d'Arguin (selon houle et marée). Possibilité de visite des laboratoires de recherche de la Station Marine d'Arcachon.

Programme disponible sur <http://www.ocean.asso.fr> ou par téléphone au 05-56-49-34-77

## TARIFS :

Individuels fleuve : 21 €  
Individuels Arcachon : 23 €  
Etudiants, demandeurs d'emploi : 17 €  
Enfants – de 10 ans fleuve : 12 €  
Enfants – de 10 ans Arcachon : 13 €

Tarif de groupe  
à partir de 10 adultes : nous consulter.

Ces tarifs comprennent la croisière, les conférences, les visites ; ils ne comprennent pas le repas.

## SCOLAIRES

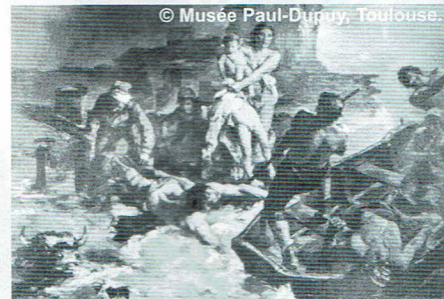
### Croisières environnementales expériences enfants-étudiants

Journée complète en bateau sur le fleuve (9h-18h) avec diaporamas interactifs, commentaires au fil de l'eau, prélèvements et ateliers scientifiques pédagogiques de découverte de l'environnement. Visite histoire-environnements lors d'une escale (Ile Verte, Bourg sur Gironde, Blaye, Cadillac...). Possibilité de rallye historique lors de l'escale

Journée complète sur le Bassin d'Arcachon (9h-17h) : diaporamas interactifs à la Station Marine d'Arcachon, puis croisière commentée sur le Bassin avec escale éventuelle. Prélèvements et ateliers scientifiques pédagogiques de découverte de l'environnement



# Amnésie et mémoire de la remontée du niveau marin



Une question revient souvent quand on travaille sur les variations climatiques et la variation du niveau marin au cours de l'Holocène\*. L'homme a-t-il perçu les transformations de son environnement, le changement climatique ou plus encore la montée de l'eau ? Ces phénomènes ont-ils eu des conséquences sur ses habitudes de vie et même sur le maintien de son habitat en zone littorale ? Les transgressions\* ont-elles été suffisamment rapides pour que l'homme en ait conscience ?

## Conscient ou inconscient ?

La situation telle que nous la connaissons aujourd'hui laisse déjà bien indécis. A moins de passer toute sa vie à mesurer les micro-variations d'une éventuelle transgression que l'on considère déjà comme «sensible» depuis la fin du XXe siècle, on pourrait bien croire qu'il n'y a que quelques rares scientifiques pour admettre et voir la «chose». Qu'en est-il des riverains ? Ces derniers sont plus alarmistes : terrains emportés par l'océan, dunes qui reculent pendant les tempêtes, maisons gagnées par les eaux, etc. La tempête de décembre 1999 n'a fait qu'amplifier leurs craintes et leur sensibilité aux «mouvements» du milieu naturel. Mais dans ce dernier cas, les témoignages recueillis depuis les années 1960 font finalement plus état de phénomènes d'érosion, de variations des courants de mouvements et de déplacements de chenaux, que d'un véritable phénomène de montée du niveau de l'eau.

## Pour la Préhistoire

En raison de la part importante des incertitudes pour la période actuelle, nous pourrions conclure que les informations sont insaisissables avant le XIXe siècle. Pour les périodes dites préhistoriques, il ne fait pas de doute que les données sont inexistantes : pas de traces écrites et la mémoire de temps aussi reculés ne semble pas être venue jusqu'à nous. L'archéologie n'est pas d'un grand secours pour cerner le comportement de l'homme sur des périodes aussi anciennes et c'est d'autant plus regrettable que les mouvements et les fluctuations du niveau de l'eau entre la fin du paléolithique et le néolithique ont été les plus puissants (plus de 100 m de remontée). Les sites archéologiques submergés sont nombreux ; la grotte Cosquer\* mise au jour en Méditerranée est un témoignage impressionnant. Mais les hommes qui ont laissé leurs traces dans cette grotte ont-ils été chassés par l'eau ou le phénomène a-t-il été trop long pour

être sensible à l'échelle d'une génération et l'homme ne s'en est pas rendu compte ?

## Les périodes protohistorique et historique

Il ne reste plus alors que les périodes dites historique (de la conquête romaine à l'époque contemporaine) et protohistorique (de l'âge du Bronze à l'époque gauloise). Là, nous possédons des textes écrits, mais les mouvements transgressifs ou régressifs\* n'ont pas connu l'ampleur des époques précédentes. On signale bien quelques anomalies pendant l'âge du Fer, le haut Moyen Age et le petit âge glaciaire entre la fin du Moyen Age et le XIXe siècle, mais tout cela n'apparaît bien souvent qu'à travers l'étude de sédiments, de pollens ou d'accidents exceptionnels. Dans les accidents exceptionnels, l'homme ne voit bien souvent que l'anecdote, le nombre excessif de morts et le lien obligé avec une punition divine venue le frapper. Il n'a



aucune vision d'ensemble et ne prend pas assez de recul pour cerner des phénomènes qui semblent dépasser l'échelle de temps d'une génération. Pourtant, à force de dépouillements d'archives, nous devons bien admettre que quelques témoins plus « lucides » que d'autres se

## Lexique :

**Holocène** : Période la plus récente de l'ère quaternaire comprise entre la fin de la dernière glaciation (il y a environ 10 000 ans) et aujourd'hui.

**Transgression** : Submersion d'une partie du continent par la mer qui résulte soit de l'affaissement du continent, soit de l'élévation du niveau de la mer (ex. : la transgression flandrienne).

**Régression** : Phénomène inverse de la transgression.

**La grotte Cosquer** : Grotte préhistorique ornée de peintures et de gravures découverte en septembre 1985 à 37 m de fond sous les eaux de la Méditerranée, au large du cap Morgiou, dans les calanques près de Marseille.

**Ammien Marcellin** : Historien latin originaire d'Antioche (vers 330-400 ap. J.C.) auteur d'une histoire « Res Gestae » de l'Empire romain du règne de Nerva jusqu'aux empereurs de la fin du IV<sup>e</sup> siècle.

**Florus** : Historien latin d'origine espagnole (I<sup>er</sup> - II<sup>e</sup> siècle ap. J.C.), il résuma l'œuvre de Tite Live à l'époque d'Hadrien dans un Abrégé de l'Histoire romaine consacré à la gloire de Rome.

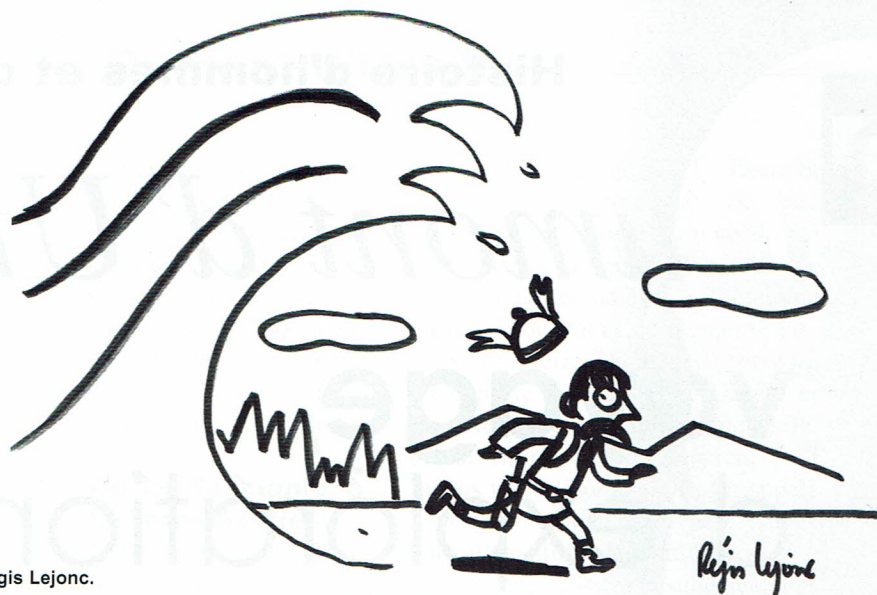
**Posidonios** : Auteur grec du I<sup>er</sup> siècle av. J.C. qui inspira fortement Strabon. Il laissa une description célèbre de l'ibérie et de la Gaule et divers ouvrages comme l'« Océan », les « Histoires » ou encore « l'Histoire de Pompée ».

**Strabon** : Géographe grec (64/63 av. J.C. - 25/24 ap. J.C.) contemporain de l'empereur Auguste. Son œuvre magistrale : « Géographie » présente une géographie universelle du monde antique au début de l'Empire romain et reste encore aujourd'hui une référence dans le domaine de la géographie historique.

**Timagène d'Alexandrie** : Auteur grec de l'époque d'Auguste (I<sup>er</sup> siècle av. J.C. - I<sup>er</sup> siècle ap. J.C.) et sur lequel on sait assez peu de choses. Seuls quelques fragments de son œuvre sont parvenus jusqu'à nous, cités chez Strabon et dans les livres d'auteurs postérieurs comme Ammien Marcellin.

**Cimbres, Teutons et Tigurins** : Peuples barbares du Nord de l'Europe, localisés plus particulièrement dans le secteur des Pays-Bas et du Danemark.

© Régis Lejonec.



font l'écho de ces possibles variations du niveau de l'eau. Et si l'homme avait été en mesure de saisir ces mouvements sur des périodes anciennes ?

## Une surprise de la recherche

Il s'agit bien là de l'une de ces surprises que réserve quelquefois la recherche. Nous retrouvons en effet les 3 périodes d'anomalies signalées plus haut et nous allons nous intéresser à la plus ancienne : celle de l'époque gauloise ou légèrement antérieure.

L'archéologie avait révélé depuis plusieurs décennies que les oscillations du niveau de l'eau avaient contraint l'homme à déplacer son habitat entre la fin de l'âge du Bronze et le milieu de l'âge du Fer (entre 1000 et 400 av. J.C.). Mais nous ne savions pas à quel rythme. Si rien de bien assuré ne permettait de répondre à cette interrogation sur le terrain, nous avons été surpris d'en découvrir quelques traces dans les sources anciennes d'époque romaine qui sont les plus vieux documents écrits conservés pour la côte atlantique européenne. Il s'agit de textes laissés par des auteurs comme Posidonios\*, Timagène d'Alexandrie\*, Strabon\*, Florus\* et Ammien Marcellin\* pour les plus célèbres. Deux témoignages différents apparaissent chez ces auteurs qui les ont bien souvent recopiés sans y croire réellement.

## Les secrets du grec et du latin

On doit le premier témoignage à Posidonios. Il fut repris par Strabon

qui le commenta, puis par Florus. Il décrit une situation antérieure à la conquête de Jules César : « Les Cimbres, les Teutons et les Tigurins\*, fuyant depuis les extrémités de la Gaule parce que l'océan avait inondé leurs territoires, cherchaient dans le monde entier de nouvelles demeures [...] » Strabon ne voit là qu'une fausse excuse des barbares, instables par nature, un prétexte pour envahir les peuples voisins ou atteindre les civilisations du Sud. Il émet de sérieux doutes sur l'information de Posidonios. Paradoxalement, c'est lui qui donne les plus précieuses informations : « l'émigration hors de leurs demeures des Cimbres et des peuplades proches se fit au moment d'une avancée de la mer qui eut lieu progressivement. »

Le second témoignage apparaît chez Timagène d'Alexandrie, repris par Ammien Marcellin. Il est de la première importance : « Les druides déclarent qu'en réalité une partie de ce peuple (les Celtes) est indigène, mais que d'autres aussi affluèrent en Gaule d'îles lointaines et de régions situées au-delà du Rhin, chassés de leurs demeures [...] par l'inondation des terres par les eaux de la mer. »

Cette vision des migrations celtiques entraînées par une transgression marine que certains auteurs ont qualifié de « légendaires », nous paraît au contraire du premier intérêt ! La concordance des événements dans le temps est très troublante. Ces témoignages sont peut-être les seules traces historiques aussi anciennes d'un phénomène naturel exceptionnel ■

Didier Coquillas





# Dumont d'Urville :

## voyage d'exploration scientifique au Pôle Sud

### Première tentative

Les deux corvettes quittent Toulon le 7 septembre 1837. Après avoir passé le détroit de Magellan, la descente vers le sud commence, objectif : faire mieux que l'anglais Weddell en 1823, c'est-à-dire dépasser 74°15'S. Des journées de plus en plus longues et des nuits de plus en plus courtes se succèdent alors dans l'Océan Austral. Les premiers icebergs solitaires sont aperçus. Puis, ils sont de plus en plus nombreux. En quelques jours, les navires français se trouvent au milieu de ces géants de glace aux portes du

Au XIXe siècle, l'heure des grandes découvertes est révolue : la mode est aux voyages d'exploration scientifique, précurseurs de nos grandes campagnes océanographiques actuelles. La seule partie du monde qui reste alors non explorée est la zone la plus australe du globe : l'Antarctique et ses glaces aussi fascinantes que dangereuses pour les navires... En France, un nom vient immédiatement à l'esprit lorsque l'on évoque ces contrées : Dumont d'Urville.

Retour sur le voyage qui lui a permis de découvrir la Terre Adélie.

### Récit inachevé :

Au moment de sa mort, seulement deux tomes du «Voyage» étaient publiés, le troisième terminé. Mais il en manque encore sept pour atteindre les dix prévus pour «l'Histoire du voyage au pôle sud et en Océanie». Vincendon-Dumoulin, l'ingénieur hydrographe de l'expédition, en achèvera la rédaction à la première personne, comme si c'était Dumont d'Urville qui s'exprimait, en s'appuyant sur les journaux de bord de son Commandant. Jacquinet prendra la direction de l'intégralité de la publication : au total 7 atlas et 23 volumes qui regroupent l'Histoire, terminée en 1846 et les résultats d'hydrographie, de physique, d'anthropologie, de botanique, de zoologie, de géologie, de minéralogie et de géographie physique de la campagne. Un travail scientifique considérable s'ajoutant aux précédents résultats de l'explorateur.

Lorsqu'il part pour son voyage au pôle sud et en Océanie, Dumont d'Urville (1790-1842) a déjà effectué deux tours du monde, dont un sous son propre commandement. C'est un homme érudit qui a déjà rapporté des centaines d'échantillons de plantes et d'insectes des quatre coins du monde. Pour cette expédition, l'Astrolabe, corvette avec laquelle il a fait ses précédents voyages, sera accompagné par la Zélée dont le commandement est confié à Jacquinet, Capitaine de Corvette, ami de Dumont d'Urville et qui a participé aux mêmes expéditions que lui.

continent antarctique. Par 63°40' de latitude sud, la route est bloquée par les glaces. L'Astrolabe et la Zélée se font prendre par la banquise. Pendant une semaine, les marins vont lutter contre le découragement, le froid et surtout la glace. A chaque instant, la glace menace de broyer les coques fragiles des deux bateaux. Les hommes se sentent tout petits face aux immenses forces de la nature : Dumont d'Urville écrira au sujet de cette zone entre mer et continent glacé que «nulle part l'Homme n'éprouve plus vivement le sentiment de son impuissance». Finalement, la prison blanche desserrera son étau et les deux voiliers s'en sortiront sans trop de dégâts : aucune voie d'eau n'est à déplorer, seul le doublage en feuilles de cuivre des coques sera à changer.





J.B.C. DUMONT D'URVILLE

Commandant l'expédition de l'Astrolabe

en 1826, 1827, 1828, 1829

Né à Condé-sur-Noireau (Calvados)

Le 22 Mars 1806

© cliché bibliothèque de Caen «Voyages autour du monde»-c2702

Au bout du compte, l'expédition française n'est pas allée aussi loin que Weddell, mais elle a réalisé un relevé précis des côtes, découvert la Terre Louis-Philippe, nommé ainsi en hommage à Louis-Philippe Ier, alors roi des Français, la Terre de Joinville et plusieurs îles. Dumont d'Urville est déçu. Il prend alors la décision de faire une autre tentative à la longitude de la Tasmanie, vers des terres inconnues. Fin 1839, après un an passé à sillonner les mers d'Océanie, Dumont d'Urville décide de repartir dans les mers australes à la recherche du pôle sud magnétique qui, selon les estimations

de l'époque, se situerait à l'intersection du cercle polaire antarctique et du méridien de la Tasmanie. Hobart, capitale de la Tasmanie, est donc idéalement situé pour partir pour une telle expédition.

## De la Tasmanie à la Terre Adélie...

L'Astrolabe et la Zélée quittent Hobart le 1er janvier 1840 pour une nouvelle descente vers le Sud. Comme lors de la première tentative, les icebergs qui jalonnent le parcours à partir de 62-63°S sont de plus en plus nombreux, immenses cathédrales de glace, et constituent maintenant un danger permanent pour la navigation. Le 18 janvier, par 64° de latitude sud, la présence de «pétrels blancs et gris, de damiers, de quelques manchots, d'une baleine et de deux ou trois phoques» fait conclure à Dumont d'Urville que la terre est proche. De plus, la température diminue et les compas sont inutilisables : autant d'indices qui font penser que le but est proche. Cependant, vers 66°S, les icebergs sont tellement nombreux et rapprochés qu'ils bloquent le passage. La nuit est réduite à une demi-heure de pénombre... Le 20 janvier, alors que les icebergs sont encore plus nombreux, des points noirs dans la glace donnent l'espoir d'avoir atteint le continent. Mais, comment être sûr qu'il ne s'agit pas d'un iceberg plus grand que les autres ? Dans ce monde glacé, tout est blanc, bleu et gris avec le mauvais temps... Les repères sont inexistant. Mais un temps trop calme freine les deux corvettes et les empêche d'approcher. Les marins en profitent pour célébrer le passage du cercle polaire antarctique. Le 21 janvier 1840, enfin, des débris de roches extraits par les naturalistes de l'estomac d'un manchot apportent la preuve que tout le monde attendait : l'Astrolabe et la Zélée sont au bord du continent antarctique dans une zone

inconnue jusqu'alors ! Dumont d'Urville prend possession de cette portion d'Antarctique au nom du roi de France. Il la nomme Terre Adélie, pour rendre hommage à sa femme qu'il a si souvent et si longtemps laissée seule à terre. Un drapeau tricolore est déployé sur ces terres glacées et «la cérémonie se termina comme elle devait finir, par une libation. [...] Jamais vin de Bordeaux ne fut appelé à jouer un rôle plus digne ; jamais bouteille ne fut vidée plus à propos». Les corvettes passent ensuite quelques jours à explorer les côtes de la toute nouvelle Terre Adélie. Mais, le calme des jours précédents ne dure pas longtemps : le 23 janvier, une tempête bloque les deux navires qui s'éloigneront vers le nord dès qu'ils le pourront. Les français manquèrent finalement le pôle magnétique austral : il se situait alors 400 milles plus au sud. Aujourd'hui, il se situe à 50 milles au large de la Terre Adélie, donc sur le trajet de Dumont d'Urville...

## «Sur les ailes de la renommée»

Les équipages sont épuisés. Le 1er février 1840, les corvettes entament le retour vers la France. Le 6 novembre 1840, après 38 mois de mer, les deux navires rentrent en rade de Toulon. Au total, 25 hommes sont morts, 13 ont déserté. Ces chiffres sont cependant classiques pour de telles expéditions au XIXe siècle. Mais ce voyage est une «réussite» pour la science et la navigation. Dumont d'Urville est nommé contre-amiral. Tous ses officiers et l'intégralité de l'équipage sont récompensés. Il est également nommé Président de la Commission Centrale de la Société de Géographie de Paris. Il se lance alors dans la publication de son «Voyage». Mais le 8 mai 1842, il mourra avec sa femme et son dernier fils dans un des premiers accidents ferroviaires. Une statue fut érigée deux ans après à Condé-sur-Noireau, sa ville natale. Le but que s'était fixé Dumont d'Urville enfant est donc atteint. Il a porté son nom «sur les ailes de la renommée» ■



Stéphanie Caradec, Ocean

Le bateau ravitailleur de la base scientifique française en Antarctique porte le nom de la corvette de Dumont d'Urville, l'Astrolabe.

Stéphanie Caradec



Du 23 janvier au 18 février 2003, une équipe d'une douzaine de chercheurs, ingénieurs et étudiants bordelais ont embarqué sur le navire océanographique Marion Dufresne... Destination : l'Antarctique et la Terre Adélie... Objectif : mieux comprendre l'actuel et le passé de cette région mythique qui compte parmi les zones clés des mécanismes climatiques planétaires. Une aventure scientifique et humaine...que nous fait partager Georges Oggian.

# Que de blanc,

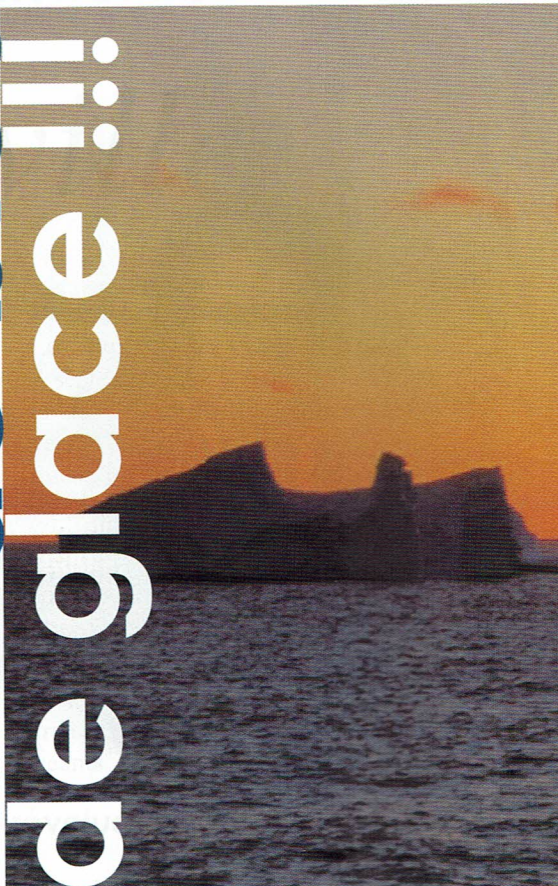
Dédié à Jean Jacques Pichon

Marion Dufresne, mardi 11 février 2003

**S**alut ! Fin janvier début février, nous étions encore dans les 50° (hurlants) de latitude et 146° de longitude Est, que nous avons passés sans problème, mais depuis, on se les gèle! Effectivement, depuis le début du mois, la température est passée progressivement de 15° à -6° pour l'air et de 15°

à 0° pour l'eau. Par contre, le vent aussi baissait ce qui a permis de lancer les hostilités scientifiques. Nos premières manip ont été vaines ce qui nous a permis d'écrire notre courrier philatélique en vue de la terre Adélie. L'Astrolabe, le bateau ravitailleur de la Terre Adélie, nous signale un premier iceberg à 10 milles de nous le 5 février, et naturellement lorsque nous croisons cet énorme bloc de glace à quelques centaines de mètres de nous, tous, sans exception, machines à souvenirs en main, étions dans un état d'excitation d'un matou devant sa première souris ! A partir de là, alerte générale, surveillance accrue pour les chasseurs de glaçons, surtout à la passerelle. Evidemment ils sont tous plus beaux les uns que les autres, tant par la couleur (il y en a des gris, mais plus blanc que blanc ça existe aussi !), tant par la taille, puisque nous les croisons d'assez près. Notre descente sur le continent était prévue pour le 6 mais les conditions météo étant telles (50 nœuds de vent, mer trop agitée), qu'elle est repoussée au lendemain. En attendant, nous avons continué à travailler ; en deux jours cinq carottes. Pas mal non ? Il fait beau, froid, le

# de glace de bleu!!!







© Stéphanie Caradec, Océan.

Le groupe des scientifiques bordelais.



© Stéphanie Caradec, Océan.

Rencontre avec les manchots Adélie, le 7 février 2003.

Le pont est gelé, le vent nous burine le faciès, les doigts sont engourdis mais le spectacle est magnifique ! Il fait nuit vers 23 heures et le jour se lève vers 3 heures, on en profite un maximum ! De plus derrière les icebergs on distingue la calotte qui n'en finit plus et que l'on a hâte d'aller fouler. Nous sommes le 7, nous faisons notre quart de 0 à 4 heures comme d'hab, un petit tour à l'office pour un steak au poivre vert avec des pommes de terre je ne sais pas quoi, mais bonnes, puis au lit. Réveil à 8h30, et là le Marion ne peut plus aller plus loin, il fait du surplace, il est devant l'indéfinissable : le pôle sud, le continent antarctique, la barrière de glace ! Grandiose ! Que de blanc, de bleu, de glace ; il fait  $-6,5^{\circ}$ , l'eau est à  $0^{\circ}$ , le vent souffle à 40 km/h mais nous venons de passer le cercle polaire  $66^{\circ}33'$ . Nous sommes les obligés du Dieu Neptune et les siens. Si nous

avons pris autant de coups de pied au c... que de photos, nous en aurions pour un bout de temps à nous en remettre ! «Bimbo» émerveillé comme à son plus jeune âge veut me faire part de son étonnement : « Je vais te dire mon petit Georges : c'est quelque chose que je n'ai jamais vu d'aussi beau ! ». Le zodiac a été mis à l'eau pour amener un plongeur de la base inspecter le propulseur d'étrave défaillant. La barge a aussi été mise à l'eau pour le transfert de tout le monde sur la base par groupes de vingt personnes pour une visite collective d'une heure et demie environ. Juste après le repas de onze heures, je fais partie de la première rotation. La barge slalome entre les blocs de glace sur lesquels les manchots adélie sont fiers de poser et de plonger pour nous. Nous arrivons près de la base qui est installée sur une île et nous apercevons l'Astrolabe arrivé quelques jours plus tôt. Un petit bateau nous guide et nous fais faire le tour de l'île pour découvrir des franges de stalactites, des voûtes de glace et des corniches congelées d'où pendent aussi des

stalactites, le toboggan des manchots qui peuplent évidemment toute l'île et ses environs. Nous arrivons au ponton où nous sommes accueillis par quelques hivernants dont le médecin, un biologiste et une ornithologue qui nous commentent la visite durant une heure et demie environ : bureaux, labos, photos de manchots sous tous les angles et retour au Marion. Un petit goût amer, au passage, nous n'avons pas eu le temps de fouler la glace et la neige du continent ce qui est pour moi une déception ! Tant pis ! Lorsque tout le monde s'est retrouvé devant le bar du bateau, inutile de vous dire que les commentaires allaient bon train, que les bouchons de champagne et les ti-punch fusaient de partout. Une journée inoubliable ! Bien sûr je suis désolé de n'avoir pu expliquer ou traduire notre émotion, alors il ne me reste plus qu'à souhaiter, à tous ceux et celles qui liront ces quelques lignes d'avoir la même chance que moi ■

**Amitiés  
Georges**





# L'incontournable choix énergétique

© Sylvie Dupont, Océan



**Bernard TISSOT** fut directeur scientifique de l'Institut Français du Pétrole (I.F.P.). Il est aujourd'hui président de la commission nationale d'évaluation des recherches sur la gestion des déchets nucléaires.

## En quelques phrases

«Les combustibles fossiles représentent 90% de la demande d'énergie primaire actuelle.»

«Avec les réserves inventoriées à ce jour, on va à peine au delà du demi-siècle pour le pétrole et pour le gaz ....»

«Si l'on se base sur les prévisions du style libéralisme intégral, on aura doublé les émissions de CO<sub>2</sub> entre 2020 et 2030 et on les aura triplé entre 2050 et 2070.»

«La Chine et l'Inde (...) consommeront en 2020 à peu près autant de pétrole et de gaz que l'Europe plus les Etats-Unis aujourd'hui»

«Le plus fort lobby aux Etats-Unis, ce n'est pas le lobby du pétrole, c'est le lobby du charbon, c'est le plus terrible !»

«Les plantes, elles s'en fichent qu'il y ait une éolienne»

«Je ne vous dirai jamais d'équiper Mexico ou Sao Paulo avec du photovoltaïque ou de l'éolien. Pour l'instant, on est incapables de le faire.»

«Si l'on se base sur les prévisions du style libéralisme intégral, on aura doublé les émissions de CO<sub>2</sub> entre 2020 et 2030 et on les aura triplé entre 2050 et 2070.»

«La loi de 1991 qui a décidé les recherches qui devaient être menées pendant 15 ans a prévu une commission nationale d'évaluation. Les autorités françaises cherchaient quelqu'un qui connaisse bien le domaine de l'énergie, mais qui ne soit lié à aucune des parties directement concernées par le nucléaire. Un géochimiste pétrolier a fait l'affaire.»

Entretien avec **Bernard TISSOT**, Commission Nationale d'Evaluation des Recherches sur la gestion des déchets nucléaires.

B.Tissot.cne@wanadoo.fr

**Terre d'Océan :** Le changement climatique ouvre frontalement le dossier de nos ressources énergétiques en montrant clairement du doigt les combustibles fossiles (pétrole, gaz, charbon). Or ces combustibles fossiles sont l'essentiel de notre énergie. Comment voyez-vous leur avenir ?

**Bernard Tissot :** Le premier point à considérer, c'est que, dans la demande d'énergie primaire actuelle, quel que soit l'usage qu'on en fait, l'électricité ou les carburants, les combustibles fossiles représentent 90%. C'est énorme. Et tous ces combustibles fossiles sont bien sûr émetteurs de CO<sub>2</sub> quand

on les utilise. Ca, C'est déjà un premier problème. Un deuxième problème tient au fait que le pétrole et le gaz, ressources plus utilisées, ont des réserves limitées. Avec les réserves inventoriées à ce jour, on va à peine au delà du demi-siècle pour le pétrole et pour le gaz. Mais on peut raisonnablement penser qu'on va encore exploiter d'autres réserves qu'on a pas su mettre en production jusqu'ici. Il y a 20 ans, on récupérait en moyenne 25% du pétrole d'un gisement. Maintenant, on en est à 35%. Il n'est pas du tout impossible d'arriver un jour à 45 ou 50%. Donc en trouvant de nouveaux gisements, en récupérant mieux, en mettant en exploitation des pétroles très lourds comme les fameux sables bitumineux de l'Athabasca au Canada, ou de l'Orénoque au Venezuela, on pourra



augmenter les ressources ultimes en pétrole. Augmenter, cela veut dire qu'au rythme actuel, dans le scénario où chacun fait ses choix librement, (ce que l'on appelle généralement en français «business as usual»), on arrivera péniblement à la fin du siècle, vraiment péniblement. Pour le gaz c'est un peu mieux ; on part d'une consommation plus faible, et il y a des espoirs de découvrir et d'exploiter de nouveaux gisements, en particulier à grande profondeur, mais pas d'améliorer le taux d'exploitation, à la différence du pétrole. Et puis il y a toujours les fameux hydrates\* de gaz dont on parle beaucoup. On sait encore très peu de choses sur la manière dont ils se sont formés, et on sait encore moins développer des technologies pour les exploiter.

**TO :** Le temps des combustibles fossiles est donc compté. Il faudra bien un jour ou l'autre se passer d'eux.

**BT :** Pour résumer, ils ont trois inconvénients majeurs à long terme. D'une part ils dégagent du CO<sub>2</sub>, et d'autre part, il faudra de toute façon se passer d'eux quand ils seront épuisés. Mais le troisième, c'est qu'ils constituent 90% de notre énergie actuelle.

**TO :** Il faut donc trouver à long ou moyen terme des solutions alternatives.

**BA :** Oui. Si l'on se base sur les prévisions du style libéralisme intégral, «business as usual», on aura doublé les émissions de CO<sub>2</sub> entre 2020 et 2030 et triplé entre 2050 et 2070. Cela pour deux raisons. La première, c'est le développement des pays comme l'Inde et la Chine. Et l'autre raison, c'est tout simplement l'accroissement de la population. Maintenant les démographes commencent à nous tracer des courbes où la population passe par un maximum et redescend un petit peu après, mais de toute façon, vers 2050, 2070, il y aura 2 ou 3 milliards de personnes en plus, alors

vous imaginez ce que ça donne. Si on admet que la Chine et l'Inde atteignent le niveau de développement économique des plus modestes états de l'Union Européenne, la Grèce et le Portugal, ils consommeront en 2020 à peu près autant de pétrole et de gaz que l'Europe et les Etats-Unis réunis. Si on voulait ne pas augmenter les émissions de CO<sub>2</sub>, et bien c'est très simple, il faudrait totalement fermer le robinet pour les européens et les américains pour laisser les chinois et les indiens se développer. Il est évident qu'il faudra essayer de faire quelque chose de plus intelligent.

ne sait pas remplacer les combustibles fossiles.

**TO :** Et le nucléaire, comment se place-t-il dans ce contexte ?

**BT :** Le nucléaire peut produire de l'électricité sans gaz à effet de serre. Mais attention, entre le moment où, dans un pays, vous prenez la décision et le moment où la centrale tourne, il faut un certain nombre d'années. Pour le programme français, qui a été mené tambour battant, on a compté près de 7 ans entre le jour de la décision et le jour où la première centrale a fourni de l'électricité au réseau.



© G.Hervouet

«...Partout où on le peut, il faudrait pouvoir substituer du photovoltaïque\* et des éoliennes...»

**TO :** Alors que peut-on faire de plus intelligent ?

**BT :** A mon avis, à court terme, on est assez limité, dans deux secteurs en particulier. D'une part pour les transports, où partout les camions sont prédominants, et d'autre part pour l'approvisionnement des grandes villes en électricité. Il y a 200 villes de plus d'un million d'habitants dans le monde et il y en a 20 de plus de 10 millions d'habitants. Pour les transports on utilise des fluides faciles à transporter et à verser dans le réservoir, et pour l'électricité dont tout le monde a besoin dans les villes, on

**TO :** Sans parler des déchets nucléaires ...

**BT :** Qui restent un problème, effectivement...

**TO :** Le nucléaire est donc une première alternative, mais c'est une «énergie sale» ?

**BT :** Enfin, sale, vous savez, le charbon c'est le plus gros émetteur de particules noires et de gaz à effet de serre ! Ah, je vous préviens, le plus fort lobby aux Etats-Unis, ce n'est pas le lobby du pétrole, c'est le lobby du charbon, c'est le plus terrible !



## Lexique et notes

**Hydrates de gaz** : Il s'agit majoritairement de méthane sous forme hydratée grâce à la pression. On les trouve dans les sédiments marins profonds, à quelques mètres sous leur surface. Les hydrates de gaz pourraient devenir une ressource énergétique, mais ils ont l'inconvénient d'être une source significative de gaz à effet de serre. En cas de réchauffement climatique ils pourraient être déstabilisés et laisser échapper brutalement leur méthane dans l'atmosphère, provoquant alors un effet rétroactif positif sur le réchauffement.

**Energie photo-voltaïque** : L'électricité solaire est le résultat de l'effet photovoltaïque, découvert en 1839 par Edmond Becquerel. Les cellules photovoltaïque transforment l'énergie lumineuse du soleil en courant électrique.

**Photolyse de l'eau** : Dissociation des atomes de la molécule d'eau par l'énergie lumineuse

**Electrolyse de l'eau** : Dissociation des atomes de la molécule d'eau par une différence de polarité électrique

**La Russie n'a finalement pas ratifié les accords de Kyoto.**

**Jean Claude Duplessy** : Paléoclimatologue, auteur de «Gros temps sur la planète» (cf p. 53 A découvrir)



«...Le nucléaire peut produire de l'électricité sans gaz à effet de serre...»

**TO** : Donc il y a le nucléaire, mais quelles autres sources d'énergie peuvent être développées ? On voit quelques éoliennes dans nos régions...

**BT** : Partout où on le peut, il faudrait pouvoir substituer du

photo-voltaïque\* et des éoliennes. Parce que toutes ces énergies dérivent de l'énergie solaire. L'énergie géothermique, quoiqu'en disent certains, représente peu de choses, sauf en Islande ou en Nouvelle Zélande. Donc en fait, le vrai enjeu, c'est l'énergie solaire. Les grandes éoliennes se disposent sur une surface d'un hectare. Et cet hectare n'est pas perdu. Il l'est certes pour l'élevage, parce que je pense que les vaches devraient faire une drôle de tête. Mais il n'est pas perdu pour faire du blé, du colza ou du tournesol ; les plantes, elles s'en fichent qu'il y ait une éolienne. Mais c'est une source énergétique très dispersée sur de grands espaces. Pour alimenter les villes, il va falloir concentrer l'énergie pour l'envoyer à Mexico, ou à Paris. Disons Mexico, parce qu'il y a plus de soleil à Mexico qu'à Paris. Mais alimenter une ville comme Paris et ses 10 millions d'habitants avec de l'énergie aussi dispersée, c'est un problème qu'on ne sait pas résoudre actuellement. Parce que cela suppose de transporter cette énergie, la rassembler. Finalement, c'est tout l'inverse d'un réseau de distribution. Avec un réseau de distribution, il arrive 400 mille

volts et ensuite vous avez des postes de répartition, et puis finalement l'électricité arrive au bout de votre chandelle dans votre cuisine. Mais là c'est le contraire. Il faudrait substituer à des distributions d'électricité avec des fils, des éoliennes ou d'autres énergies situées partout où les consommateurs sont eux-même dispersés.

**TO** : Créer des petits réseaux en quelque sorte...

**BT** : Un petit village de 300 habitants peut très bien s'équiper avec ça. Le plus bel exemple est l'Australie, où les fermes d'élevage sont souvent distantes de plusieurs dizaines de kilomètres; par contre ils ont des troupeaux très importants, plusieurs dizaines de milliers de moutons ou de vaches. Ce qui contrôle l'effectif, c'est le fait qu'on peut leur donner à boire.

Une pompe suffit et l'éolienne l'alimente très bien. Même le jour où il n'y a pas de vent, cela n'a pas d'importance ; le vent ne se stocke pas, mais l'électricité se stocke.

**TO** : Donc ça serait une autre façon de voir l'énergie, un petit peu comme l'eau est locale, l'énergie deviendrait un produit local.

**BT** : Il le faudrait partout où on peut le faire, je pense en particulier aux villages dispersés dans les pays en développement qu'on s'efforce d'aider, il vaudrait mieux leur installer des éoliennes. Le photovoltaïque, c'est un peu plus difficile d'entretien déjà, mais des éoliennes iraient très bien. Par contre, je ne vous dirai jamais d'équiper Mexico ou Sao Paulo avec du photovoltaïque ou des l'éoliennes. Pour l'instant, on est incapables de le faire. Les consommations sont tellement énormes !

**TO** : Donc en fait il faut quand-même repenser la façon de voir l'énergie, avec sa régionalisation, alors que jusque là, on a une production d'énergie complètement centralisée. C'est une révolution culturelle !

**BT** : En plus vous avez un problème... dans certaines régions on n'accepte pas d'avoir une centrale nucléaire. Sur les bords de la Loire, les gens s'en accommodent, mais en Bretagne, on n'en veut pas. Et les bretons ne veulent pas non plus d'éoliennes. Je n'ai rien contre les bretons, mais si on veut de l'électricité à bon prix, si on ne veut pas de nucléaire et qu'on ne veut pas d'éolienne, le problème commence à devenir compliqué. Alors peut-être qu'il faut faire des incitations, dire on vous vendra le kilowatt/heure 1 centime d'euros de moins que les autres, si vous acceptez qu'on mette une éolienne sur la falaise...

**TO** : On entend parler de la photolyse, quel rapport avec l'énergie ?

**BT** : On peut espérer récupérer de l'énergie de la dissociation de l'eau, la photolyse\* de l'eau pour produire de l'hydrogène. Mais c'est presque du domaine du prix Nobel, en tout cas





© G. Hervouet

c'est pour après-demain, pas pour demain matin. Mais ça ce serait un très bel objectif la photolyse de l'eau, on aurait de l'hydrogène et on pourrait s'en servir. Mais actuellement, on ne connaît que deux voies, et une troisième un peu floue pour fabriquer de l'hydrogène, parce qu'il faut le fabriquer industriellement. Les bouteilles qu'on vous vend sont très bien pour faire marcher des appareils dans un laboratoire, mais pour faire rouler les camions, la quantité n'y est pas. Il faudrait donc produire l'hydrogène par électrolyse de l'eau, mais là il faut utiliser de l'électricité qui ne produise pas de CO<sub>2</sub>, donc de l'électricité nucléaire, soit le faire en raffinerie, à partir d'une fraction de type essence. Cela veut dire que vous consommez en fait le même carburant, l'essence, mais au lieu de le consommer à la voiture, vous le consommez dans une raffinerie, à la production.

Alors évidemment, ça on produit la même quantité de CO<sub>2</sub>, mais il y a quand-même une nuance, quand vous produisez du CO<sub>2</sub> dans une centrale électrique ou dans une raffinerie, vous pouvez envisager de le récupérer, alors que si quand vous produisez du CO<sub>2</sub> au pot d'échappement d'un camion, la récupération pose problème !

**TO :** Quel est votre sentiment sur l'adaptation de l'homme et de ses énergies au changement climatique sur les 50 prochaines années ?

**BT :** Mon sentiment est que l'accord de Kyoto est mal parti pour deux raisons. La première est que les américains n'y sont pas, alors qu'ils sont consommateurs d'à peu près 25% des combustibles fossiles, donc émetteurs, de 25% du CO<sub>2</sub>. Et puis la seconde, est que cet accord est seulement un premier pas. Si on applique Kyoto au sens strict et qu'on s'arrête là, la température va continuer à monter, parce que ce gaz s'accumule ! La durée de vie moyenne du CO<sub>2</sub>, c'est une centaine d'années, alors.

Les Russes\* et les pays de l'Est pourraient adopter le protocole de Kyoto, pour une raison très simple : cela ne leur coûterait aucun effort. Ils ont eu une crise économique terrible dans les années 90 et leur consommation d'énergie a beaucoup diminué. Mais le jour, où leur économie repartira, peut-être bien qu'ils diront : «Kyoto, on oublie». Dans ces circonstances là, j'ai l'impression qu'il faudra encore des années avant que le monde entier, tout au moins une majeure partie du monde arrive à se mettre d'accord. Et des années, cela veut dire peut-être 20 ans. Je pense que si on arrivait à plafonner

les consommations de combustibles fossiles en 2020, ce ne serait déjà pas si mal !

**TO :** Qu'est-ce qui pourrait aider à faire pression sur ce plafonnement ? La perspective de l'épuisement des ressources ? Ou des événements «catastrophiques»?

**BT :** Il n'y a pas de doute que s'il y a des inondations répétées, s'il y a des tempêtes fréquentes cela fera une sérieuse pression sur la population dans tous les pays...les scientifiques ne peuvent pas dire à la population, vous voyez, l'effet de serre c'est vrai, regardez la tempête ou regardez la crue. Au mieux peut-on dire pour être honnête «si comme nous le pensons il y a un changement climatique, il faut s'attendre à des événements de ce type-là». Mais cela ne prouve pas que l'inondation du Gard ou en Ardèche soit due à l'effet de serre.

**TO :** Les gens s'inquiètent, et l'inquiétude grandit face au manque de réponse...

**BT :** Vous savez, nous en avons parlé avec Jean Claude Duplessy\*, à l'époque de la tempête, en 1999. On ne peut pas affirmer aux gens qu'elle est due au changement climatique, mais il faut quand-même y prendre garde. Et l'un comme l'autre on en a conclu : si j'ai une cheminée sur mon toit qui n'est pas très solide, je vais tout de suite la faire réparer ■

Propos recueillis par **Eric Veysy** et **Laurence Candon**, lors du colloque «Regards croisés sur les changements globaux» à Arles, en novembre 2002.



@ François Weisbecker.



# AGRICULTURE et Effet de serre

Ne doit-on plus labourer les champs ? Le semis direct est-il une solution universelle et généralisable à l'avenir ? Cette technique permet effectivement au sol de garder son carbone et contribue ainsi à atténuer l'effet de serre. Séduisante sur le papier, elle est diffusée à grande échelle aux Etats-Unis, au Brésil (70 millions ha dans le monde !), elle est testée en France de façon plus confidentielle. Avec les agriculteurs locaux, le CIRAD a beaucoup contribué aux progrès et aux adaptations de cette méthode. Francis Forest nous livre son expérience.

**Entretien avec Francis FOREST, chercheur au CIRAD.**

**Terre d'Océan :** La culture sans labour, est-ce uniquement expérimental ? Depuis quand et à quelle échelle existe-t-elle ?

**Francis Forest :** On commence à parler de la culture sans labour en France ; mais en fait ce grand mouvement est né aux Etats-Unis après la grande crise des années 1930. Les états du centre des Etats-Unis ont été l'objet d'une désertification éolienne très rapide, faisant suite au travail du sol par des grosses machines. Le gouvernement des Etats-Unis a alors lancé un grand

programme, le «New-Deal» de l'époque pour restaurer la fertilité des sols, dans le Kentucky notamment.

**TO :** Parce que les rendements avaient chuté ?

**FF :** Parce que la terre s'en allait, des millions d'hectares de terres ont ainsi été abandonnés et les paysans sont devenus pauvres. En plus, cette situation s'est conjuguée avec la crise économique. Il y a eu «les raisins de la colère», le fameux film, où les gens se retrouvent avec des cailloux. Les agronomes américains se sont mis au travail avec de gros financements pour relancer une agriculture intensive, mais en essayant d'éviter l'érosion. Les premiers pas de la culture sans labour sont liés à l'émergence des herbicides, notamment le paraquat inventé il y a 60 ans. La principale fonction du labour est de retourner le sol pour tuer les graines mais en disposant d'une molécule qu'on peut épandre les gens, sans faire d'écologie, sont

alors dit tout bêtement, «on met de l'herbicide, c'est moins fatiguant, on ne laboure pas, on fait des économies de machine et surtout on ne tasse plus les sols et les sols ne s'érodent plus». Les américains ont donc été les pionniers du travail sans labour. Ils ont développé énormément ces techniques de «labour chimique» dans les années 1950 : l'herbicide a remplacé le labour. Le deuxième grand mouvement a été initié par les Européens qui se sont installés au Brésil dans les années 1970-80. Des immigrants venant notamment de Pologne, d'Allemagne ou de Hollande et ayant vécu aux Etats-Unis, ont développé le système dans les états semi-tempérés du Sud du Brésil, le Parana notamment, où il fait froid en hiver et chaud en été. Depuis 40 ans, le «semis direct sur la paille» y est développé. Les gens l'appellent ainsi parce qu'en ne labourant plus, on laisse pousser la végétation et on garde les résidus de culture. Il s'agit alors de

semer à travers la paille. Des machines ont été inventées dans les

- **Mulch** : pailles broyées et laissées sur le sol
- **Septosporiose ou ingosporiose** : maladies parasitaires
- **Rhizosphère** : réseau racinaire
- **Nitrification** : transformation de l'azote en nitrates par des bactéries nitrifiantes
- **«Roundup»** de Monsanto ou plus généralement «glyphosate»
- **SCV** : systèmes de culture sous couverture végétale





## L'essentiel en quelques phrases

«On peut dire que ce modèle-là est une révolution écologique»

«Les sols entretiennent eux-mêmes leur fertilité»

«Les agriculteurs doivent désinvestir sur les technologies traditionnelles et racheter un semoir en semis direct»

«Les gens croyaient qu'il avait drainé ses terres, qu'il avait acheté pour des millions d'euros de tuyaux. Non, c'est l'activité biologique dans le sol qui a joué ce rôle ...»

«Le monde change avec 3% des gens.»

«Un agriculteur en semis direct n'a plus du tout les mêmes angoisses pour caler ses cultures de printemps parce qu'il est moins dépendant de la météo.»

«Vous comprenez que ce genre d'économie ne plait pas à tout le monde.»

«La grande idée, c'est de prendre ce qu'a de bon l'écosystème forestier...pour l'adapter à nos cultures annuelles et ainsi donner durablement à manger aux hommes et aux animaux. »

## Le CIRAD

Le Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement est un organisme français de recherche, comptant 1800 personnes. Les chercheurs sont présents dans 50 pays, en particulier en zones tropicales. Le CIRAD s'intéresse aux sciences du vivant et aux sciences sociales, appliquées à l'agriculture, la gestion des ressources naturelles et l'agroalimentaire.

années 1970. De la même façon que les machines à coudre, elles font des trous à travers le «mulch»\* pour semer. Dans les années 80, les brésiliens ont cherché à adapter cette méthode plus au Nord, dans les régions chaudes pluvieuses de la région des Cerrados et aux confins de l'Amazonie. Il s'est avéré que cette technologie ne marchait pas car la paille disparaissait rapidement sous l'effet de la pluie et de la chaleur.

Dans les années 90, sous l'impulsion de l'agronome L. Ségué, le CIRAD au Brésil a été le premier organisme à ainsi mettre au point la technique de semis direct sur couverture végétale permanente adaptée aux écosystèmes tropicaux humides et chauds de l'Amazonie. Actuellement au Brésil, plus de 10 millions d'hectares sont

ainsi mis en valeur. Des rotations de cultures de soja, de riz et de maïs, sans labour et avec du semis direct, y fonctionnent parfaitement. C'est une révolution écologique à multiples avantages et vous pouvez aller contrôler : il n'y a plus d'érosion. Les brésiliens maîtrisent complètement la conservation de leur ressource avec le SCV\*.

**TO :** Mais toujours avec l'utilisation d'herbicides ?

**FF :** Bien sûr, le système est basé sur les herbicides. Cela a été notamment la grande réussite du «Roundup» de Monsanto. Actuellement, cette molécule est concurrencée par le glyphosate qui est la version générique du Roundup dont le brevet est échu.

**TO :** Et qui est dégradable ?

**FF :** Non seulement elle est biodégradable, mais sa dégradation est très rapide en milieu humide et chaud, et en plus vous gardez un tapis végétal. Les molécules touchent la couverture végétale, mais pratiquement aucune de ces molécules n'atteint le sol parce qu'elle est interceptée par le «mulch» et là, il y a biodégradation. On n'a donc aucune pollution des sols. Au contraire, on réactive la vie biologique dans les sols qui sont capables d'entretenir leur fertilité grâce au recyclage permanent des éléments nutritifs contenus dans la biomasse produite chaque année et convertie en «mulch» ou litière.

**TO :** A qui profite cette technique : aux grandes ou aux petites exploitations ?

**FF :** Vous êtes en plein sur le grand sujet : cette gestion biologique des sols a-t-elle aussi un avenir social et économique ? Ce n'est pas seulement une évolution sur le plan des moindres émissions de carbone. Au Brésil, c'est d'abord la grande agriculture qui en a profité, mais on essaie bien sûr de faire bénéficier les petits agriculteurs de cette technique qui leur est potentiellement parfaitement adaptée (peu d'équipement, peu de besoin en énergie). La nature qui a inspiré ce modèle n'a pas de mauvaises intentions !

**TO :** Donc là-bas, le semis direct a un avenir social et économique. Mais est-il exportable pour nos sociétés européennes ?

**FF :** Ca c'est une remarque intéressante. Ca fait déjà 6 ou 7 ans que des agriculteurs français et européens, avec leurs sous, prennent contact avec nous. Une dizaine de chercheurs du CIRAD travaillent ces questions dans le monde en particulier en Amérique latine, et ces agriculteurs vont là-bas pour faire des visites. Ils y vont avec leurs coopératives et associations. Actuellement en France, 300 à 400 agriculteurs ont fait les premiers pas vers le semis direct avec de grands espoirs parce qu'il semble qu'on ait la possibilité d'adapter ces techniques aux conditions locales françaises. Il faut surtout identifier les plantes de couverture des sols en hiver qui sont adaptées à nos climats. Les premiers résultats montrent que notamment des vesces ou des avoines ont cette capacité. Ainsi il n'y a plus d'érosion et vous ne touchez plus au sol. Cela permet l'installation des cultures de printemps et d'été dans de bonnes conditions. En sortie d'hiver, un sol sous mode SCV\* est bien drainé, donc se réchauffe plus vite malgré la couverture car il contient des tonnes d'eau en moins à réchauffer ! Actuellement, ce système est surtout une technique de récupération de terres dégradées, inondables en particulier. Mais les évolutions vont très vite et des agriculteurs commencent à les mettre en place en substitution des grands systèmes très productifs, notamment en Beauce, en Touraine ou dans la région toulousaine.

**TO :** Et en terme de rendement, comment se placent ces techniques ?

**FF :** D'abord, c'est un apprentissage, c'est comme si on demandait à un patineur à roulettes de devenir champion de patin à glace, avec le droit à un tour de piste par an !!! Cela ne se fait pas en quelques semaines. Au bout de 3 ans, les agriculteurs arrivent à développer et à maîtriser les techniques.

**TO :** C'est un apprentissage technique mais c'est aussi un apprentissage culturel parce que convaincre un







© Eric Veyssy, Océan

**agriculteur de ne pas labourer ne doit pas être si facile que ça !**

**FF :** Je pense que le problème le plus difficile à résoudre est d'ordre économique et social. Si un agriculteur a investi sur des grosses technologies, des machines perfectionnées, une charrue à douze socs par exemple, il est évident qu'il ne va pas la jeter à la mer demain. Donc il y a une phase d'accompagnement. Les agriculteurs doivent désinvestir sur les technologies traditionnelles et racheter un semoir en semis direct. Les Brésiliens sont les leaders, mais on commence à avoir des entreprises européennes et françaises qui en fabriquent. Il y a une phase de rupture économiquement difficile, au cours de laquelle il est nécessaire d'appuyer les agriculteurs. Mais c'est aussi difficile culturellement. Le changement passera par quelques agriculteurs, on les connaît : le monde change avec 3% des gens. Et ces agriculteurs-là commencent à exister en France et puis par propagation... Au début les voisins critiquent, rigolent, et puis... Il y a eu des inondations en 2001 en Touraine, le seul agriculteur à avoir récolté du blé utilisait le semis direct... Les gens croyaient qu'il avait drainé sa terre, qu'il avait acheté pour des millions d'euros de tuyaux. Mais non, c'est l'activité biologique du sol qui a assuré le rôle, c'est le sol qui était perméable, qui vivait. Quand la plupart des blés étaient atteints de septosporiose par exemple, lui n'en avait pratiquement pas, donc petit à petit les gens voient que non seulement ça marche mais en plus qu'il y a moins de coûts, moins de risques. Donc je pense que c'est tout un apprentissage, au niveau des groupes d'agriculteurs. Maintenant ces groupes s'organisent en réseau, en associations, comme la FNACS

«...Actuellement en France, 300 à 400 agriculteurs ont fait les premiers pas vers le semis direct...»

(Fédération Nationale des Agriculteurs de Conservation des Sols), où les gens commencent à échanger leurs expériences et nous consultent. Le mouve-

ment est parti, mais nous sommes dans une phase transitoire qu'il faut accompagner. Cet accompagnement à l'échelle du champ, de l'exploitation, est du domaine de l'ingénierie, de la pratique : c'est complètement un problème d'agriculteurs. Il faudrait que les syndicats agricoles s'en préoccupent aussi, car sinon, c'est le modèle brésilien et sa technologie qui vont s'implanter en Europe. Le CIRAD veut alerter la communauté scientifique et technique française, que nous avons nous investi depuis 25 ans au Brésil avec succès. C'est un investissement que les français ont payé avec leurs impôts ; il est donc urgent de rapatrier un peu de ce savoir faire et de ces techniques pour les mettre aux profits des agriculteurs français et européens.

**TO :** Les bénéfices de ces techniques sont dus à des investissements moindres, mais le revers n'est-il pas que le rendement est également un peu moindre ?

**FF :** Après l'apprentissage, on peut atteindre un rendement égal avec une énorme réduction de coûts d'équipement, parce qu'en semis direct, il y a seulement besoin d'un semoir, et de matériel pour traiter. Mais ce dernier existe déjà. De plus, vous avez bien moins de dépenses de carburant, moins de temps de travail, et surtout une plus grande souplesse. Le lendemain d'une grosse pluie, les agriculteurs en SCV peuvent intervenir au champ. Ils sont sur un tapis élastique, les engins passent, il n'y a pas de tassement, ils n'abîment pas le sol. Un agriculteur en SCV a donc une grande flexibilité dans ses calendriers culturaux parce qu'il est moins dépendant de la météo.

**TO :** Et il a moins besoin

d'irrigation ?

**FF :** Là vous entrez sur les impacts sur le milieu, et l'avantage, notamment pour les zones chaudes. Le sol est plus frais, le «mulch» permet de conserver l'humidité dans le premier mètre du sol et vous avez par conséquent une meilleure activité microbienne, bref vous faites une économie d'eau et vous produisez plus de grain par mm d'eau ! Au Mexique, E. Scopel a montré que sur 400 mm de précipitation, on en économise 120, c'est pas mal ! Et 120 mm. ça fait beaucoup d'irrigation.



L'agriculteur

en connaît le coût.

Autre point très intéressant pour les périodes sèches, par exemple pour le Sud de la France, ces techniques permettent à l'activité biologique de remonter en surface. Ce n'est pas le cas pour des parcelles non couvertes, car dans ce cas les sols sèchent et se réchauffent énormément. Les petites bêtes se mettent alors en profondeur, fuyant la chaleur, réduisant l'activité biologique des sols. En contrepartie vous avez un effet négatif, ou disons un effet de





retard : au printemps, les sols sur semis direct se réchauffent moins vite si la couverture de «mulch» est par trop réfléchissante (jaune). Il faut en tenir compte et les recherches actuelles du CIRAD visent à dessécher les couvertures végétales en les faisant noircir pour assurer l'accumulation de chaleur solaire... Globalement, le semis direct, c'est d'une grande souplesse mais avec un risque certaines années plus froides et plus sèches, d'un petit retard à l'installation des cultures d'été en France... Mais ce qui

sur des champs labourés a de fortes chances d'être stressée...

**TO :** Qu'en est-il au niveau des apports d'engrais, azote et phosphore ?

**FF :** Nous travaillons ces questions surtout en milieu tropical et semi-humide. Globalement, ce système-là permet une meilleure activité racinaire à l'installation des cultures. On a moins de pertes en éléments nutritifs par lessivage car l'azote est libéré à la demande par la litière et les microorganismes du sol. Donc à égalité d'apports, vous produisez plus parce que le système est fermé, sans érosion, sans perte de nitrates vers la nappe et la mer ! Les doses que les ingénieurs préconisaient aux agriculteurs tenaient compte des fuites. On peut quasiment diviser par 2 les apports en azote en gardant un rendement égal. C'est une solution pour les problèmes de nitrates dans les nappes d'eau de la Beauce, par exemple. Avec le semis direct, le paysan apporte donc moins d'engrais et dépense moins. Mais vous comprenez que ce genre d'économie ne plait pas à tout le monde !

années de SCV en Touraine donne une accumulation de 15 t de carbone à l'ha en 15 ans sur une rotation avoine/maïs/blé... on est largement en situation de faire valoir nos droits du protocole de Kyoto où la tonne de carbone stockée vaut près de 10 euros !

**TO :** Y-a-t-il d'autres intérêts à ces techniques ?

**FF :** On a une autre application intéressante pour l'élevage, c'est ce qu'on fait en Asie par exemple. On met au point des systèmes de couverture végétale à forte capacité de nutrition des animaux. Il s'agit de planter le maïs ou le riz pendant la saison des pluies ; vous récoltez le grain pour nourrir les paysans, puis vous couchez votre paille, et vous faites venir les bestiaux. La lumière revient, le fourrage se développe. On commence ainsi à résoudre le fameux conflit culture-élevage. Tout cela parce qu'on occupe plus longtemps le sol, on utilise plus d'énergie solaire, et à l'arrivée on a un meilleur rendement du sol en quelque sorte. Et le moteur de tout ça, c'est l'activité biologique. On redécouvre la nature. Et en gros, le fonctionnement naturel de l'écosystème forestier, les paysans le domestiquent au service de la production de graines et de fourrages. La grande idée est de prendre ce que l'écosystème forestier a de bon, sa stabilité et sa résilience. Mais celui-ci ne nourrit que des singes et des papillons. Il s'agit de prendre les vertus écologiques du couvert forestier pour l'adapter à nos cultures annuelles et ainsi donner durablement à manger aux hommes et aux animaux. C'est le fondement des SCV... Et je pense que ce système a un avenir en Europe d'autant plus qu'avec le changement climatique, il faudra trouver des systèmes de cultures qui soient adaptés à la chaleur et à la sécheresse... les SCV devraient être une des réponses ■

## Pourcentage des terres cultivées en semis direct en Amérique et en Europe.

### Amerique :

Etats-Unis	17,5
Brésil	25
Paraguay	52
Argentine	37

### Europe :

Irlande	0,3
France	0,3
R. U.	1
Allemagne	3
Suisse	3
Italie	1
Slovaquie	1
Portugal	0,8
Espagne	2

**TO :** Il y a quand même un petit inconvénient par rapport aux changements climatiques, c'est que le semis direct produit une forte émission de N<sub>2</sub>O, gaz à effet de serre majeur ?

**FF :** Sachez qu'au Brésil, actuellement, on a des systèmes où on stocke plus de 2 tonnes de carbone atmosphérique par hectare et par an. Bien sûr, en contrepartie de ces 2 tonnes, vous avez à peu près 0,2-0,3 tonnes en équivalent carbone de N<sub>2</sub>O qui partent vers l'atmosphère, c'est à dire 10 % de ce qui est retenu. Mais on ne sait pas trop comment cela se passe, ce sont des questions de fond du domaine de la recherche menées par l'INRA. A l'heure actuelle, nous pensons qu'un sol en semis direct bien géré, bien aéré, est un système en oxydo-réduction équilibré. En réduisant les apports en azote, on utilise les nitrates à flux tendu et globalement le problème de l'azote ne vient pas oblitérer la séquestration du carbone. Des résultats récents après 7

est important, c'est qu'au mois de juin, quand il y a une sécheresse, la culture sous SCV continue à pousser sans irrigation parce qu'elle vit sur les réserves en eau, tandis que la culture

Propos recueillis par **Eric Veyssy** et **Laurence Candon**, lors du colloque «Regards croisés sur les changements globaux» à Arles, en novembre 2002.



**1ère édition**

DES RENCONTRES INTERNATIONALES

TERRE D'  Océan

# Estuaires et deltas du monde

© Photo Michel Le Collen

**les 5 et 6 novembre 2004**  
Rives d'Arcins à Bègles 33

## Vendredi 5 novembre

9h - 16h : Les estuaires et deltas du monde racontés aux enfants  
(accueil de groupes scolaires)

18h à 20 h : Ouverture de la session **GRAND PUBLIC : ENTRÉE LIBRE**  
(Film et conférence de présentation générale des estuaires  
et deltas du monde)

## Samedi 6 novembre (de 9h30 à 20h)

**CYCLES DE CONFÉRENCES / DIAPORAMAS PAR CONTINENT : ENTRÉE LIBRE**

**MINI-CROISIÈRES avec conférences sur la Gironde**

**ESPACE EXPOSITIONS ET ATELIERS LUDIQUES POUR LES ENFANTS : ENTRÉE LIBRE**

Photographies de M. Le Collen : extraits de l'exposition itinérante «La Gironde vue du ciel»  
disponible à la location. Contacter Association Océan.

**VENEZ DÉCOUVRIR LES ESTUAIRES  
ET LES DELTAS DU MONDE ENTIER  
(AMAZONE, MISSISSIPPI, WOURI...)**

© Photo Michel Le Collen



### Gros temps sur la planète



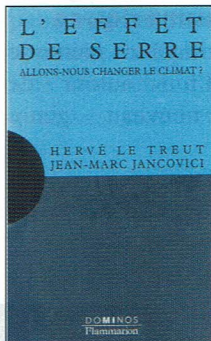
Dans ce livre les scientifiques font partager leurs connaissances sur les phénomènes du climat, afin que chacun puisse avoir les cartes en main pour

mieux comprendre les mécanismes du système Terre et du changement climatique.

**Jean-Claude Duplessy et Pierre Morel**

*Ed Odile Jacob, Paris, 1990*

### L'effet de serre Allons-nous changer le climat ?



L'effet de serre et ses conséquences sur le climat sont devenus un véritable enjeu de société. L'homme contribue largement au dérèglement climatique.

C'est pourquoi chacun doit être informé correctement afin de comprendre les enjeux du climat et les conséquences sur la vie. Les éditions Dominos répondent clairement à des questions simples : qu'est-ce que l'effet de serre ? Quelle est la part de l'homme dans le changement climatique ? Quels risques courrons-nous ? Quelles sont les solutions ?

**Hervé le Treut**

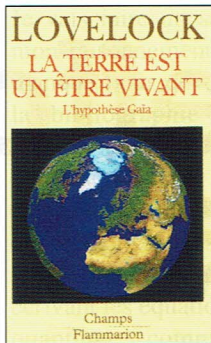
**Jean-Marc Jancovici**

*Ed Flammarion, Paris, 2001*

### La Terre est un être vivant L'hypothèse Gaïa

Un chercheur «fou» a fait un rêve : notre planète est un organisme vivant... et nous n'en sommes que quelques «bactéries». Dérisoires ? Parasites ? Ce chercheur s'appelle James Lovelock et ne s'est pas

contenté de rêver, il a fait de cette idée une théorie scientifique forte qui est au centre des débats actuels dans les recherches en environnement. Il a



baptisé ce supra être vivant Gaïa...

**James**

**Lovelock**

*Ed Flammarion,*

*Paris, 1993*

### La planète brûle... ses réserves et nous entraîne vers des temps chaotiques



Eric Veysy, médiateur scientifique à OCEAN, fait ici le point sur les changements climatiques et les faits scientifiques qui l'étayent. Son approche repose sur les

derniers résultats scientifiques et les perspectives politiques.

**Eric Veysy**

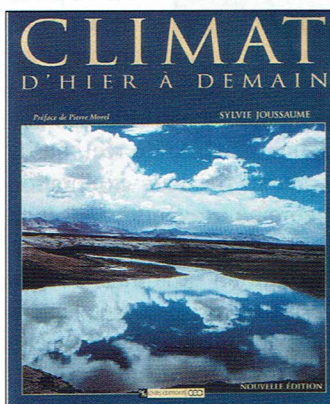
*Ed Le bord de l'eau, Latresne, 2003*

### Climats d'hier à demain

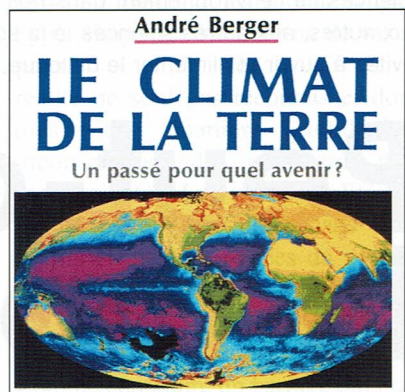
Cet ouvrage, très bien illustré est un cours complet sur le fonctionnement de la machine climatique. Des climats du passé à l'homme sur la scène climatique, le lecteur sera informé sur les acquis scientifiques sur le climat.

**Sylvie Joussaume**

*CNRS Editions, Paris, 1999*



### Le climat de la Terre : un passé pour quel avenir ?



**André Berger**

## LE CLIMAT DE LA TERRE

Un passé pour quel avenir ?

Dans ce livre André Berger, maître en sciences météorologiques, traite du rôle de l'Homme dans l'évolution du système climatique.

Depuis l'histoire naturelle du climat à l'exposition des agressions de la civilisation moderne sur l'environnement, l'auteur souligne la responsabilité que nous avons de léguer aux générations futures un environnement qui permette de répondre à leurs besoins.

**André Berger**

*De Boeck Université, Bruxelles, 1992*

### Avis de tempêtes : la nouvelle donne climatique



JEAN-LOUIS FELLOUS

## AVIS DE TEMPÊTES

LA NOUVELLE DONNE CLIMATIQUE

Jean-Louis Fellous, directeur des recherches océaniques à l'IFREMER, fait le point sur les symptômes, les causes du réchauffement climatique et l'implication de l'homme dans le changement. Il nous invite à réfléchir à une action concertée à l'échelle mondiale pour atténuer les dégâts causés par l'homme. «Parce qu'il n'y en a qu'une...c'est la Terre !»

**Jean-Louis Fellous**

*Ed Le Club, Paris, 2002*





Cette rubrique se place à côté ou au delà des sciences proprement dites. Il s'agit plus d'un espace de recul, de discussions de postures ou de positions, voire de sentiments ou encore d'humeurs plus ou moins raisonnées. Quelles positions ont les sciences de l'environnement dans nos vies quotidiennes, nos représentations du monde, nos modes de vie, nos rapports aux autres, aux autres sciences, à la société. Tous, acteurs ou extérieurs au monde des sciences de l'environnement, sont invités à ouvrir et alimenter le dialogue, le débat, à élargir chaque fois un peu plus les réflexions et les échanges.

# Peut-on effacer le monde ?

## Propos sur la perte de réalité

### Omniprésence des modèles

La science ne peut procéder sans faire appel à des modèles : toute observation est déjà précédée d'une représentation mentale : un premier modèle. Par exemple, si je mesure la vitesse du vent, je possède déjà en moi la représentation de ce que je nomme la vitesse. Elle ne va pas de soi, elle est déjà une théorie : la vitesse du vent, c'est la distance qu'il peut parcourir pendant un temps donné (40 km/h par exemple). Mais le temps lui-même est une notion très théorique et totalement dépendante de la culture dans lequel il est pensé.

La notion d'espace aussi ! Bref, toutes nos représentations du monde sont des modèles.

La science, plus que tout autre

regard porté sur le monde, construit des théories, c'est-à-dire des modèles qui permettent de faire des observations et de les interpréter. Et d'agir sur le monde.

Les modèles sont un regard construit et partagé par une communauté d'hommes.

Ces modèles ne sont pas anodins, car en retour, ils forment notre regard, ou le déforment, selon le point de vue que l'on adopte. Certes, ils permettent à une communauté d'hommes de partager un même regard sur le monde et donc fondent cette notion de communauté. En fait, un modèle du monde dans lequel nous vivons sous quelle que forme que ce soit est indispensable. C'est la possibilité pour un groupe d'êtres humains de vivre ensemble. Et les hommes ne peuvent vivre que s'ils partagent quelque chose d'essentiel.

Les modèles scientifiques jouent ce rôle, du moins au sein de la communauté scientifique pour qui ils ont un sens. C'est bien parce que les scientifiques portent un même regard sur le monde, construit sur une représentation partagée du réel, qu'ils peuvent poursuivre leur exploration dans une commune aventure. C'est ce qui permet l'édification de leur savoir. Et c'est pourquoi je dirais que la science est une manière totalement subjective d'appréhender le réel : elle n'offre in fine rien d'autre qu'un modèle du monde, le modèle

scientifique. Modèle qu'il est d'ailleurs difficile de comprendre et donc de partager vraiment lorsque l'on n'est pas scientifique soi-même.

### Les modèles numériques

La recherche scientifique de pointe se construit aujourd'hui autour de modèles d'un nouveau genre (en apparence du moins): les modèles numériques. Ils sont un pur produit de la démarche scientifique allié aux prouesses de la technique. Ils sont un outil essentiel des technologies.

Construire un modèle numérique consiste à observer certains traits du réel, les aspects que nous savons quantifier (la vitesse du vent, la pression de l'air, la température, etc...) et à relier les observations entre elles pour comprendre comment ces



© C



# Peut-on effacer le monde ?



paramètres s'influencent les uns les autres. Quand tout est relié mathématiquement, on peut calculer certaines quantités à partir de la connaissance des autres (calculer la vitesse du vent quand on connaît la température et la pression atmosphérique). De cette façon, on procède à une description du réel en accordant une attention privilégiée à quelques termes quantifiables et en négligeant totalement les autres. Toute la science moderne a procédé ainsi : quantifier, quantifier... Parfois cependant, elle peut procéder autrement et s'y autorise. Mais dès lors que l'on veut faire un modèle numérique, il est impossible de prendre en compte les dimensions non quantifiables de la réalité que l'on explore, sauf parfois, peut-être et partiellement, à l'étape cruciale de l'interprétation des résultats du modèle.

L'usage de modèles numériques va de pair obligatoirement avec une approche réductionniste du monde. Une approche qui réduit le réel à quelques paramètres préalablement

choisis parce qu'ils semblent pertinents par rapport à un problème posé. De tels modèles sont certes le produit d'une approche réductionniste, mais par un effet rétro-actif sur l'esprit humain (effet fortement amplifié par la manière d'enseigner les sciences et techniques à nos jeunes gens), ils enferment les

techno-scientifiques dans une vision rétrécie du monde. Rétrécie et rétrécissante.

Les modèles ne sont pas à mettre entre toutes les mains : ils peuvent

conduire à une approche réductionniste hyper rétrécie du monde et une démarche destructrice.

## Equations destructrices ?

Je vais faire un saut quantique dans mon raisonnement, mais la place me manque pour développer plus. Voyer la bibliographie pour approfondir cette réflexion...

Je pense que nier certains aspects du réel revient à le faire disparaître. Alors que des physiciens théoriciens ont eu le sentiment de créer le monde en écrivant les équations de la mécanique quantique comme l'équation de Schrödinger (J.-M. Levy-Leblond, 1999), j'ai le sentiment plus fort encore que l'on peut détruire le monde en écrivant des équations qui le réduisent à sa seule dimension quantifiable.

De deux choses l'une, soit les modèles numériques restent un outil de recherche parmi d'autres et ils peuvent être un outil intéressant d'investigation (ce qu'ils sont souvent

dans les champs de la recherche fondamentale), soit ils deviennent hégémoniques et constituent le filtre exclusif à travers lequel la réalité est perçue. Ils risquent fort alors de conduire à l'effacement

du monde : car nier la complexité du réel, n'en simuler que les dimensions grossières et prendre des décisions fréquemment irréversibles à la suite de telles simulations, c'est effacer du monde ce qui n'a pu être perçu comme participant à la réalité de ce monde par des hordes d'ingénieurs trop bien formées dans nos écoles ! Ou même dans nos

universités..... Car déjà dans leur cerveau d'humain, la complexité du réel fait place à un monde virtuel hyper simplifié, dénaturé où de vastes pans de la réalité ne sont pas reconnus et donc niés de manière totalement inconsciente, de plus en plus inconsciente. La vaste réalité, la beauté même sont niées dans leurs esprits et bientôt effacées du monde. Je veux dire réellement effacées.

## Effacer le monde, c'est ...

Comme construire un barrage qui noie une forêt primaire, détruit totalement un écosystème et perturbe les populations humaines qui en dépendent. Ou construire un MacCraDo là où il restait un petit bois et 3 crapauds près de chez moi. C'est mettre des pelouses en plastique le long de la route qui conduit à l'Université des Sciences de Bordeaux. L'Homme est-il en train d'effacer le monde ? ■

Catherine Thomas



Catherine Thomas "Spirale bateau"



© Catherine Thomas "les 2 elfes"

## Pour aller plus loin

«La Grande Implosion  
Rapport sur l'effondrement  
de l'occident 1999-2002»  
de Pierre Thuillier, Fayard.

«La nature prise à la  
lettre.»

Levy-Leblond Jean-Marc,  
1999. In Alliage N°37-38,  
mars 1999.



**L**e regard que nous portons sur le monde ou sur les autres est toujours un modèle subjectif. Si j'éprouve de l'affinité pour cette personne, d'autres n'en éprouvent pas. Si je suis un peintre impressionniste, je n'intéresse pas les gens qui préfèrent le regard du cubisme ou de l'art contemporain. Si je suis un musicien classique, les fans de rap ne viendront sans doute pas m'écouter. Si je suis catholique, mon message sera contesté par d'autres confessions religieuses, y compris et peut-être surtout mono-théistes.

De la même façon, la science n'offre rien de plus qu'un modèle subjectif du monde, que nous voyons régulièrement évoluer au rythme des grandes découvertes : héliocentrisme (Galilée, Copernic, Kepler), évolution (Lamarck,

Darwin, Copenhague...), relativité (Poincaré, Einstein), physique quantique (Planck, Eisenberg, Schrödinger et tant d'autres...), tectonique des plaques (Wegener, Le Pichon...), ADN et transmission du code génétique (Pauling, Corey, Watson, Crick...). Même le principe d'incomplétude (Gödel) nous fait douter de notre logique et nous montre que les mathématiques elles-mêmes sont un modèle subjectif. Mais ces grandes idées ne sont pas devenues de grandes découvertes par leur seule émergence. Elles en sont devenues parce qu'elles ont convaincu une grande partie de la communauté scientifique et qu'elles ont, bien au-delà, modifié le regard de l'humanité toute entière. Je suis en désaccord avec la vision exprimée ici par Catherine Thomas dans la mesure où son texte laisse croire discrètement que le modèle scientifique est d'une subjectivité particulière. Le modèle scientifique ne doit être paré d'aucune vertu qui le rendrait supérieur aux

autres (on peut vivre sans la science), mais on doit néanmoins lui reconnaître qu'il est celui qui tend vers la plus grande universalité, car ce ne sont pas les scientifiques qui le promeuvent réellement, mais l'humanité toute entière. Dans le passé, le modèle héliocentrique a été sévèrement combattu par le modèle religieux dominant, au prix de nombreuses vies. S'il s'est finalement imposé, c'est parce que l'humanité s'en est emparé.

On peut se demander ce qui vaut leur

# ...LA MENACE D'UN «EFFACEMENT DU MONDE» PAR LES MODÈLES NUMÉRIQUES ? CEUX-CI NE SONT QU'UN OUTIL DE RECHERCHE...

succès aux grandes théories scientifiques. Il me semble évident que c'est leur fondement «rationnel». L'homme a certainement besoin d'un modèle rationnel qui lui explique le monde d'ici bas, autant que d'un modèle religieux qui s'est aujourd'hui replié sur les champs impalpables que sont le bien et le mal, la vie et la mort, l'âme etc... Il n'est donc pas vraiment étonnant de voir cohabiter aujourd'hui, y compris au sein des esprits des chercheurs scientifiques, des convictions des deux natures. En revanche, je rejoins Catherine pour affirmer que, même si le modèle scientifique s'appuie sur la plus grande rationalité possible, celle-ci reste elle-même subjective que ce soit par le biais de nos observations (l'observateur est indissociable de son objet) ou par celui du champ de notre logique (Gödel).

Enfin, je ne serai pas aussi pessimiste que Catherine sur la menace d'un «effacement du monde» par les

modèles numériques. Ceux-ci ne sont qu'un outil qu'il convient absolument de ne pas confondre avec le modèle (ou la théorie) scientifique. Par exemple, la physique quantique ne se résume pas à l'équation de Schrödinger. Les grands physiciens de la première moitié du vingtième siècle ont tous publié des ouvrages de nature philosophique où ils ont essayé d'expliquer de manière non-réductionniste les implications et les limites de leurs idées par rapport à la complexité du monde, ou même par

rapport aux modèles non scientifiques (art, religion). Dans ce contexte, le modèle numérique est un simple outil qui permet de tester des hypothèses théoriques en orientant des plans d'expérience ou d'observation. Il convient toutefois d'être vigilant et de

le maintenir à sa juste place. C'est sans doute le message qu'il faut faire passer dans l'esprit du public, mais aussi dans celui de beaucoup de scientifiques d'aujourd'hui. Sur ce point Catherine a raison, à la différence de nos illustres aînés, nous sommes de moins en moins des « savants », et de plus en plus des techniciens. Il convient donc de nous maintenir dans une culture générale et philosophique suffisante pour répondre de manière aussi éclairée que possible aux questions fondamentales que nous nous posons (car nous devons rester des chercheurs), ou plus appliquées qui nous sont posées (car nous sommes aussi sollicités comme des experts) ■

**Philippe Bertrand,**  
Directeur de l'UMR  
Environnements  
Paléoenvironnements Océaniques  
CNRS  
Université Bordeaux 1




PETIT OCEAN : LE JOURNAL DE LA DÉCOUVERTE DES SCIENCES DE L'ENVIRONNEMENT POUR LES 5-12 ANS.  
100% ÉCOLOGIQUE  
Recevez gratuitement Petit Océan, toutes les rubriques, dans  
votre boîte aux lettres. Avec Sniatch, la mascotte, les petits curieux...



© Photo Michel Le Collen

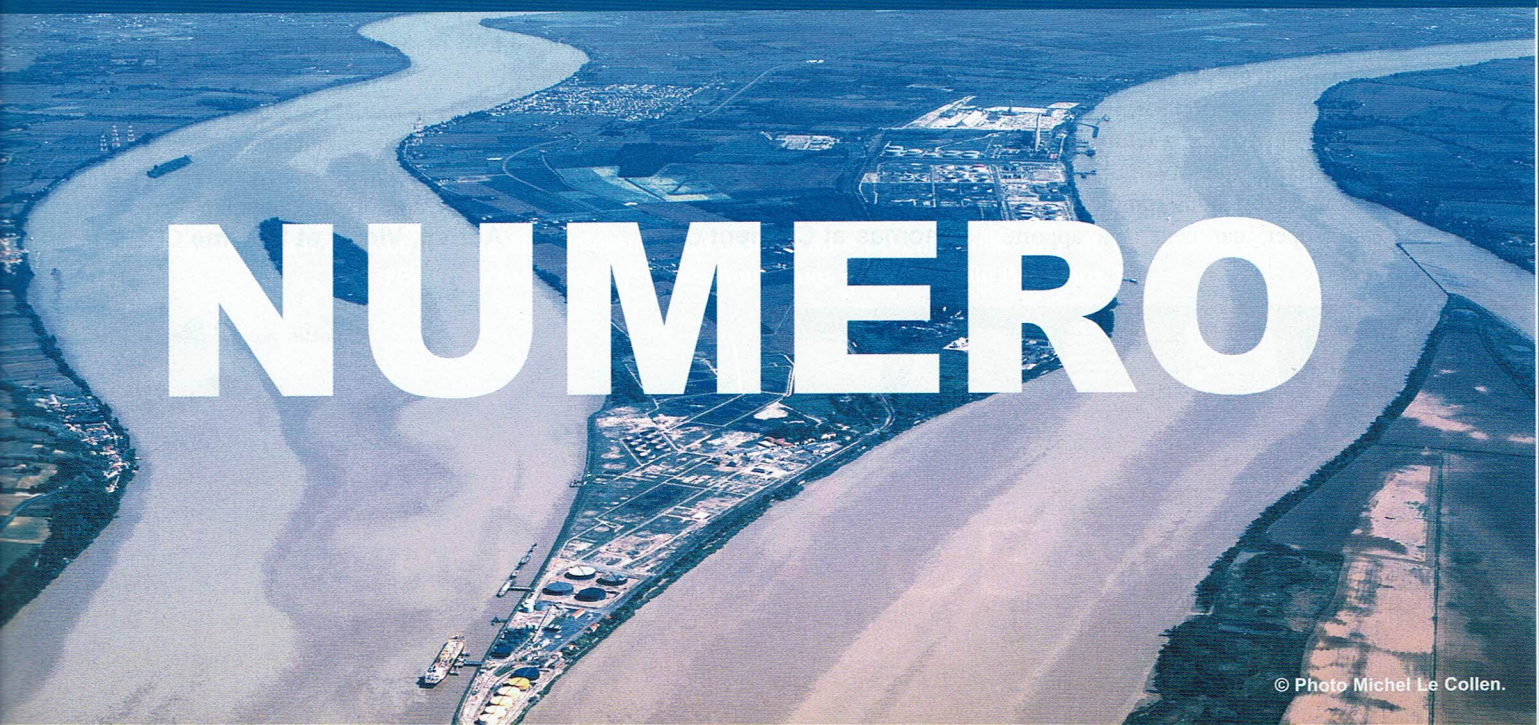
# PROCHAIN

TERRE D'  OCEAN

SUR LE THÈME

## ESTUAIRES ET DELTAS DE LA GARONNE À L'AMAZONE

PARTEZ À LA DÉCOUVERTE DE CES ÉCOSYSTÈMES SI PARTICULIERS SITUÉS À LA JONCTION ENTRE MER ET FLEUVES...



© Photo Michel Le Collen

# NUMERO



# Croisières-climat sur la Garonne.

A l'occasion de la Fête de la Science 2003, des «croisières-climat» ont été organisées sur la Garonne par l'Association Océan. Plus de 400 élèves, du CP à la terminale S, ont participé à ces journées. Les élèves de l'Ecole des Bois de Martillac racontent...

*Nous sommes allés sur un bateau. Il nous a amenés sur la Garonne. Nous sommes restés sur le pont ; puis nous sommes allés regarder le planing de la journée. Nous avons come à l'atelier avec Stéphanie ; puis ensuite nous sommes allés avec elle. Nous sommes restés sur le pont, puis nous avons conduit le bateau. Et nous avons repris les ateliers. J'ai appris des choses car ça m'a appris des choses et que les moniteurs étaient très gentils.*

Max



Le samedi, dans le cadre d'un échange France-Allemagne, ce sont des lycéens allemands qui ont participé aux ateliers climats sur la péniche.

**N**ous avons regardé un petit film sur la Garonne, puis nous nous sommes divisés en quatre groupes pour faire des ateliers, le premier atelier que j'ai fait était très intéressant : cela parlait des constituants de l'air, de l'eau et de plein d'autres choses.

Le deuxième atelier était un jeu de société, on nous posait des questions sur notre vie et on y répondait. A ce jeu, c'est nous qui avons gagné.

Après nous avons fait une pause. Pendant la pause nous avons conduit la péniche. Ensuite on a repris les ateliers. Le troisième parlait des paysages et des animaux du monde.

Nous n'avons pas eu le temps de faire le quatrième qui avait l'air très intéressant, alors nous sommes partis. C'était super, car cela m'a apporté

plein de bonnes choses.  
**Quiterie CM2**

On a fait un tour sur la péniche LE ROYAL. C'était sur la Garonne. On a fait des expériences sur l'eau. C'était génial !

**Adrien CE1**

On a pris le bus. Il y a quelqu'un qui nous a guidé et on est monté sur la péniche. On a fait des activités : comment on analyse l'eau et on est allé dans une petite salle où il y avait un petit cinéma et on a travaillé sur la Terre.

**Thomas et Clément CE2**

D'abord, nous avons pris le bus. Nous sommes montés sur la péniche. Puis, nous sommes descendus dans la cave de la péniche : ça faisait très drôle car nous étions à la hauteur de l'eau. Ensuite, nous avons fait des ateliers. Il y avait même une ancienne élève de l'Ecole des Bois. Des journalistes de TV7 et France 2 nous ont filmés et interviewés.

**Léa et Amance CE2**

Sur la péniche, on a appris que l'eau contenait du gaz et que dans 500 000 ans, Bordeaux sera recouvert d'eau. Après, nous avons conduit la péniche.

**Adrien, Victor et Maxime CE2.**



*Sortie sur la Péniche Royal.*

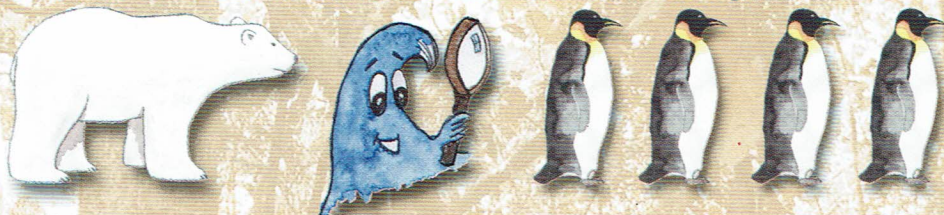
*hier je suis allé sur la Péniche Royal pour y faire des expériences ; quatre animateurs nous ont fait découvrir le climat, les différents constituants de l'air et aussi ce qui il y avait dans la Garonne. Nous sommes passés devant le Belem qui est un des plus grands navires Européen et peut-être même du monde. A notre retour, les deux classes ont prient la Terre. J'ai aimé, cela m'a apporté la découverte du monde.*





Retrouvez dans «Le Petit Océan», toutes les rubriques qui font découvrir un milieu de notre planète. Avec Embrun, sa mascotte, les petits curieux vont pouvoir rassasier leur soif de connaissance dans de multiples domaines, tels la biologie, la géographie ou encore l'histoire. Le premier numéro du Petit Océan a pour thème les pôles.

**Au rendez-vous : ours polaire et manchot empereur, interview d'un chercheur au pôle sud, géographie et histoire des régions australes et boréales et même construction d'un igloo... en sucre !**



## **Prochain numéro du Petit Océan : Estuaire de la Gironde**

**Directeur de publication** : Eric Veysy

**Responsables de rédaction** : Stéphanie Caradec, Laurence Candon, Marie-France Bernard, Didier Coquillas, Sylvie Dupont.

**Dépôt légal** : 16/2001 – ISSN 1761-5291

n°3, Printemps 2004.

**Graphisme et impression** : C.E.G., 20 avenue des genêts, 33970 Cap Ferret, tel. : 05 56 60 65 47

Association OCEAN, 2 rue Sarrette, 33800 Bordeaux, Tél. : 05 56 49 34 77

© Copyright / Photos et Illustrations : droits de reproduction réservés pour tous pays sous quelque procédé que ce soit.

### **Ont participé à la rédaction de cette revue :**

André Berger, Marie-France Bernard, Philippe Bertrand, Angéline Blais, Laurence Candon, Stéphanie Caradec, Christophe Cassou, Didier Coquillas, Amy Dahan, Sylvie Dupont, Frédérique Eynaud, Francis Forest, Philippe Garrigue, Francis Grousset, M. Hamel, Jean-Marie Haribey, Didier Hauglustaine, Robert Kandel, Emmanuel le Roy Ladurie, Denis Loustau, Bruno Malaizé, Michel Meybeck, Georges Oggian, Roland Paskoff, Pierre René, Catherine Thomas, Bernard Tissot, Hervé le Treut, Charles Valancogne, Eric Veysy, Patrick de Wever, Rutger de Wit, Sébastien Zaragosi et l'Ecole des Bois de Martillac.

**Merci** à également à Sylvie Dupont, Marie-France Bernard, Camille Blot, Christophe Cassou, Stéphanie Caradec, C.E.G., Guillaume Darrieutort, L. Gaurier, G. Hervouët, Philippe Hillion, Robert Kandel, Michel Le Collen, Régis Lejonc, Bruno Malaizé, Philippe Pédemay, Pierre René, R. Senillou, Aldo Sottolichio, Eric Tache, Laurent Theillet et Jean-Paul Larrouy-Castéra (tous deux pompiers de Bordeaux), Catherine Thomas, Eric Veysy, François Weisbecker, le musée Paul-Dupuy de Toulouse et la bibliothèque municipale de Caen pour leur contribution à l'illustration de ces pages.

Merci également à tous ceux qui, par leurs remarques et leur collaboration ont permis d'améliorer le contenu des articles.

### **Le conseil d'administration d'OCEAN**

**Bureau** : Denis Michel (Président), Laurent Massé (Vice-Président), Aldo Sottolichio (Secrétaire), Bruno Malaizé (Secrétaire adj.), Frédérique Eynaud (Trésorière adj.), (tous Maîtres de Conférences au Département de Géologie et Océanographie de l'Université Bordeaux 1), Philippe Pédemay (Trésorier, assistant ingénieur retraité du DGO).

**Membres de droit** : Patrick Buat-Ménard (en tant que Vice-Président de l'Université Bordeaux 1), Philippe Bertrand (en tant que Directeur de l'Unité Mixte de Recherche 5805 CNRS " Environnements et Paléoenvironnements Océaniques " de l'Université Bordeaux 1).

**Membres élus** : Franck Desmazes et Timothée Ourbak (Doctorands au DGO), Cyril Mallet (Ingénieur au Bureau de Recherches Géologiques et Minières), Sébastien Zaragosi (Maître de Conférences au DGO), Laure Corbari (doctorante au Laboratoire d'Écophysiologie et d'Écotoxicologie des Systèmes Aquatiques de l'Université Bordeaux 1).



Océan propose aux groupes des séances et sorties pédagogiques  
*pour découvrir notre environnement.*

Ces séances sont adaptables  
aux maternelles, primaires, collèges, lycée et enseignement supérieur.

*Séances fleuve, océans, climats, sols-roches-fossiles*  
*Sorties Pimpine, chenaux du Bassin d'Arcachon,*  
*littoral, lacs, patrimoine.*

