

Bulletin de l'Association des anciens et des amis du CNRS n°54

Auteur(s) : CNRS

Les folios

En passant la souris sur une vignette, le titre de l'image apparaît.

72 Fichier(s)

Les relations du document

Ce document n'a pas de relation indiquée avec un autre document du projet.□

Citer cette page

CNRS, Bulletin de l'Association des anciens et des amis du CNRS n°54, 2010-06

Valérie Burgos, Comité pour l'histoire du CNRS & Projet EMAN (UMR Thalim, CNRS-Sorbonne Nouvelle-ENS)

Consulté le 15/12/2025 sur la plate-forme EMAN :

<https://eman-archives.org/ComiteHistoireCNRS/items/show/210>

Présentation

Date(s)2010-06

Genre

Mentions légalesFiche : Comité pour l'histoire du CNRS ; projet EMAN Thalim (CNRS-ENS-Sorbonne nouvelle). Licence Creative Commons Attribution - Partage à l'Identique 3.0 (CC BY-SA 3.0 FR).

Editeur de la ficheValérie Burgos, Comité pour l'histoire du CNRS & Projet EMAN (UMR Thalim, CNRS-Sorbonne Nouvelle-ENS)

Information générales

LangueFrançais

Informations éditoriales

N° ISSN1268-1709

Description & Analyse

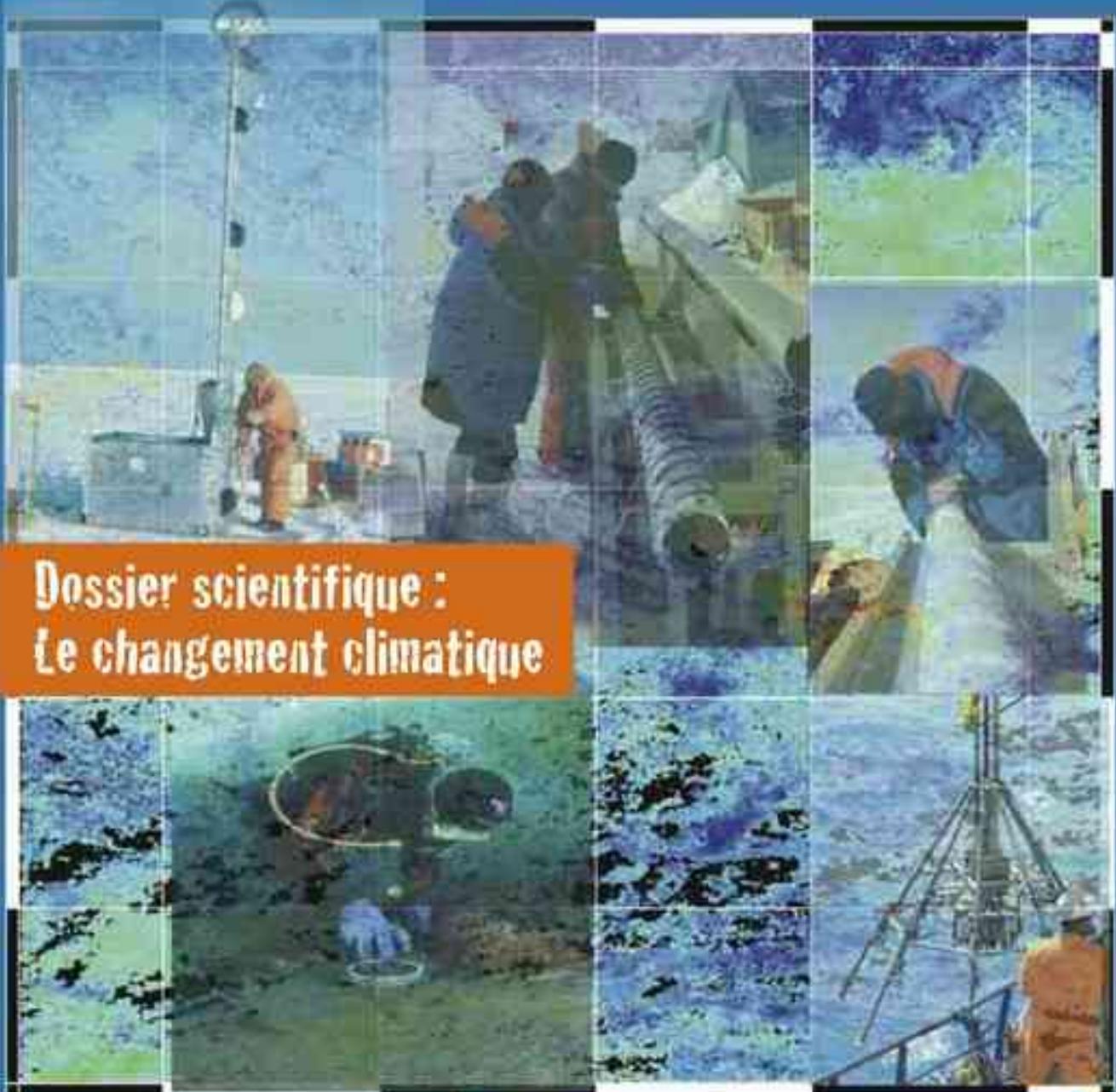
Nombre de pages 72

Notice créée par [Valérie Burgos](#) Notice créée le 05/10/2023 Dernière modification le 17/11/2023

RAYONNEMENT DU CNRS



Bulletin de l'Association des Anciens et Amis du CNRS



**Dossier scientifique :
Le changement climatique**

Michel Rocard
Décision publique et enjeux de société



Rayonnement du CNRS

N° 54 - juin 2010

Rayonnement du CNRS

Association des Anciens et des Amis du CNRS

FONDATEURS : PIERRE JACQUOT (1), CLAUDE PREJACQUES (1), CHARLES GABRIEL (1)
PRÉSIDENTS D'HONNEUR : PIERRE BAUDET, JEAN-BAPTISTE DONNET

BUREAU : PRÉSIDENT : EDMOND LISLE,
Vice-président : EDOUARD BREZIN,
Secrétaire général : CLAUDIO MARTRAY,
Trésorier : ANNE-MARIE BEZAT,
Trésorier-adjoint : GEORGES RICO.

CONSEIL D'ADMINISTRATION : EDOUARD BREZIN, HÉLÈNE CHARNASSE, MARIE-THERÈSE IPPOLITO, JEAN-CLAUDE LEHMAN, EDMOND LISLE, DANIELLE OUVER, CLAUDIO MARTRAY, ANDRÉ PALLIN, MICHEL PETIT, PHILIPPE PIGANI, FRANÇOISE PLENAT, GEORGES RICO, MARIE-LOUISE SAMSON, VICTOR SCAROGLI, GISELE VERGNEI.
MEMBRE EXTERIEUR : ZHAN WENLONG, VICE-PRÉSIDENT DE L'ACADEMIE DES SCIENCES DE CHINE.
CHARGÉ DE MISSION : MARC GOUJON

COMITÉ DE RÉDACTION DU BULLETIN DE L'ASSOCIATION ET SITE INTERNET :

DIRECTEUR DE LA PUBLICATION : EDMOND LISLE, **RÉDACTEUR EN CHEF :** VICTOR SCAROGLI, **SITE INTERNET ET WEBMESTRE :** PHILIPPE PIGANI

MEMBRES : JACQUELINE CHAUDET-PLUX, CHRISTIAN GIRAULT, JEAN-ROBERT HENRY, ROBERT KANDEL, MARIE-FRANÇOISE LAFON, EDMOND LISLE, CLAUDIO MARTRAY

ACTIVITÉS ET ADMINISTRATION : VISITES ET CONFÉRENCES : HÉLÈNE CHARNASSE, CHRISTIANE COURDRAY, MARIE-LOUISE SAMSON, VÉTAZÉ : GISELE VERGNE, SOLANGE DUPONT, RECENSEMENT DES VISITEURS ÉTRANGERS : MARIE DE RÉALI, SECRÉTARIAT : FLORENCE RIVIÈRE, PASCALE ZANÉON.

CORRESPONDANTS RÉGIONAUX : ALPES-DAUPHINE : MARIE-ANGELE PENOT-MOREL, AURA : LOTHARIE ZLUK, JEAN-PIERRE SCHWAB, AQUITAINE : ROLAND CANET, PHILIPPE PIGANI, BRETAGNE ET PAYS-DE-LOIRE : N., CENTRE-ORLÉANS : PAUL GILLE, CENTRE-POTERS : GILLES COURTOIS, CIVIL-D'AZUR : N., LANGUEDOC-ROUSSILLON : FRANÇOISE PLENAT, LIMOUSIN-VERGNE : ANTOINE TREMOUÈRES, LYON-ST-ÉTIENNE : JOSETTE DUPUY-PHILON, MIDI-PYRÉNEES : MARIE-THERÈSE IPPOLITO, GÉRARD ABRAMANEL, CONSULTANT : RENE ROUZEAU, CENTRE-EST : BERNARD MALDINAS, GUYARD POUARD, NORD-PAS-DE-CALAIS ET PICARDIE : JEAN-Claude VAN HOUTTE, PROVENCE : JEAN-PAUL CARESSA.

Membres d'honneur de l'Association

MAURICE ALLIAS, MÉDAILLE D'OR CNRS, PRIX NOBEL - GUY AUBERT - BARBU BENACERRAF, PRIX NOBEL - CATHERINE BRÉCHIGNAC EDOUARD BREZIN
ROBERT CHABAL - GEORGES CHARPAK, PRIX NOBEL - CLAUDE COHEN-TANNoudji, MÉDAILLE D'OR CNRS, PRIX NOBEL - YVES COPPIENS
HENRY DE LUMLEY - CHRISTIANE DESROCHES-NOBLE COURT, MÉDAILLE D'OR CNRS - JACQUES DUCLONG - CLEOPATRE EL GUNDY - SERGE FENEUILLE
ALBERT FEIT, MÉDAILLE D'OR CNRS, PRIX NOBEL - JACQUES FRIEDEL, MÉDAILLE D'OR CNRS - FRANÇOIS JACOB, PRIX NOBEL - FRANÇOIS KOURILSKY
NICOL LE DOUARIN, MÉDAILLE D'OR CNRS - JEAN-MARIE LEHN, MÉDAILLE D'OR CNRS, PRIX NOBEL - BERNARD MEUNIER
RUDOLPH MÖSSBAUER, PRIX NOBEL - PIERRE PAPON - JEAN-JACQUES PAYAN - NORMAN RAMSEY, PRIX NOBEL - CHARLES TOWNES, PRIX NOBEL

Les prochains numéros de notre revue :

- *L'Europe et la Méditerranée*
- *Le Brésil*
- *Cellules-souches*
- *La science en Chine*

Comment recevoir notre revue ?

- *La revue Rayonnement du CNRS est réservée aux adhérents de l'Association. Si vous souhaitez la recevoir nous vous proposons de nous rejoindre en qualité d'Amis du CNRS.*

Pour vous inscrire, veuillez vous adresser au secrétariat ou sur le site : www.rayonnementducnrs.com

L'inscription vous permet, en outre, de recevoir le journal du CNRS (mensuel).

- *Les numéros récents de la revue peuvent être consultés sur le même site.*

Sommaire

Le changement climatique

Editorial/Abstract par Edmond Lisle - Président de l'Association	2
Décision publique et grands enjeux de société par Michel Rocard	5
Dossier scientifique : le changement climatique	
Quelques faits introductifs par Robert Kandel	11
La mise en modèle du climat : incertitudes et consensus d'experts par Hervé Le Treut	15
Climat du passé : l'apport des forages profonds dans les glaces polaires par Valérie Masson-Delmotte	24
Le changement climatique : conséquences pour l'agriculture et la forêt par Bernard Seguin	36
Le groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat (GIEC) par Michel Petit	48
Lexique. Pour en savoir plus par Robert Kandel	51
La vie de l'Association	
International	
• Coup d'envoi pour un club «Amis et anciens du CNRS franco-brésilien»	53
Régions	
• Aquitaine par Roland Canet et Philippe Pingand	55
• Centre-Est - Nancy par Gérard Piquard	57
• Ile-de-France par Hélène Chamassé	58
• Languedoc-Roussillon par Françoise Plénot	59
• Poitou-Charentes par Gilles Courtois	62
Voyages	
• Mexique	63
• Programme 2010	65
Compte-rendu d'ouvrages	
• Alain Gras, Le choix du feu ; Aux origines de la crise climatique, Fayard, 2007	67
• « Météo ; Du climat et des hommes », Ethnologie française n° 4, 2009	67
Informations	
• Colloque « L'homme contemporain à travers la science »	68
• Décès, <i>in memoriam</i> Evry Schatzman	68
• Nouveaux adhérents	

Rayonnement du CNRS n° 54 juillet 2010

Editorial/Abstract

Le présent Numéro est très largement consacré au changement climatique, thème qui a alimenté le débat public depuis la Conférence de Copenhague, les discussions autour de la taxe carbone et la controverse récente alimentée par les « sceptiques » du réchauffement climatique. Les scientifiques qui ont contribué à ce Numéro, sous la direction de Robert Kandel, se situent en retrait par rapport au débat public : ils visent d'abord à faire le point sur l'état des connaissances dans le domaine qu'ils abordent, tout en soulignant la solidité du dossier du GIEC. Nous renvoyons nos lecteurs à la présentation d'ensemble qu'en fait Robert Kandel en introduction à cet ensemble d'articles.

Michel Rocard nous a fait l'amitié de nous livrer ses réflexions sur la « Décision publique et les grands enjeux de société ». Face au problème majeur du changement climatique - ou d'autres problèmes analogues, tels ceux de santé publique (sang contaminé, vache folle, risque d'exposition aux radiations nucléaires...) ou encore comment rembourser l'énorme dette publique qui menace tant de pays - nous voulions savoir comment l'homme politique, et plus spécifiquement le chef d'Etat ou de gouvernement et les représentants démocratiquement élus pour légiférer et pour contrôler l'exécutif intègrent les avis exprimés par la communauté scientifique avant de faire les choix que la situation appelle. « Gouverner, c'est choisir » disait Pierre Mendès-France. Michel Rocard en appelle à son expérience pour souligner les difficultés de l'exercice. Les politiques doivent réagir vite en situation incertaine et sous la pression constante des médias. Dans le cas du changement climatique - mais pas seulement dans ce cas-là - la prise de décision politique ne saurait être que mondiale. Et encore sommes-nous là dans le domaine des sciences de la nature, où les conclusions des scientifiques sont fiables et convergentes, même si elles peuvent toujours être améliorées à la lumière de données plus complètes ou précises. Dans le cas de la crise économique et financière qui traverse le monde, la situation est encore plus complexe, car les avis des experts scientifiques - venant ici des sciences humaines et sociales - sont beaucoup plus divergents sur les causes et sur les décisions à prendre pour y remédier. Les conseils d'hommes d'Etat comme Michel Rocard, avec leur sagesse « d'ânes » éclairés par l'expé-

This issue is largely dedicated to Climate Change, a topic which has been widely discussed since the Copenhagen Conference, followed by the public debate on the Carbon Levy and the recent controversy aroused by the climate change « sceptics ». The scientists who have contributed to this issue of our journal, edited by Robert Kandel, stand deliberately aloof from the public debate, although they do stress the overall reliability of the IPCC data: their aim is to highlight the current state of knowledge in the fields they are studying. We refer our readers to the overall presentation by Robert Kandel of the articles addressing this topic.

Michel Rocard, former Prime Minister of France, kindly responded to our invitation to prepare a paper on « Public Decisions and Major Societal Issues ». Facing the Climate Change issue – or other problems of the same magnitude, such as public health issues (contaminated blood, mad cow disease, the risks of nuclear energy..) or how to repay the massive public debt which most Governments have currently to face – we wanted to know how a politician, more specifically a Head of State or of Government or a Member of Parliament elected to legislate and to control Government, takes into account the advice formulated by the scientific community before making the decisions which the circumstances call for. Pierre Mendès-France, another former Prime Minister of France, used to say that « To govern, is to choose ». Michel Rocard draws on his experience to underline how difficult the task is. Politicians have to react quickly in a state of uncertainty and under constant pressure from the media. In the case of Climate Change – but not in that case alone – the political response can only be worldwide and correspondingly difficult to attain. And here we are dealing with an issue mostly within the realm of the natural sciences, where the conclusions of the scientific community are reliable and consistent, even if – as the recent controversy has shown – they may be disputed by other scientists and are in any event liable to be improved upon in the light of more accurate data. In the case of the global financial and economic crisis, the situation is even more difficult, for the advice of the scientific community – here the social rather than the natural sciences – is far more contradictory as

nience, peuvent se révéler des adjoints précieux aux solutions trouvées dans l'urgence de l'action par les politiciens au pouvoir.

Le présent Numéro coïncide avec le 20e anniversaire de notre Association. Fondée en avril 1990 par décision de Philippe François Kourilsky, Directeur général du CNRS à l'époque, le but assigné à l'Association par ses fondateurs était (article 1^{er} de ses statuts) :

- 1. de concourir par tous les moyens utiles, au rayonnement du CNRS et de la recherche publique.
- 2. de contribuer à renforcer les échanges et les liens entre les amis et les anciens du CNRS en France et à l'étranger.

Où en sommes-nous ? Le « Rayonnement du CNRS et de la recherche publique » s'exprime à travers notre revue qui porte ce nom, par notre site Internet « rayonnementducnrs.com » et par d'innombrables conférences, visites et voyages, ces derniers aussi bien en France qu'à l'étranger.

Pour « Renforcer les échanges et les liens entre les amis et les anciens du CNRS en France et à l'étranger », le nombre et l'activité de nos adhérents en France témoignent de notre vitalité dans l'Hexagone. A l'étranger, notre premier « club » a vu le jour en 2009 en Chine et un deuxième est en voie de constitution en 2010 au Brésil.

Il nous reste cependant beaucoup à faire.

Le « Rayonnement du CNRS et de la recherche publique » doit se développer par des actions « d'éveil à la science » auprès de publics scolaires et du grand public, pour faire mieux découvrir les progrès et les possibilités de la science

regards both the causes and the remedies required to solve the problem. The advice of elder statesmen such as Michel ROCARD, drawing on the wisdom born of experience, can prove a welcome additive to the solutions arrived at by the politicians in power, acting under the pressure of events.

This issue of our Journal coincides with the 20th anniversary of our CNRS Alumni Association. It was founded in April 1990 by François Kourilsky, then Director General of CNRS, in order, as set out in Article 1 of its charter :

- 1. to contribute through all appropriate means to the promotion of the CNRS and of French scientific research
- 2. to promote exchanges and connections between the friends and former members of CNRS in France and abroad

Where do we stand to-day ? The « Advancement of the CNRS » is achieved through our Journal, our website and by countless talks, lectures and visits organized by our members and by trips both in France and abroad.

The activity of our members in France displayed on our website testifies to the « Contacts and connections » at home. Abroad, our first overseas club was set up in China in 2009 and a second one is taking shape in Brazil.

We aim to do much more, in close cooperation with the CNRS' regional representatives and heads of offices abroad.

At home, the « Promotion of the CNRS » will be enhanced through « Discover Science » initiatives in school and among a broader audience, with a view to enabling our fellow citizens to become more fully aware of the progress

EDITORIAL/ABSTRACT

aujourd'hui de tous nos contemporains. Nombre de nos adhérents partout en France sont prêts à s'y engager pour peu que notre Association leur en donne l'occasion et quelques moyens. Ce sera l'un des chantiers majeurs de notre Association ces prochaines années.

Nous devons renforcer notre présence en France en invitant ceux qui quittent le CNRS, soit à l'occasion de leur départ à la retraite, soit pour aller travailler ailleurs, à nous rejoindre pour participer à l'action collective de « Rayonnement » et pour bénéficier des avantages qu'offre l'Association - conférences, voyages, publications...

A l'étranger, il est impératif, pour le rayonnement de la science française, de renouer avec les scientifiques étrangers de haut niveau qui ont travaillé en France et occupent souvent des positions éminentes dans leur pays d'origine. Nous devons commencer à le faire en accueillant dans nos foyers et en associant aux activités de notre Association les scientifiques étrangers actuellement accueillis en France, afin qu'ils gardent un bon souvenir de leur séjour parmi nous et maintiennent le contact avec nous après leur retour. Ce seront les meilleurs « ambassadeurs de la science française » et les animateurs tout désignés de nos « clubs » à l'étranger.

Ces actions se mènent nécessairement en concertation étroite avec les délégués régionaux du CNRS dans les régions, avec les chefs de bureau du CNRS à l'étranger et avec la Fondation Alfred Kastler, dont l'objet est de faciliter la venue de scientifiques étrangers en France et de maintenir le contact avec eux à leur retour.

A l'occasion de notre 20^e anniversaire, nous invitons tous nos adhérents à participer à la réalisation de ces objectifs. Joyeux anniversaire à tous !

Edmond Arthur Lisle
Président A3 CNRS

and of the opportunities which science offers to society. Many of our members are keen to participate in these initiatives, given the opportunity and some material support. This will be a major new undertaking of our Association in the years ahead.

Abroad, the « Promotion of French Science » rests on the network of foreign scientists who have conducted research in France and often occupy key positions in their countries of origin. Scientists from abroad currently in France are invited to participate in our Association's activities during their stay so that they may discover the many attractions of life in France with the care and assistance of our members. When they return home we look forward to staying in touch with them as Alumni, organizing exchange visits and exchanging information on scientific activities in our respective countries through journals and the Internet.

Many Happy Returns to all on this 20th Anniversary!

Edmond Arthur Lisle
President CNRS Alumni Association

Décision publique et grands enjeux de société

par Michel Rocard

Décision publique et grands enjeux de société, tel est en résumé le sujet que « Rayonnement du CNRS » m'a demandé de traiter. Fasciné par l'idée de m'approcher des milieux scientifiques, dont j'ai toujours jalouse la réputation de rigueur, j'ai étourdiment dit oui. Je n'ai songé qu'après au caractère aventureux et risqué du pari implicite que j'avais fait là : que je pourrais sortir indemne d'une confrontation organisée par mes soins entre l'univers de la rationalité, de la mesure, de la recherche de la preuve, de la certitude fragile et progressivement construite, du doute surtout, du doute comme principe de vérification permanente de toute assertion concernant l'espèce humaine, avec l'univers de la loi, de la contrainte, de la force, de la certitude trop rapide, de la domination, du principe d'autorité, bref de la politique. Mais il est trop tard pour se dédire. Les lecteurs de « Rayonnement du CNRS » vont donc trouver ici quelques échos de ce choc des contraires, quelques traces de l'étrange cheminement des décisions publiques dans le cas des grands enjeux de société.

Il faut bien commencer par le commencement : qu'est-ce que c'est donc qu'un enjeu de société, et à quoi reconnaît-on qu'il est grand ? Cette question m'a conduit à un abîme de perplexité, dont je crois nécessaire de sortir de la manière la plus simple possible. Le décideur, en fait un homme ou une femme introduit en politique et chargé d'un mandat exécutif, s'aperçoit vite qu'il ne fait au fond que trois catégories de choses : il assure le fonctionnement régulier des services publics, préserve l'ordre public, et introduit des innovations dans le système.

C'est seulement dans le dernier cas, celui des décisions innovantes, qu'il s'agit de changer le système. Mais on peut chercher à changer le système de décision politique sans pour autant chercher à changer la société. Le cas le plus fréquent est même celui des changements, apportés au système pour améliorer son adaptation à la société.

La question posée ne concerne donc que les cas où très explicitement la décision en cause vise à modifier quelque chose dans l'équilibre ou l'organisation générale de la société, et tout spécifiquement les situations où le changement recherché est de grande ampleur.

Mais il apparaît immédiatement que la nature des changements recherchés ou craints peut être très variable, et donc très différemment demandeuse d'expertise.

Première catégorie, les situations où les cas pour lesquels la politique se considère comme sa propre experte et ne prend conseil que d'elle-même. La guerre, l'impôt, les persécutions à prétexte identitaire, l'organisation administrative du territoire sont quelques sujets majeurs, il en est d'autres, où l'inventaire des faits significatifs, leur analyse, leur insertion dans le raisonnement conduisant à la prise de décision ne sont effectués que par des responsables politiques élus ou mandatés, et ne relèvent que d'eux.

Je crois nécessaire d'isoler une seconde catégorie, celle des problèmes touchant la vie. Qu'il s'agisse de contraception, d'interruption volontaire de grossesse, d'euthanasie, de procréation assistée, il est bien clair qu'il s'agit là de grands

enjeux de société. Il est bien clair aussi qu'ils ne sont envisageables et possibles que grâce à la science, qui les conçoit et les effectue. Mais la science ne joue guère dans ces domaines, le rôle de conseil des politiques. Cette fonction est, dans les cas de l'espèce, disqualifiée par une parole d'une autre nature. L'éthique est là jalousement surveillée par les religions. Et il est fréquent que les prescriptions de ces dernières contredisent fermement les conclusions que la science se hasarde timidement à formuler. La prévention du SIDA ou la lutte contre les dangers provoqués par l'excès de la natalité sont de malheureux témoins de ces situations.

Il reste à l'évidence une très grande troisième catégorie de décisions publiques ayant pour objectif ou même seulement pour résultat de changer significativement l'ordre des choses, qu'il s'agisse à tout le moins de s'en protéger, ou plus ambitieusement de le transformer ou d'infléchir les conditions de son évolution. Dès qu'elles prennent de l'ampleur, les politiques énergétiques, agricoles, industrielles ou sanitaires sont de cette nature, de même qu'en relèvent les travaux d'Hercule nécessaires pour se protéger de la foudre, des inondations, des séismes, ou comme aujourd'hui des changements non souhaités du climat. Dans de tels champs d'action, diagnostics, préconisations, précautions, contre-indications relèvent d'un dit scientifique que le système de décision publique, la politique pour parler simplement, ne peut articuler elle-même.

La science cependant, ne parle pas de la même façon selon qu'on l'in-

terroge sur des drames ou des menaces, tels des épidémies, des risques d'inondation ou de séisme, ou le réchauffement climatique, ou selon qu'elle est elle-même à l'origine des décisions qui font le problème, la création de certains médicaments par exemple, tel l'hormone de croissance de triste mémoire ou la construction de centrales électriques nucléaires.

Dans les cas de cette dernière espèce, le statut de l'émetteur de l'avis scientifique a une importance extrême. En matière pharmaceutique, l'initiative scientifique venant du secteur privé, les états sont très vite arrivés à la décision de créer des autorités de contrôle scientifique totalement indépendantes de la production. Les procédures nécessaires à l'obtention d'une autorisation de mise en marché ont ainsi semblé donner une sécurité suffisante. Le drame de l'hormone de croissance s'explique semble-t-il par l'extrême longue durée nécessaire pour que les effets négatifs soient observables. Je n'ai suivi cette affaire que de loin, mais ne suis pas arrivé à la conclusion qu'elle aurait été évitable par de meilleures procédures. Il faut bien s'en tenir à des durées compatibles avec l'activité pharmaceutique elle-même, et il ne faut pas laisser oublier à l'humanité que le risque zéro n'existe pas.

Toujours dans le cas des risques de société liés au progrès scientifique, l'aventure nucléaire se présente sous un jour bien différent. La dangerosité des installations et des produits étant connue d'entrée de jeu, la plupart des pays, et notamment la France, ont commencé la construction d'une industrie électrique nucléaire civile dans le cadre du sec-

teur public. La sûreté est devenue de ce fait une des attributions du ou des organismes opérateurs. Il y a ainsi une division, une direction ou un département de la sûreté aussi bien au Commissariat à l'Energie Atomique qu'à Electricité de France et à Areva, l'ancienne Cogema. On pourra débattre longtemps du fait de savoir si cela aurait pu suffire. Mais l'activité nucléaire a produit autour d'elle en se développant une culture particulière.

Fondé sur le constat peu discutable que la culture nucléaire est fort peu répandue, et qu'elle est même strictement limitée à la population de ses opérateurs, le milieu des ingénieurs responsables de cette entreprise considérable a suggéré à l'Etat qui l'a adoptée sans difficulté une attitude de secret général sur tous les aspects de l'activité nucléaire : extraction, fabrication du combustible, production électrique, traitement des déchets, démantèlement des centrales déclassées.

Ce sont les autorités chargées du programme qui se sont trouvées en de multiples occasions en devoir de dire l'importance d'un danger, ou d'un défaut, au risque à chaque fois de mettre en cause la poursuite du programme dont elles avaient la responsabilité. De fait, historiquement, l'Etat a toujours plus ou moins fonctionné de la sorte. L'Etat étant d'ailleurs son propre assureur, l'évaluation du risque est quelque peu son affaire, et en tous cas sa responsabilité.

On se souvenait en outre des chemins de fer. Devant les assertions effrayantes des opposants – aucun corps humain ne saurait résister à des accélérations atteignant les cent

kilomètres à l'heure, on ne saurait imaginer des tunnels de plus de cent mètres, car cela entraînerait l'asphyxie générale de tous les voyageurs – il avait suffi de la robustesse du savoir des ingénieurs maîtrisant aussi bien la construction et l'exploitation que la sûreté et ne recevant de l'Etat que l'agrément pour les financements et sa confiance renouvelée, pour faire litière de tels arguments.

Seules quelques municipalités manifestèrent leur défiance, contre le mouvement général. Ce fut en France le cas d'Auxerre, d'Orléans et de Tours, ce qui explique la vocation de gares importantes qu'ont connue quelques villages où se sont fait les racordements : Laroche-Migennes, les Aubrais et Saint-Pierre-des-Corps. On peut considérer qu'il en fut de même pour l'aviation, à cela près que le contrôle public des essais et la procédure publique d'agrément et de certification ont pris plus vite une grande importance aussi bien symbolique que réelle. Tous ces ingénieurs, au fond, ont eu de la chance : les risques encourus par les engins qu'ils maniaient n'étaient que d'accident. Ils ne connaissaient pas la santé. Il en allait autrement du nucléaire. Mais les responsables, y compris et surtout les ministres en cause, ont toujours considéré que les opérateurs étaient parfaitement informés des risques et que par conséquent ils sauraient y pallier eux-mêmes, étant les mieux placés pour le faire sans mettre en cause les ambitions du projet. C'était un poids trop grand pour eux.

Il est sûr que le succès considérable que représente la production

nucléaire d'électricité en France (de l'ordre de 80% du total de la production électrique du pays, une contribution décisive à notre indépendance énergétique et à l'équilibre de nos finances extérieures, et cela sans accident majeur pendant cinquante ans) doit beaucoup à la force de conviction des administrateurs et des ingénieurs qui l'ont mise en place. Mais lorsque cet enthousiasme nucléaire va jusqu'à convaincre le ministère compétent de déborder le président de l'autorité de sûreté nucléaire de l'époque pour affirmer contre toute vraisemblance que le nuage radioactif de Tchernobyl avait courtoisement contourné les frontières de la République Française, il devient clair que trop c'est trop. Depuis longtemps déjà, quelques incidents internes sans gravité avaient mis en lumière le problème de savoir jusqu'où pouvaient aller les pouvoirs interdictifs des responsables de la sûreté nucléaire. La montée en puissance des forces écologistes et la prise de conscience croissante de l'opinion démontrent à l'évidence que la position du secret nucléaire et de la dépendance des autorités de sûreté devant les opérateurs ou le gouvernement deviendrait vite intenable. Mais surtout la dimension éthique du problème de la sûreté convainquit petit à petit beaucoup de monde dans le milieu administratif et politique lui-même.

Il est enfin acquis aujourd'hui dans tous les Etats occidentaux comme au Japon que l'énergie nucléaire est d'une nature telle que sa production et les activités qu'elle appelle doivent être soumises de manière absolue, c'est à dire jusqu'à l'arrêt éventuel des chantiers ou activités en cours, au contrôle d'une autorité de

sûreté nucléaire totalement indépendante. Ce fut une longue bataille. Elle est institutionnellement gagnée dans un grand nombre de nations, reste à l'étendre au monde entier. Si l'Inde se rapproche de la solution occidentale, il n'en va pas de même de la Russie et de la Chine, on le sait. Reste enfin à s'assurer qu'à côté de la « culture technique nucléaire » émerge réellement une culture de sûreté, consciente de ses responsabilités, et capable de porter les décisions les plus lourdes. L'autorité en cause est la condition d'émergence d'une telle culture. Cette conclusion ne concerne pas que l'énergie nucléaire. En fait elle devrait valoir pour toute activité de nature industrielle de la puissance publique. Pour n'évoquer à ce titre que des problèmes de grande ampleur, les dommages environnementaux considérables qu'a subis la mer d'Aral, ou qu'ont provoqués les grands barrages d'Assouan et des Trois Gorges donnent à penser qu'une autorité de sûreté environnementale aurait été nécessaire pour éviter ces catastrophes. La solution peut relever d'un ministère de l'environnement, s'il a la puissance politique suffisante, ou d'une autorité indépendante dotée de pouvoirs juridiques vigoureux, donc pouvant s'opposer à l'exécutif. Peu de pays disposent d'une culture et d'une tradition juridiques assez fortes pour les amener à de telles solutions. Tout Etat qui s'engage dans un grand projet à fondement technico-scientifique est toujours tenté de déléguer à ses scientifiques de la discipline en cause le soin d'écouter remarques et critiques venant d'autres disciplines. C'est un vrai danger. Il n'y a cependant pas de solution assurée. Que l'état soit

en lui-même et par nature un meilleur gardien de la santé ou de l'environnement que la physique des particules ou l'hydraulique des grands barrages, lorsque ces disciplines sont chargées du commandement opérationnel, n'a rien d'évident.

Reste le grand problème des risques ou des menaces qui peuvent peser très lourd sur une société, qui appellent pour y parer des mesures de grande ampleur, voire des changements de comportement significatifs, et dont l'identification et la mesure ne peuvent provenir que de la communauté scientifique. Parmi les cas de l'espèce, on a connu les problèmes de la transfusion sanguine dans leur relation avec le Sida, ceux du réseau routier de Californie, de la protection de la Nouvelle Orléans et surtout ceux du réchauffement climatique dans sa relation avec l'émission de gaz carbonique. On découvrira sous peu l'importance du méthane comme gaz à effet de serre poussant lui aussi au réchauffement climatique, et l'on n'en a pas fini non plus avec les pathologies nouvelles, épidémies ou épidémies d'un monde en rapide mutation sociale.

Commençons par le plus simple, les problèmes d'argent. Il y a une quinzaine ou une vingtaine d'années, l'Etat américain de Californie a élu un gouverneur et une majorité parlementaire qui avaient promis une réduction tout à fait massive des impôts. Ce qui fut fait. Il en est résulté une diminution énorme des dépenses d'équipement public, y compris d'entretien. Quelques années après, une portion d'autoroute qui surplombait la voie de l'autre sens s'effondra. Les morts

se comptent en centaines. Naturellement l'enquête pénètre les services de voirie, et l'on rend publiques les innombrables notes par lesquelles ceux-ci avaient averti à de nombreuses reprises des dangers qui menaçaient. Il en va semble-t-il un peu de même pour le niveau de protection atteint et l'entretien des digues qui étaient censées défendre la Nouvelle Orléans. Un problème à peu près identique a concerné les chemins de fer britanniques et le métro de Londres, où à partir de la fin des années 1980 le nombre des accidents a cru de manière redoutable, faisant suite à une politique parfaitement délibérée de réduction des dépenses d'entretien. Quoique moins massivement, la France n'est pas totalement à l'abri de situations de ce genre. Beaucoup de nos ponts font à cet égard l'objet d'une surveillance inquiète. Dans le monde entier ce sont sans doute les réseaux d'adduction d'eau potable qui sont les plus grandes victimes de ces négligences continues.

Empruntant, on pourrait souhaiter que dans le monde entier soit établie une sorte de cotation de dangerosité, éventuellement soumise à une agence de vérification, qui permettrait aux services responsables d'alerter les décideurs sur le degré d'urgence qui s'attache aux interventions qu'on demande. Mais plus généralement c'est bien le discrédit de l'impôt dans les opinions publiques qui est en cause ici. Déjà dans les années 1950 l'inoubliable John Kenneth Galbraith soulignait le déséquilibre et le ridicule qu'il y a pour nous tous à rechercher la propreté maximale de nos maisons et de nos voitures mais à négliger les conditions dans lesquelles les routes

sont goudronnées et les villes nettoyées parce que cela passe par l'impôt. («L'ère de l'opulence», 1958). Plus généralement a-t-on relevé que parmi la petite centaine de pays qui pratiquent des sondages, les quelques uns qui affichent obstinément et fortement la meilleure relation entre gouvernants et gouvernés, et la plus grande confiance dans leurs institutions publiques, sont ceux qui payent le plus d'impôts en pourcentage du revenu national, les quatre scandinaves. La qualité de l'éducation, de la santé, de l'environnement, de la protection sociale et des services publics en général se retrouve dans la satisfaction publique. Le coût en est considérable, mais le public le sait, et il a le sentiment d'en avoir pour son argent.

En fait il me semble sur ce point peu discutable que la doctrine économique en vogue depuis les années 1980, le monétarisme, a poussé à de dangereux excès. L'affirmation selon laquelle les marchés sont auto équilibrants, et bien davantage encore celle selon laquelle tout équilibre de marché est optimal, qui se sont toutes deux révélées fausses et sont à l'origine de la crise, ont beaucoup trop poussé les institutions ralliées - gouvernements des États-Unis, d'Angleterre, du Japon et de bien d'autres pays, FMI, Banque mondiale - à pratiquer privatisations, déréglementations, dérégulations, et diminution de la pression fiscale et de la protection sociale à un degré qui ne permettait plus aux puissances publiques de préserver les équilibres fondamentaux dans l'ordre économique et moins encore ceux de l'ordre financier ou social. Qui plus est, cette pen-

sée en vogue a engendré un discrédit de l'Etat, une mise en cause de ses responsabilités et une perte de confiance dans son action qui nous a laissés en partie démunis devant la réponse nécessaire au danger du réchauffement climatique. Sur ce dernier point il est encore trop de gens pour penser que le marché peut y suffire.

La restauration d'un sentiment de complémentarité, de responsabilité partagée entre l'Etat et les citoyens, entre le marché et la puissance publique régulatrice est une condition nécessaire du bon traitement de ce genre de problèmes. C'est la reconstruction théorique de la science économique qui est ici en cause. Ce sera difficile et long, mais c'est une condition indispensable. Tout cela ne règle pas le problème immédiat. Comment l'instance politique peut-elle, dans l'état actuel de la perception de la puissance publique par l'opinion, se saisir ou être saisie d'un danger ou d'une réalité nouvelle affectant notre organisation sociale ?

Il faut d'abord prendre conscience de ce que, à tous moments, toute société bruit de multiples colères et réclamations contre tous ses ratés et dysfonctionnements. L'instance politique a déjà fort à faire pour distinguer dans cet amas les dommages ou souffrances personnels appelant un traitement personnel de ceux qui s'expliquent par un dérèglement ou un dysfonctionnement mettant en cause l'organisation sociale elle-même. Le politique n'a ni l'autorité ni les moyens de franchir cette limite de son propre chef. Tout au plus peut-il prescrire recherches et enquêtes.

Alors apparaît le problème majeur, clé de tout le reste. Y-a-t-il accord ou désaccord dans le milieu scientifique concerné ? Si un accord, ou un consensus largement majoritaire apparaît, la saisine du politique ne fait pas difficulté et la décision devient probable. C'est naturellement dans les cas de controverse que le problème devient plus difficile.

Il arrive notamment, et ce fut le cas du climat, que la Communauté scientifique ne dispose pas d'une structure collective qualifiée. D'une certaine façon, quoique de manière moins nette, on peut considérer que ce fut un peu le cas de la transfusion sanguine à propos du Sida, ou encore de la fameuse vache folle. Dans les situations de ce genre, l'instance politique est très paralysée, à tout le moins en situation démocratique. Un gouvernement démocratique en effet ne peut prendre de mesures contraignantes et douloureuses (une taxe, une procédure de sécurité lourde, etc...) que s'il est légitime de le faire. Et il ne sera légitime que si l'opinion est convaincue par ses raisons. Cela est hors de portée tant que la confusion règne chez les spécialistes. Un exemple remarquablement représentatif de ce genre de situation fut donné par la transfusion sanguine dans les débuts de l'épidémie du Sida.

Il n'existe pas d'organe spécialisé de surveillance ou de contrôle. Quelques médecins avaient rendu publics leurs doutes, et émis le voeu que les poches sanguines de transfusion soient chauffées pour détruire les éventuels virus du Sida qu'elles pouvaient contenir. Aucune autorité scientifique reconnue n'avait confirmé ni ce risque ni l'effi-

cacité d'un tel traitement. L'Académie de médecine, pourtant présidée à l'époque par un hématologue, restait d'un silence redoutable. Naturellement le Gouvernement portait la responsabilité nominale de ce qui se passait, en tant que responsable du fonctionnement des services publics. Le Premier ministre Laurent Fabius a même par la suite été incriminé de ce fait. Dans le silence général, le Centre de transfusion sanguine continuait ses opérations comme par le passé, donc sans chauffer. L'opération eut été coûteuse. Pour s'y livrer il lui aurait fallu une conviction certaine, reconnue, qu'il n'avait pas. L'inquiétude provoqua même une conversation au Cabinet du Premier ministre. Et c'est Laurent Fabius, non médecin et hors de tout conseil médical impérieux, qui donna l'ordre au CNTS de chauffer à l'avenir toutes les doses de sang à transfuser, d'où l'évident non lieu décidé en faveur de Laurent Fabius mais après une procédure assez scandaleuse et tout à fait douloureuse. La situation a été assainie ensuite par la mise en place de procédures et d'organismes de sûreté satisfaisants. Cet exemple rend bien compte de ce que, lorsque règne le doute sur un problème grave, la première des batailles, pour ceux qui tenaient l'idée qu'il faut « faire quelque chose », avant de viser des mesures, doit tendre à mettre en place une structure experte chargée de dire les conclusions du savoir scientifique et les probabilités qui s'attachent au risque et au succès du traitement.

La menace du réchauffement climatique relevait à l'évidence de ce genre de situations, mais avec un facteur aggravant : le problème était clairement mondial. Aucune mesure

nationale ne pouvait avoir de pertinence. Or il n'y a ni gouvernement mondial, ni institutions de sécurité mondiale, ni possibilité mondiale de mesure. On a de ce fait perdu énormément de temps. La mise en évidence d'un effet de serre, les éléments annonciateurs et le risque d'un réchauffement climatique sont évoqués par des scientifiques isolés depuis plus de soixante ans, le rôle du gaz carbonique dans cette affaire a été reconnu comme une hypothèse probable depuis plus de quarante ans. Il n'y avait sur ce sujet aucune affirmation collective de la communauté scientifique ni même aucune structure propre qui la permette. Et naturellement aucun gouvernement ne se sentait vocation à se saisir du problème.

Alors est survenu un événement que les sceptiques trouveront bien tardif, mais qui est tout de même dans les affaires humaines rarissime et même assez inoui. Deux agences des Nations unies, l'Organisation météorologique mondiale et le Programme des nations unies pour l'environnement, passent un accord en 1988, avec l'assentiment du Secrétaire général des Nations unies (si ma mémoire est bonne ce devait être Perez de Cuellar) pour créer le Groupe intergouvernemental d'études du climat, le GIEC. C'est une structure considérable, mettant au travail ensemble plusieurs centaines de scientifiques venant d'innombrables nations (on approche probablement de la centaine). Le GIEC publie un rapport tous les 4 ou 5 ans. On attend le 5e pour 2013. Les deux premiers, le premier surtout, furent abondamment contestés. Mais en quinze ans, le GIEC a manifestement réussi à convaincre le monde scientifique de la justesse de ses

méthodes de travail, de mesure et de calcul. Il ne subsiste qu'une contestation marginale. Ses travaux font maintenant autorité devant la Communauté des nations. A la dernière conférence mondiale de Copenhague, seule l'Arabie Saoudite a pris le risque de contester l'information ainsi rassemblée.

Si Copenhague a finalement échoué, c'est pour des raisons d'egoïsme nationaux bien précises, et qui ne nient pas la réalité du phénomène ni ses causes. La Chine par exemple affiche toujours un refus complet de toute mesure d'évaluation ou de contrôle venant du reste du monde et qui la concernerait. L'histoire, pour le meilleur ou pour le pire, lui a appris la méfiance. Lorsqu'enfin l'information ne fait plus doute, le processus de décision politique peut enfin s'engager. Il connaît des limites bien connues, et qui ne sont guère spécifiques des problèmes de société. On ne dépasse le cadre national que par la procédure des traités, qui suppose l'unanimité. La philosophie qui conduit encore quelques nations à préférer l'action par le marché à l'intervention publique complique beaucoup les discussions. Mais de toutes façons, le doute scientifique résiduel, les intérêts économiques et

financiers sectoriels, et souvent les problèmes budgétaires rendent les procédures unanimes infiniment plus lentes et incertaines que les procédures majoritaires.

Mais au niveau international on n'en connaît pas. C'est peut être la plus grave des questions pour l'avenir de l'humanité. Il est nécessaire aussi de faire allusion aux médias. Leur omniprésence est la condition nécessaire du succès contre le secret, on l'a notamment vu à propos du nucléaire. Mais leur nature commerciale les pousse à vendre du drame et de l'angoisse plutôt que l'information rigoureuse. Le doute et la nuance, nécessaires dans tout raisonnement de l'espèce, n'ont pas leur place dans ce système. L'exagération systématique, la crispation sur des enjeux symboliques, notamment dans les cas où cette crispation se fait sur des intérêts nationaux ou des exigences de souveraineté, apportent une perturbation permanente et grave à la recherche de solutions. Mais il faut faire avec, et l'on ne connaît pas d'autre réponse que la ténacité de la réitération de l'information scientifique.

Certains pays, dont la France, ont cherché à assurer la main de leurs pouvoirs publics dans ce genre de

débats en soulignant l'importance du principe de précaution. On l'a même chez nous constitutionnalisé. Mais j'en suis arrivé à craindre que l'on ait eu tort. Le caractère très vague de ce principe, l'absence de tout critère un peu rigoureux sur lequel appuyer ses conséquences, lui enlève toute efficacité opérationnelle. Il a davantage l'allure d'une méfiance générale devant le changement que d'une incitation ferme au changement réellement nécessaire.

Finalement on peut conclure que la certitude est rare dans le débat sur les enjeux de sociétés, et l'on se retrouve devant la plus banale des contradictions. La décision est toujours lente et son effet encore plus lent sur ces problèmes. Elle se fera lorsque le décideur individuel ou collectif en a intégré la nécessité dans son esprit. Mais l'horizon de temps nécessaire à ce décideur est difficilement compatible avec l'horizon de temps fixé par l'Organisation constitutionnelle et la durée des mandats. Cela s'appelle la politique, et c'est la contrainte la plus permanente de l'organisation des sociétés humaines.

*Michel Rocard
Le 12 janvier 2010*

Dossier scientifique : le changement climatique*

Quelques faits introductifs par Robert Kandel

Dans ce numéro de *Rayonnement du CNRS*, nos lecteurs trouveront des articles sur quelques-unes des questions du changement climatique. Sur ces questions travaillent en France de nombreux chercheurs de différentes disciplines, faisant des contributions importantes – dans certaines spécialités, de tout premier plan mondial – aux progrès des sciences du climat.

Les articles de ce numéro se limitent essentiellement aux changements climatiques du passé récent et du futur proche. Précisons. La planète Terre existe depuis plus de quatre milliards d'années, période pendant laquelle le Soleil, la Terre, son atmosphère, ses climats et la vie ont beaucoup évolué, parfois de manière dramatique. Sur cette histoire longue et passionnante travaillent de nombreuses équipes de recherche, en France comme ailleurs. Mais ces travaux-là ne font pas l'objet de ce dossier. Les articles de Valérie Masson-Delmotte et Hervé Le Treut traitent du passé récent*, toutefois un passé qui s'étend bien au-delà des quelques millénaires du passé des historiens : il s'agit des climats du dernier million d'années. De même, pour les changements climatiques futurs, nos auteurs considèrent surtout le prochain siècle, sans oublier ni les prochaines décennies ni le prochain millénaire, mais sans aller jusqu'au prochain cycle de Milankovitch. Cette restriction de l'horizon temporel simplifie le problème de comprendre l'évolution et les variations du système climatique, qui reste cependant d'une redoutable complexité.

Le climat est un résumé de conditions physiques – température, mais aussi disponibilités d'eau douce – qui déterminent largement les possibilités de vie à la surface de la Terre. Il dépend du Soleil, mais aussi et de manière cruciale de l'atmosphère, mince enveloppe gazeuse entourant la planète. Or, l'atmosphère planétaire est altérée par les activités humaines : la découverte de cette altération, confirmée et précisée depuis les années 1970, a rendu de plus en plus aiguë la question du risque de changement climatique anthropique, avec des implications importantes pour l'économie et la géopolitique. C'est pour cette raison qu'a été créé en 1988 le Groupe intergouvernemental d'experts sur

l'évolution du climat (CIEC, IPCC en anglais), dont le mode de travail est décrit dans les articles de Michel Petit et Hervé Le Treut. Les attaques contre le CIEC ainsi que la Conférence de Copenhague de fin 2009 ont dominé l'actualité pendant quelques mois. A la suite de l'échec de Copenhague, Michel Serre a écrit (*Le Monde*, 22/12/2009) : « On a oublié d'inviter la Terre ». J'écrirais plutôt que beaucoup de politiques – et beaucoup de citoyens aussi – ont tendance à oublier qu'ils sont obligés de rester sur Terre, et qu'il n'y en a qu'une. Les réactions de la nature aux activités des humains peuvent être peu commodes, sans que l'on puisse les prévenir par décision politique, issue ou non de débats démocratiques. De toute façon, il ne peut être question de suivre l'actualité politique dans ce numéro du Bulletin.

Rappelons quelques faits solidement établis

1. Depuis quelques décennies, les activités humaines envoient vers l'atmosphère des quantités de plus en plus grandes de certains gaz à molécules polyatomiques – dioxyde de carbone (CO_2) en premier lieu (fig. 1). Ainsi, à la station de Mauna Loa (Hawaï), où la composition de l'atmosphère correspond à une bonne moyenne sur l'Hémisphère Nord, l'augmentation du dioxyde de carbone, mesurée systématiquement depuis 1957, dépasse de loin le cycle annuel naturel (fig. 2). Ce cycle résulte de la végétation sur la zone tempérée des continents : la végétation retire du CO_2 à l'air pendant la saison de croissance, quand la photosynthèse agit, et le restitue pendant la mortaison, quand la respiration domine.

Depuis quelques décennies déjà, les concentrations de CO_2 et de méthane dans l'atmosphère de toute la planète sont sorties de l'enveloppe des variations naturelles observées sur 740 000 ans, au moins, comme on le voit sur la figure 4 de l'article de Valérie Masson-Delmotte. La figure 3 montre les variations du CO_2 au cours des derniers 420 000 ans, révélées par la carotte de glace de Vostok (Antarctique).

*Le lecteur trouvera la signification des principaux termes utilisés pour ce dossier dans le Lexique page 51.

LE CHANGEMENT CLIMATIQUE

Fig. 1

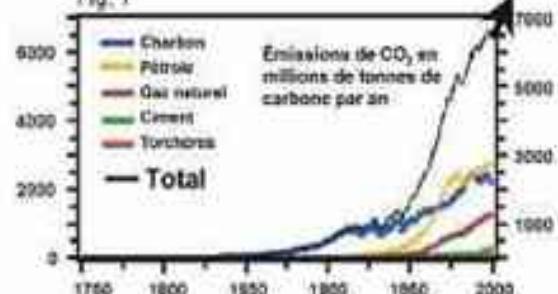


Fig. 2

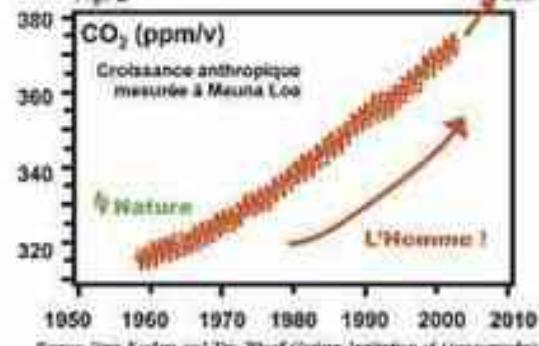
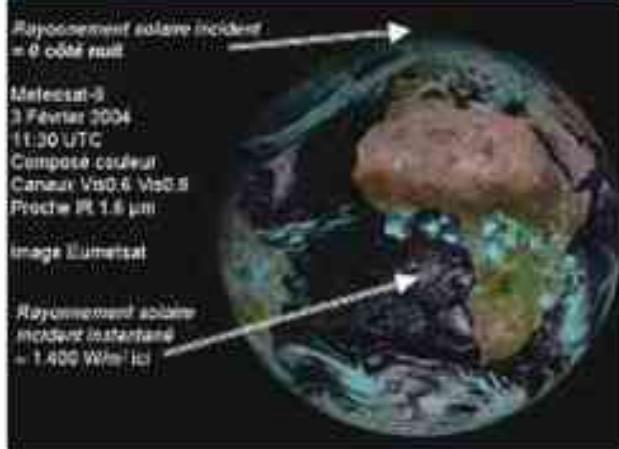


Fig. 3



La réflexion du rayonnement solaire dépend surtout des propriétés des nuages et des surfaces (figs. 4 et 6). Des gaz (H₂O et CO₂ en premier lieu), qui ne représentent pourtant qu'une très faible fraction de l'atmosphère, contribuent de manière significative à l'absorption et la réémission du rayonnement infrarouge (le rayonnement de « chaleur » de la Terre) (figs 5 et 6).

Fig. 4 Rayonnement solaire réfléchi



Cet effet physique – appelé, par analogie imparfaite, « effet de serre » – est bien connu depuis Fourier. Les gaz ajoutés par les activités humaines piégent davantage ce rayonnement dans la basse atmosphère, réchauffant la surface de la Terre (fig. 6). Ceci constitue déjà une perturbation des flux d'énergie (un « forçage », dans le langage des physiciens) : cette perturbation est plus forte, d'un facteur au moins 10, que celle due à la variation cyclique de l'irradiance solaire (fig. 7). Et ce forçage du changement climatique par renforcement de l'effet de serre naturel continuera de croître tant que l'on n'aura pas réduit au moins de moitié les émissions anthropiques de gaz à effet de serre.

En outre, au moins depuis les années 1970, le forçage du réchauffement par l'effet de serre additionnel est plus grand que celui de « l'effet parasol », c'est-à-dire le renforcement de la réflexion du rayonnement solaire (fig. 4) lors d'éruptions volcaniques (par exemple celles du Krakatoa puis du Pinatubo) ou à cause des pollutions par le dioxyde de soufre et les particules (fig. 7), forçage qui agit dans le sens d'un refroidissement.

Les conditions physiques dans l'atmosphère réagissent pratiquement instantanément à ces forçages. Pour l'océan, en revanche, comme pour l'eau à la surface des

Fig. 5a Rayonnement infrarouge thermique émis vers l'espace le jour: midi TU



Fig. 5a : Rayonnement infrarouge thermique émis vers l'espace le jour - 12h TU. Le signal le plus faible, représenté en blanc, vient des nuages élevés (cirrus, cumulonimbus). Là où le ciel est sans nuage, le signal le plus fort, représenté en noir, vient surtout des surfaces chaudes, les terres (partout les déserts du Sahara, de l'Arabie et de Namibie) se réchauffant nettement plus que les mers au cours de la journée.

Fig. 26 Rayonnement infrarouge thermique émis vers l'espace nuit comme jour



Fig. 5b : Rayonnement infrarouge thermique émis vers l'espace la nuit - Ob TU - le signal le plus faible vient des nuages élevés (cirrus, cumulonimbus). Là où le ciel est sans nuage, le signal le plus fort vient surtout de la surface. Le contraste terre-mer s' inverse. La nuit, les mers restent plus chaudes (voir surtout la Mer Rouge et la Méditerranée orientale) alors que les terres se refroidissent assez rapidement (voir surtout la péninsule ibérique, l'Afrique du Nord et l'Arabie).

continents et, dans le sous-sol, les temps de réaction vont de quelques jours (localement) à un ou deux millénaires (globalement).

3. Depuis plus d'un siècle, le climat se réchauffe - avec des irrégularités forcées par les éruptions volcaniques, par la pollution, peut-être aussi par des variations solaires (fig. 8).

Depuis les années 1970, ce réchauffement s'accélère. Certains soi-disant « sceptiques » déclarent qu'il n'y

à plus de réchauffement. Cela n'est pas vrai. En moyenne sur le globe, la décennie 2000-2009 est la plus chaude depuis le début des mesures météorologiques (fig. 9). Les mesures et les statistiques à la base de ce constat viennent de nombreux services météorologiques de par le monde. Pour le climat actuel, comme pour celui qui se dessinera au cours des prochaines décennies, il ne faut raisonner ni sur la base des variations plurimillénaires (Milankovitch) de l'orbite et de la rotation de la Terre... ni sur le calendrier des remaniements ministériels... !

4. Bien sûr, il reste beaucoup d'incertitudes, notamment sur les réponses des différents types de nuages aux changements de l'état de l'atmosphère, qui peuvent soit amplifier soit limiter le changement. Plus critiques encore sont les incertitudes sur la répartition géographique et la magnitude des changements dans les précipitations. Certains «climato-sceptiques», insistant sur l'importance des problèmes de la fourniture de l'eau potable aux populations des pays pauvres, voudraient faire passer la question du changement climatique au second plan. Rappelons que les besoins d'eau pour l'agriculture et l'élevage - donc de l'eau en quelque sorte alimentaire - sont plus importants par un facteur au moins dix que les besoins d'eau

Diagramme intitulé "Fig. 6 Nous perturbons le climat" montrant l'effet de serre terrestre. Il illustre le cycle du gaz à effet de serre (CO₂, CH₄, N₂O) et les flux de radiations solaires et infrarouges.

Le diagramme montre la Terre avec des étiquettes pour les gaz à effet de serre : "parasol" (rayonnement solaire incident), "CO₂ CH₄ N₂O" (absorbé et converti en chaleur), et "SÉRRE" (infrarouge émissaire vers l'espace). Des flèches indiquent les flux : "342 W/m²" pour le rayonnement solaire incident, "102 W/m²" pour le rayonnement réfléchi vers l'espace, et "239 W/m²" pour l'infrarouge émissaire vers l'espace. En bas, une flèche indique "Flux en W/m²" et "240 W/m²".

Fig. 7 Les variations du Soleil et de l'activité volcanique ne jouent qu'un rôle secondaire.

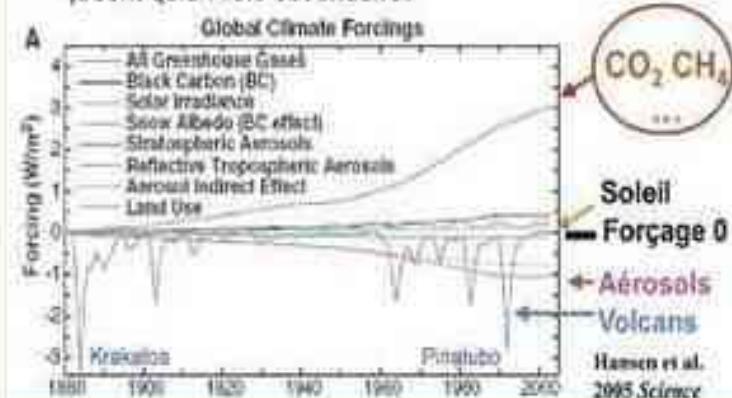


Fig. 8 Réchauffement planétaire

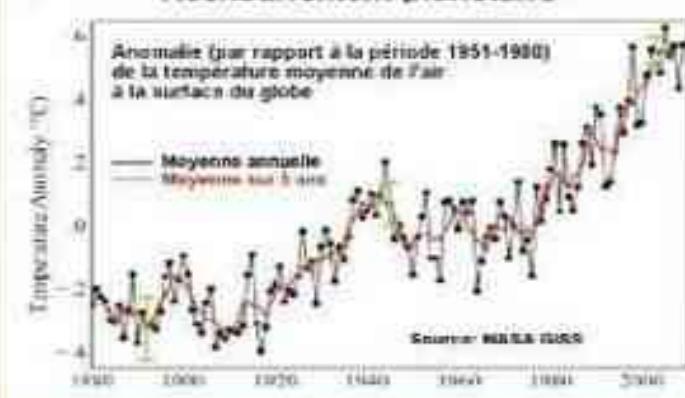
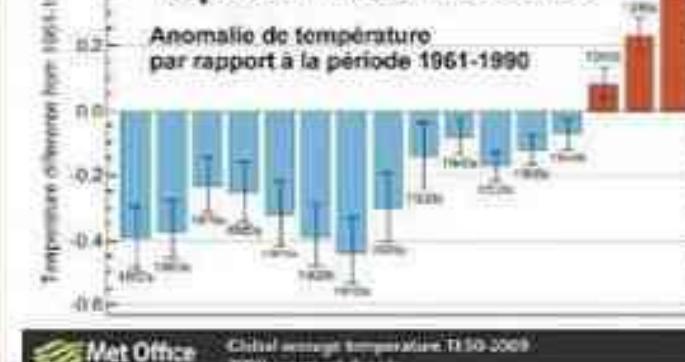


Fig. 9 La décennie 2000-2009 la plus chaude de toutes



potable. Les changements climatiques modifient les conditions d'exercice de l'agriculture. Et même si, pour la France, les conséquences peuvent ne pas être dramatiques, comme le rappelle Bernard Seguin, les problèmes d'adaptation seront autrement difficiles dans de nombreux pays pauvres.

Et le Soleil ? Quel peut être le rôle de son activité parfois spectaculaire – de ses taches, protubérances, éruptions... dont l'influence se fait bien sentir dans la haute atmosphère ?

Son irradiance (le nombre de watts qu'il envoie vers la planète) ne varie que de 0,1%. Quelles peuvent être les réponses de la troposphère (le théâtre du climat : les couches atmosphériques, de la surface à une dizaine de kilomètres d'altitude) aux forçages très faibles liés à cette activité solaire ? Il faut rester sceptiques, tant que l'on n'a pas élucidé quantitativement les mécanismes de ces réponses.

Il en est de même pour d'éventuelles amplifications de ces forçages par la circulation océanique. Un problème important est de mieux déterminer dans quelle mesure des variations climatiques interdécennales résultent de variations internes, non forcées, du système climatique, masquant ou exagérant les réponses du système au forçage anthropique croissant et aux forçages naturels.

La recherche a bien de travail devant elle, pour réduire les incertitudes, pour mieux définir la stratégie nécessaire pour essayer d'éviter des changements climatiques inacceptables, ainsi que pour mieux préparer l'adaptation aux changements climatiques inéluctables.

Bonne lecture !

Robert Kondratenko
Directeur de recherche honoraire du CNRS
LMD/IPSL/Ecole Polytechnique

Evaluation des changements climatiques futurs : le rôle essentiel de la modélisation *par Hervé Le Treut*

Résumé - Aujourd'hui, les activités humaines modifient fortement et rapidement les quantités de gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère de la planète. Comment cette situation sans précédent peut-elle affecter le climat de la planète ? L'effet de serre - en particulier mais pas seulement celui du CO₂ - est une réalité physique parfaitement établie, et son action va se superposer aux autres perturbations de notre environnement, sous l'effet de dynamiques naturelles ou par les activités humaines. Un outil d'analyse indispensable est constitué par les modèles climatiques ; et nous passons en revue leurs fondations physiques, allant des formulations les plus sommaires à des représentations plus élaborées de la complexité du «système Terre». Ces modèles ont été développés et testés dans un cadre international depuis les années 1980. Les modèles actuels sont tous capables de simuler, avec un formalisme physique et mathématique inchangé, les grands traits de climats aussi variés que le climat actuel, celui d'il y a 6000 ans quand le Sahara était vert, ou d'il y a 21 000 quand les glaces recouvravaient l'Amérique du Nord et l'Europe. La communauté des scientifiques du climat a alerté très tôt la communauté internationale sur les risques du changement climatique anthropique, et cette alerte a conduit à l'établissement d'un outil d'expertise dédié, le GIEC. Nous décrivons le fonctionnement de ce nouveau - et jusqu'ici unique - cadre d'interaction entre les scientifiques et les décideurs. Les modèles climatiques, s'ils convergent pour faire le diagnostic de risques importants, restent des outils très imparfaits d'aide à la décision, et nous concluons en présentant les avancées scientifiques qui seraient importantes pour mieux relever le défi du changement climatique pour les sociétés humaines.

Un problème nouveau

Les débats qui entourent le problème du changement climatique, en agrégant des informations multiples et souvent complexes, ont contribué à rendre peu visible pour les non-spécialistes la nature même des problèmes auxquels nous sommes confrontés. Cette difficulté est renforcée par le fait que nous nous trouvons dans une situation nouvelle, inédite à l'échelle de la présence humaine sur Terre. Alors que la composition chimique de l'atmosphère en gaz à effet de serre était restée stable depuis 10 000 ans environ, c'est-à-dire durant le

Projections of future climate change: the essential role of models :

Abstract - How will climate change in the unprecedented situation now upon us? Human activities are rapidly and strongly changing the amounts of greenhouse gases (GHG) in the global atmosphere. We recall the well-established physics of the greenhouse effect, in particular but not only regarding CO₂, which add up to other human perturbations of the natural environment. Physically based climate models constitute a necessary tool in order to diagnose the risks that we face, and their foundations will be reviewed, from simple to more elaborate representations of the complexity of the Earth. These models have been developed and tested in an international context since the 1980s. Using a common physical and mathematical formalism, models today all can simulate the principal traits of climates, ranging from present-day climate, to the climate of 6,000 years ago when the Sahara was green, or to the climate of 21,000 years ago when ice covered much of North America and Europe. We describe how the climate science community alerted the broader world community to the risks of anthropogenic climate change, leading to the establishment of IPCC. We describe the workings of this new and so far unique framework of interaction between scientists and decision-makers. We conclude with a reminder of what has been explained and what needs to be improved in climate models: if all models agree on the diagnostics of the risks we are facing, new scientific advances are necessary to address the challenges of climate change for human societies.

très long âge interglaciaire qui a permis à nos civilisations de se développer, les activités humaines l'ont modifiée de manière drastique en quelques décennies, et cet effet ne cesse de s'accélérer.

Si l'effet de serre joue un rôle majeur dans l'action de l'homme sur son environnement, c'est parce qu'il a un rôle démultiplificateur exceptionnel. Les gaz à effet de serre ne constituent qu'une toute petite fraction (moins de 1%) de la masse de l'atmosphère, mais ils jouent un rôle crucial. Sans leur absorption et ré-émission de rayonnement de chaleur (l'infrarouge), la température

LE CHANGEMENT CLIMATIQUE

de surface de la planète serait de -18°C en moyenne, contre 15°C maintenant (en fait près de 16°C, si l'on tient compte des évolutions récentes). Cet effet de réchauffement peut s'expliquer de manière simple, même si la réalité est un peu plus complexe : grâce aux gaz à effet de serre, l'atmosphère empêche la Terre, continuellement chauffée par le soleil, de se refroidir librement, en absorbant et en renvoyant vers le bas une partie du rayonnement infrarouge émis par la surface. Parmi ces gaz, certains (la vapeur d'eau, ou encore l'ozone) ont un cycle atmosphérique rapide et ne sont modifiables que de manière indirecte par les activités humaines. Mais d'autres, tel le dioxyde de carbone (que je nommerai par la suite par sa formule chimique CO₂) ont un temps de résidence atmosphérique très long : après 100 ans la moitié du CO₂ émis dans l'atmosphère s'y trouve encore. Or ces émissions ne cessent de croître. Les émissions liées à la combustion du pétrole, du charbon et du gaz naturel sont passées de moins de 2 milliards de tonnes de carbone par an dans les années 1950, à plus de 8 milliards (donc près de 30 milliards de tonnes de CO₂) en 2008. Il faut y ajouter la part de la déforestation, plus difficile à estimer, de l'ordre de 20% des émissions liées à l'usage de l'énergie.

L'essentiel de la croissance des émissions de gaz à effet de serre s'est donc produit après la deuxième guerre mondiale, et c'est dans cette période que nous avons dépassé le seuil - toujours difficile à définir avec précision - où ces émissions, de largement négligeables qu'elles étaient au début, ont commencé à constituer un problème environnemental majeur. La teneur atmosphérique en CO₂ était restée comprise entre 270 et 280 ppm (parties par million en unité de volume, donc cm³ de CO₂ par mètre cube d'air) durant les 10 000 dernières années. Depuis 1900 quand elle était proche de 290 ppm, elle a augmenté brutalement pour atteindre 385 ppm en 2009 ; et elle continue de croître, à un rythme qu'accélère désormais la croissance des pays émergents. Les conséquences climatiques de l'augmentation des gaz à effet de serre sont elles-mêmes décalées de quelques années, voire quelques décennies, par rapport à l'augmentation des gaz à effet de serre, car il faut que l'océan prenne le temps de se réchauffer. Les changements climatiques résultant des gaz à effet de serre n'ont donc commencé à devenir discernables que dans les années 80 ou 90, et c'est un problème qui est surtout important par les menaces qu'il pose sur notre futur.

L'action humaine sur notre environnement ne s'arrête pas aux émissions de CO₂. D'abord, nous injectons dans l'atmosphère d'autres gaz à effet de serre (méthane, oxyde nitreux aussi appelé protoxyde d'azote, fréons ou CFC, HCFC). Alors que le CO₂ est essentiellement le résultat de la combustion du charbon, du pétrole et du gaz naturel, à quoi il faut ajouter les effets des cimenteries et surtout ceux de la déforestation, de nouveaux secteurs économiques interviennent dans l'émission des autres gaz : agriculture, déchetteries, ... qui élargissent encore le cercle des acteurs qui devront être pris en compte pour tenter de stabiliser le climat. Ensuite, nous émettons aussi des polluants à caractère toxique, des poussières, nous modifions la réflectivité des sols... Face à ces actions multiples, les gaz à effet de serre jouent toutefois un rôle très spécifique du fait de leur très long temps de résidence dans l'atmosphère : nous avons cité une «demi-vie» de 100 ans pour le CO₂, ce même chiffre (voire beaucoup plus) est à retenir pour l'oxyde nitreux ou certains fréons, tandis qu'il est plutôt de l'ordre de 10 ans pour le méthane. Dans tous les cas, cela implique de considérer les variations climatiques à l'échelle des prochaines générations. L'atmosphère a aussi le temps de mélanger les gaz à l'échelle de la planète : leur effet global appelle cette fois des solidarités de type international.

Modèles et principes physiques : le rôle d'une validation ouverte

Le rôle climatique des gaz à effet de serre peut s'évaluer à partir de quelques chiffres simples, appliqués aux variations de la température de surface moyenne de la planète. Bien sûr cette température moyenne est le résultat de processus nombreux, en particulier des processus convectifs par lesquels la chaleur de l'air en surface se redistribue verticalement. Mais elle constitue un ordre de grandeur utile. L'effet radiatif des gaz à effet de serre déjà injectés dans l'atmosphère par les émissions atmosphériques humaines est de l'ordre de 3 watts par mètre carré (Wm⁻²). Il s'agit d'un chiffre qui peut paraître faible comparé aux 150 Wm⁻² que l'on attribue à l'effet de serre naturel (ou aux 240 Wm⁻² du rayonnement solaire moyen absorbé par le système Terre) mais c'est en fait beaucoup.

Les températures à la surface et dans les couches basses de l'atmosphère de la planète, qui varient entre -50°C à +50°C, ont une moyenne globale à la surface proche

The World in Global Climate Models

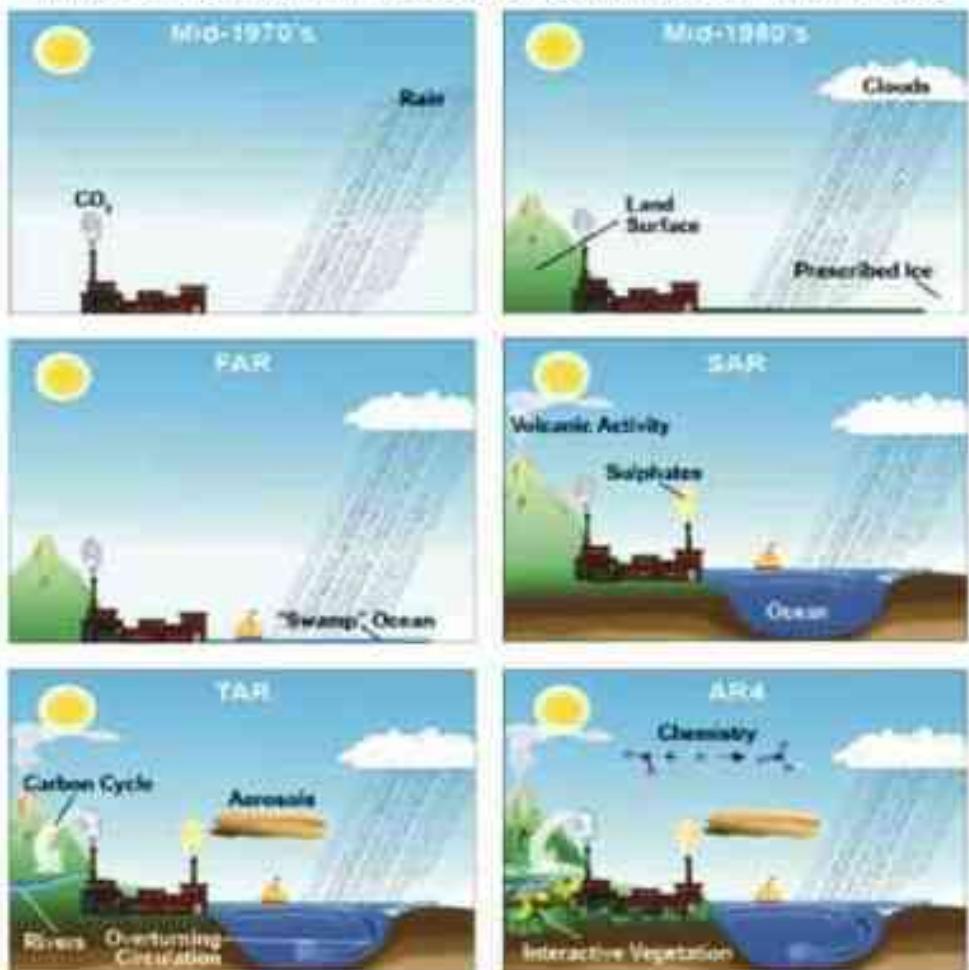


Figure 1 : Evolution de la modélisation du climat à l'échelle du globe. Améliorations successives du réalisme et de la complexité des modèles.

Ces schémas sont indicatifs, puisque les différentes équipes de modélisations ont pu choisir des stratégies de développement différentes. Mais de manière générale les progrès ont été à peu près les suivants :

Années 1970 : Premiers modèles de circulation générale de l'atmosphère. Prise en compte d'éventuelles variations de l'irradiance solaire et de l'évolution de la concentration atmosphérique de CO_2 . Modélisation sommaire des précipitations.

Années 1980 : Prise en compte des propriétés des surfaces émergées; couverture de glace prescrite. Modélisation sommaire de la nébulosité.

Premier rapport (AR1=IAU) du GIEC : Océan «marécage» c'est à dire pris en compte des échanges de chaleur et d'eau entre l'océan et l'atmosphère, mais sans structure verticale de l'océan ni courants océaniques.

Deuxième rapport (AR2=SAR) du GIEC : Prise en compte de l'activité volcanique ainsi que des sulfates issus des émissions anthropiques de SO_2 . Représentation encore sommaire des processus thermiques et dynamiques de l'océan en 3 dimensions.

Troisième rapport (AR3-TAR, 2001) du GIEC : Prise en compte du cycle de carbone, des flux d'eau des rivieres, des propriétés des aérosols anthropiques; représentation plus avancée de la circulation tridimensionnelle des océans.

Quatrième rapport (AR4, 2007) du GIEC : Prise en compte de la chimie atmosphérique. Prise en compte des interactions entre la végétation, le climat, et les propriétés des surfaces émergées.

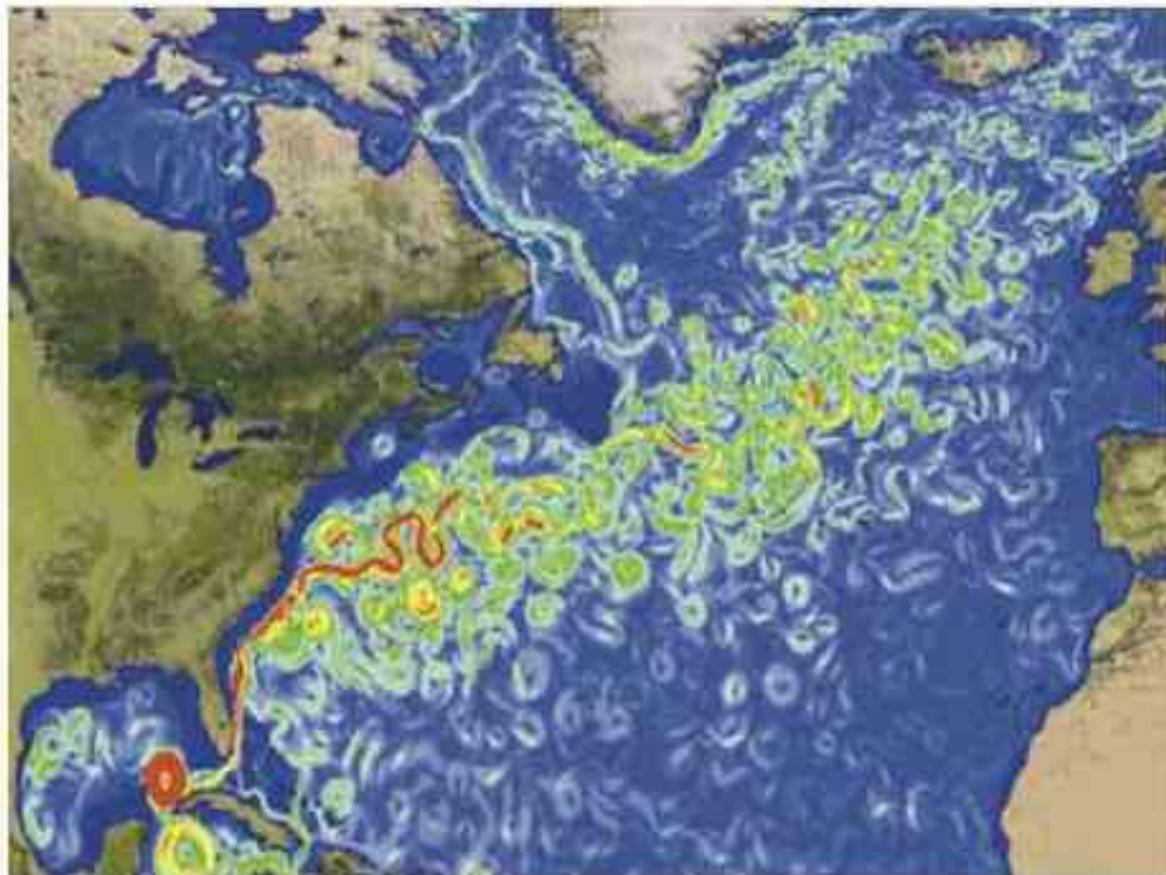


Figure 2 : Les tourbillons, un élément essentiel des écoulements atmosphériques ou océaniques, ici, une représentation des tourbillons de l'Atlantique, qui compliquent la modélisation du rôle du Gulf Stream, à partir d'un modèle japonais de haute résolution. L'interaction entre mouvements océaniques et atmosphériques se situant à des échelles différentes constitue l'une des difficultés toujours présentes auxquelles sont confrontés les modèles.

de +15°C (ou 288 Kelvin sur l'échelle absolue). La perturbation croissante du cycle énergétique, déjà supérieure à 1%, est donc susceptible de modifier cette température globale de plusieurs degrés, ce que confirment des modèles plus complexes. Or on sait que les températures globales ont fluctué de quelques dixièmes de degrés au cours des derniers siècles et millénaires, et qu'il faut remonter à la dernière grande déglaciation pour trouver un réchauffement de 5 à 6 degrés. Il ne s'agit là que d'ordre de grandeurs, et les modèles que nous décrirons plus loin permettront de cerner ces problèmes avec plus de précision. Mais ces quelques chiffres illustrent simplement le fait que nous sommes indéniablement face à un phénomène nouveau, qui va bien sûr se superposer à la variabilité naturelle du climat, mais qui va progressivement la dominer.

Comment donc mieux évaluer l'importance de ces évolutions, comment les anticiper, comment s'y adapter ? Le seul recours est la modélisation numérique, basée sur les équations de la mécanique des fluides et de la conservation d'énergie, bref sur les lois de la nature. Elle permet de créer des « planètes numériques », images nécessairement imparfaites mais toujours plus proches de la planète réelle. Ces modèles ont commencé à exister dans les années 60 aux Etats-Unis, comme des représentations de la circulation générale de l'atmosphère fondées sur la résolution des équations de la mécanique des fluides, et ils se sont ensuite étendus (figures 1 à 4) aux océans, aux glaces de mer, à des processus complexes mais essentiels : rôle des nuages, de la végétation, du relief montagneux. Le développement d'un modèle réclame une équipe de plusieurs



Figure 3 : Le cycle hydrologique et le bilan radiatif de la planète. L'eau, sous forme de vapeur ou de nuages, constitue aussi une source importante de difficultés. Les nuages, par exemple, jouent le rôle majeur dans la réflexion du rayonnement solaire incident, mais ils contribuent aussi à l'effet de serre. Cette représentation en hautes couleurs, associée à la mission TRMM de la NASA, est une synthèse d'images radar, surtout sensible à la pluie. On y voit clairement les nuages à fort développement vertical. Ces nuages de sommet froid bloquent sensiblement le rayonnement infrarouge thermique émis vers l'espace par la planète... Au moment correspondant à la carte, cet effet est important aussi bien dans les zones équatoriale et tropicales (front intertropical, un cyclone tropical au sud-ouest du Mexique), qu'aux latitudes moyennes et sub-polaires (systèmes dépressionnaires et circus).

dizaines de chercheurs travaillant ensemble pendant une décennie au moins, et il existe une quinzaine ou une vingtaine d'équipes à l'échelle mondiale. Chaque modèle constitue une petite planète, qui vit, crée son climat, climat que l'on peut bien sûr confronter au climat de la planète réelle.

La floraison de modèles très nombreux, dans les années 80 (il en existe une vingtaine), a suscité une réaction de la communauté scientifique qui a senti le besoin d'organiser une évaluation rigoureuse. C'est un scientifique américain, Larry Gates, qui a pris l'initiative de construire un laboratoire consacré

à la documentation des modèles, et à leur comparaison précise dans des conditions contrôlées. Ce laboratoire, financé par le Department of Energy, situé au Lawrence Livermore National Laboratory dans les environs de San Francisco, a constamment placé son activité sous l'égide et le contrôle du Programme mondial de recherche sur le climat. Le premier programme porté par ce laboratoire, le Programme AMIP (*Atmospheric Model Intercomparison Programme*), initié en 1990 et toujours actif, a été suivi de plusieurs autres. Le projet CMIP-5 (*Coupled Model Intercomparison Project n°5*) est actuellement en train de coordonner les simulations

qui fourniront sans doute une partie importante de la matière du prochain rapport du GIEC, en 2013. L'originalité de ces projets a été de confier l'analyse des résultats à d'autres scientifiques, spécialistes des données observées, dont l'expertise pouvait correspondre soit à un paramètre précis (par exemple le moment cinétique de l'atmosphère), soit à une région donnée (par exemple la zone de mousson indienne). Des centaines de projets d'évaluation ont permis d'élargir de manière considérable le niveau de la modélisation. Ils n'ont pas permis de dégager un modèle ou un ensemble de modèles qui soient uniformément meilleurs, mais de préciser le niveau de confiance qui peut leur être accordé : les modèles actuels sont tous capables de simuler, avec un même formalisme mathématique et physique inchangé, les grands traits de climat aussi variés que le climat actuel, celui d'il y a 6 000 ans quand le Sahara était vert, ou d'il y a 21 000 quand les glaces recouvraient l'Amérique du Nord et l'Europe. On sait par contre que leur capacité à préciser les chan-

gements climatiques à l'échelle locale ou régionale reste très insuffisante.

Les conditions d'un diagnostic partagé

Ce que l'on peut savoir des climats futurs s'appuie donc sur les éléments de consensus d'un ensemble de modèles, soumis à différents scénarios d'augmentation des gaz à effet de serre d'une part, d'évolution des pollutions particulières reflétant le rayonnement solaire d'autre part. Comment définir au mieux ce consensus ? Les scientifiques engagés dans l'étude du système climatique ont vu croître au fil des années la préoccupation publique et politique autour de l'effet de serre. L'alerte sur ces problèmes est venue de la communauté scientifique elle-même, et donc, collectivement, les scientifiques ont souhaité ce lien renforcé entre leurs travaux et des préoccupations publiques qu'il leur paraissait nécessaire et urgent de développer. En même temps, cette situation, nouvelle à bien des

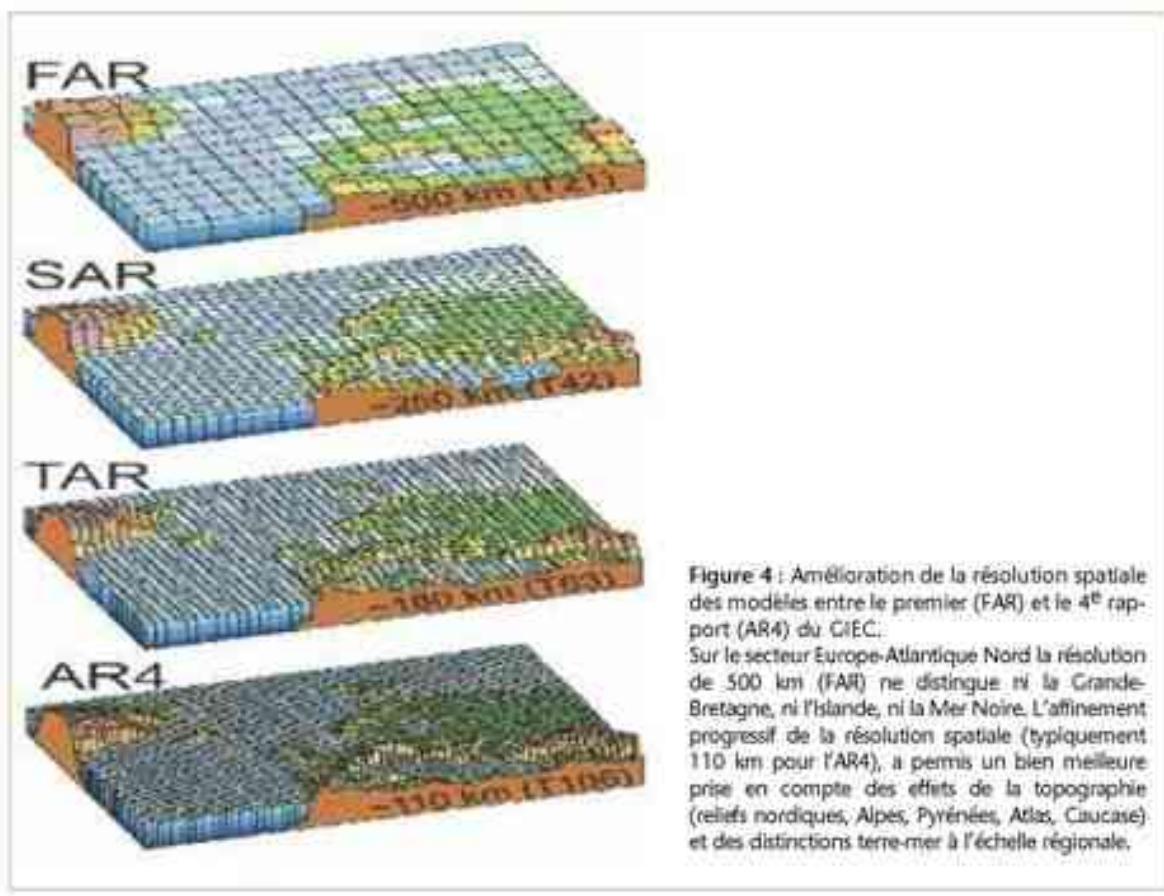


Figure 4 : Amélioration de la résolution spatiale des modèles entre le premier (FAR) et le 4^e rapport (AR4) du GIEC.

Sur le secteur Europe-Atlantique Nord la résolution de 500 km (FAR) ne distingue ni la Grande-Bretagne, ni l'Islande, ni la Mer Noire. L'affinement progressif de la résolution spatiale (typiquement 110 km pour l'AR4), a permis un bien meilleure prise en compte des effets de la topographie (reliefs nordiques, Alpes, Pyrénées, Atlas, Caucase) et des distinctions terre-mer à l'échelle régionale.

égards, pose des problèmes parfois difficiles, parce que le travail scientifique a ses règles, son rythme. La prise de conscience autour des enjeux environnementaux a obligé beaucoup de chercheurs à se situer rapidement dans un contexte qui dépasse celui de la science stricto sensu. La plus grande force de la communauté scientifique, durant les dernières décennies, a probablement été d'accompagner ces évolutions, précisément en tant que communauté, fortement organisée au niveau international. Elle le doit à quelques scientifiques, qui ont eu la vision nécessaire pour anticiper dès les années 80 les débats à venir. Ils ont permis de s'y préparer en mettant en place, à côté des grands programmes internationaux de recherche (le Programme mondial de recherche sur le climat, ou le Programme international géosphère-biosphère) une instance de médiation exceptionnelle : le Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat : le GIEC (IPCC en anglais), chargé de faire une sorte d'audit régulier des résultats de la communauté scientifique.

Sa mission est souvent mal comprise – comme est inexacte cette notion de « membre du GIEC » qui est accolée à ceux qui ont participé aux rapports. Le travail réalisé dans le cadre du GIEC, bénévole, est presque exclusivement consacré à l'écriture. La structure du GIEC est très légère. Emanation des Nations-Unies, il reçoit sa mission d'une assemblée plénière où les différents gouvernements sont représentés. Mais la structure principale qui conduit l'activité est un bureau très restreint : le président, actuellement le professeur indien Rajendra Pachauri, trois vice-présidents, les bureaux de chacun des trois groupes mentionnés plus haut, et deux co-présidents d'une équipe spéciale chargée de surveiller la méthodologie des inventaires nationaux de gaz à effet de serre. La France y a toujours été représentée, d'abord par Michel Petit puis par Jean Jouzel, mais ce privilège n'est partagé que par un petit nombre de pays. Si un nombre de personnes aussi réduit est parvenu à mettre en œuvre un exercice d'expertise aussi large, touchant des milliers de scientifiques, c'est bien parce que ces scientifiques constituent une communauté nombreuse, vivante (c'est-à-dire traversée de débats multiples) et organisée.

L'existence d'une recherche fondamentale forte, déjà bien structurée au plan international, bénéficie du support de sociétés savantes, qui ont leurs journaux et

leurs critères de publication. Nous avons cité le Programme mondial de recherche climatique (porteur d'AMIP et de CMIP) ou le Programme international géosphère-biosphère, qui continue une tradition de coopération internationale commencée au XIX^e siècle avec la création de ce qui est devenu l'Organisation météorologique mondiale. Ces programmes ont créé une communauté scientifique internationale, qui est une communauté ouverte, sans frontières précises, mais que l'on peut définir par les savoirs et outils qu'elle crée et maintient. Par exemple : systèmes d'observation de la Terre, au sol, par avion, ballons ou satellites ; systèmes de prévisions météorologiques, de prévisions de l'état de la mer ou des risques de crues, à toutes échelles de temps. Cette liste très incomplète montre que le changement climatique, très loin s'en faut, n'est pas le seul thème de recherche de la communauté « des climatologues ». Mais l'existence et l'organisation de cette communauté constituent une nécessité absolue pour qu'une entreprise telle que le GIEC soit possible. D'abord parce que le GIEC s'appuie de manière exclusive sur des articles publiés dans ses revues à comité de lecture, avant une date précise. La désignation des rédacteurs du GIEC suit aussi une double logique de reconnaissance scientifique et de proposition par les différents groupements. La structure du travail provoque automatiquement une sorte de démultiplication du nombre d'acteurs. Chaque groupe, en interaction avec le bureau et l'assemblée générale, précise la commande et définit le plan de son rapport, généralement sous forme d'une dizaine de chapitres. Chaque chapitre est confié à une équipe d'une dizaine de rédacteurs « principaux », dont deux sont chargés d'assurer la coordination du travail. Ces quelques trois cents auteurs, qui seront les signataires des différentes parties du rapport, demandent aussi la contribution de « contributeurs » qui sont invités à fournir des éléments : un paragraphe, une figure, le résumé d'une étude. Par ailleurs d'un cycle de rapports à l'autre, le renouvellement des auteurs est important, pour permettre à de jeunes scientifiques de s'y impliquer.

Le rapport est rédigé selon un protocole très strict, qui est destiné à minimiser les risques d'erreurs, mais aussi à garantir l'implication la plus large de la communauté scientifique, au-delà même des auteurs qui participent directement à l'écriture des rapports. Le texte initial est proposé à l'ensemble de la communauté scientifique,

puis à des experts gouvernementaux ; et tous les commentaires ou toutes les critiques qui en résultent sont soit pris en compte dans le texte, soit écartés, mais toujours sur la base d'un avis motivé, rendu public. Le GIEC a aussi mis en place des « éditeurs », des scientifiques dont le seul rôle, pour chaque chapitre est de vérifier le respect de l'ensemble de ces règles. Cette phase ouverte de critiques et de modifications du texte est essentielle car elle garantit qu'aucune source importante d'information (publiée) ne peut finalement être ignorée au cours des quatre itérations successives du rapport.

Un diagnostic solide mais insuffisant

Avec le recul de plus de 20 ans que nous avons maintenant, il est clair que l'attitude consensuelle et respectueuse des faits de la communauté scientifique donne aussi toute sa force au message qu'elle a porté. Le premier rapport du GIEC, écrit en 1990, reste essentiellement valable. Bien sûr, nous en savons plus, en partie d'ailleurs parce que le climat lui-même a évolué. Nous savons aussi situer les évolutions à venir dans le cadre de variations naturelles dont l'étude a aussi beaucoup progressé. Nous avons par exemple pu étudier de manière assez précise comment le climat a réagi à la réduction, à la suite de l'éruption du Mont Pinatubo en 1991, de l'énergie solaire absorbée par le système Terre. Nous savons aussi que depuis 30 ans, l'énergie envoyée par le Soleil vers la Terre a varié de 0,1% avec le cycle de 11 ans des taches solaires – une valeur faible par rapport à l'effet attendu des gaz à effet de serre, si elle n'est pas relayée par des processus amplificateurs dont l'existence fait encore débat. Notre connaissance des grands cycles biogéochimiques, et en particulier celui du carbone, a considérablement avancé. Le suivi satellitaire d'un très grand nombre de paramètres est devenu possible. Mais ce qui a été écrit il y a 20 ans reste vrai en majeure partie. Et en se limitant à ce qui était connu avec un haut niveau de certitude, la communauté scientifique a délivré un message suffisamment solide pour traverser les années, et suffisamment fort aussi pour fournir la justification d'une action politique de grande ampleur, décidée dès le premier sommet de la Terre à Rio en 1992, même si elle reste largement à concrétiser. Les deux derniers rapports, ceux de 2001 et 2007, ont évalué de manière plus précise les résultats des modèles en réponse à un ensemble de scénarios d'émission des gaz à effet de serre : ces scénarios cor-

respondent à des futurs possibles si aucune mesure politique forte n'est prise.

Les résultats en sont désormais bien connus. Le réchauffement simulé en 2100 s'inscrit dans une fourchette qui va de 2°C à 6°C environ, une fourchette large qui s'explique par une double incertitude sur la science et sur les émissions de CO₂ à venir, mais qui correspond dans tous les cas à des évolutions très fortes. Ce réchauffement à venir est plus intense dans les régions de hautes latitudes, en particulier en Arctique (ce qui commence à se vérifier clairement au niveau des tendances observées), ainsi que sur les continents. La structure des changements de précipitations suit une logique latitudinale, commune à tous les modèles, et qui commence, elle aussi, à se vérifier : dans un climat plus chaud, il pleut plus dans la région équatoriale, déjà la plus humide, moins dans les régions subtropicales qui ont tendance à se désertifier, et plus à nos latitudes. Aux hautes latitudes, les précipitations augmentent à nouveau. Il s'agit là d'une amplification des contrastes géographiques actuels. Elle dessine le contour de zones de risque, de zones vulnérables, mais qui restent très difficiles à ancrer géographiquement. A l'échelle d'une région, voire d'un continent, la dispersion des modèles reste la règle, ce qui correspond très souvent à l'incapacité de décider l'évolution future des systèmes de moussons, ou d'El Niño. Enfin dans tous les cas, la montée du niveau de la mer ajoute ses effets à ces évolutions.

Si ces évolutions sont désormais bien connues, et ont fourni le matériau même sur lequel s'est appuyée la conférence de Copenhague, l'impact des incertitudes qui demeurent est moins souvent mis en avant. Comment s'adapter à un changement en partie inévitable (quel que soit le respect des objectifs affichés à Copenhague), mais dont les contours sont aussi difficiles à déterminer localement ? La recherche des années à venir devra combler l'écart qui sépare encore une recherche orientée vers l'alerte climatique, d'une recherche qui aide à la prise de décision, au niveau local en particulier. Deux évolutions se dessinent :

- (1) On peut d'abord espérer une amélioration de la qualité des prévisions numériques à venir. Trois facteurs peuvent y contribuer : l'amélioration de la résolution spatiale des modèles, une meilleure com-

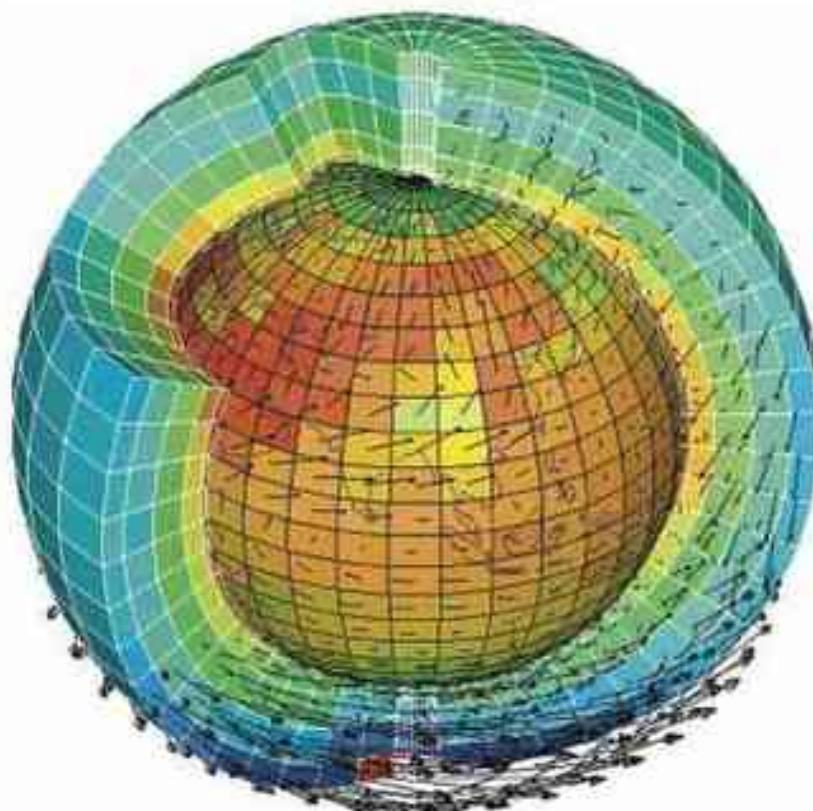
préhension de certains processus clefs (nuages, par exemple, grâce à des campagnes ou des instruments satellitaires dédiés), mais aussi le réchauffement de la planète lui-même, qui lèvera, en se développant, certaines des incertitudes rémanentes.

(2) L'étude de la vulnérabilité des systèmes sociaux ou écologiques aux aléas climatiques, qui permet d'affiner la nature des risques et de mieux dessiner les stratégies de développement les moins risquées. Ces études sont nombreuses, désormais, et ce sont elles qui ont conduit à considérer 2°C comme le niveau de réchauffement que la communauté internationale cherche à ne pas dépasser. Ce sera difficile : cette valeur sera atteinte vers 2050 si rien n'est fait, et il faut anticiper les évolutions d'un gros bateau comme notre planète plusieurs décennies à l'avance.

C'est, bien sûr, aux politiques et aux citoyens de prendre les décisions nécessaires dans un contexte où les incertitudes liées au changement climatique sont multipliées par celles qui affectent les problèmes de ressources énergétiques, d'alimentation mondiale, de ressources en eau potable... Mais ce sera aussi le rôle de la science dans les années qui viennent, de progresser à un point qui permette de mieux éclairer ces choix difficiles.

Hervé Le Treut

Directeur de l'Institut Pierre-Simon-Laplace,
Professeur à l'université Pierre-et-Marie-Curie
et à l'Ecole polytechnique



L.Faithfull - LMD - CNRS

Une «planète numérique»
Représentation du modèle de circulation générale atmosphérique du Laboratoire de météorologie dynamique (source: L. Faithfull, LMD/CNRS). Calcul des transferts verticaux d'eau et d'énergie entre la surface et l'atmosphère et dans chaque colonne atmosphérique, des transferts horizontaux entre colonnes, donc des vents, températures, humidité et nuages dans chaque cellule du modèle.

Climats du passé : l'apport des forages profonds dans les glaces polaires *par Valérie Masson-Delmotte*

Résumé - Depuis les années 1960, la communauté des « carottages dans les glaces » a produit une moisson de résultats scientifiques à partir d'un petit nombre de sites de forages profonds en Antarctique et au Groenland. Les enregistrements les plus anciens remontent jusqu'à la dernière période interglaciaire au Groenland, et sur huit cycles glaciaires-interglaciaires en Antarctique. Entre les travaux des pionniers, sur les forages de Byrd et Camp Century, et les grands programmes internationaux regroupant des dizaines de laboratoires différents, le nombre et la résolution des paramètres mesurés sur les carottes de glace ont augmenté prodigieusement : analyses de l'air, des impuretés, et de la glace elle-même. Ces enregistrements paléoclimatiques sont très riches en informations sur l'évolution de l'environnement et du climat. Des résultats clés ont été obtenus en ce qui concerne les relations entre climat et gaz à effet de serre, la découverte et la caractérisation des instabilités rapides du climat, et les conséquences des changements de l'orbite terrestre sur le climat. Cette communauté de chercheurs a ainsi fait des découvertes majeures. Certains de ces résultats sont cruciaux vis-à-vis de l'évolution future du climat.

Abstract - Since the 1960s, the « ice-coring » community has produced an abundance of scientific results from a small number of sites in Antarctica and Greenland where ice cores have been extracted from deep bore-holes. The oldest records go back to the previous interglacial period in Greenland, and cover eight glacial – interglacial cycles in Antarctica. Starting with the pioneering work at Byrd and at Camp Century, the ice-coring research enterprise has expanded to big international programs involving dozens of different laboratories, measuring many more parameters at finer and finer resolution : analyses of the composition of the air, of impurities, and of the ice itself. These paleoclimatic records provide extremely rich information on the evolution of the environment and of climate. Key results have been obtained regarding the connections between climate and greenhouse gases, the discovery and description of abrupt climate changes, and the influence on climate of changes of the Earth's orbit and rotation. The discoveries of this research community provide crucial information regarding future evolution of climate.

Introduction

Connaître les changements passés du climat et de l'environnement est l'une des clés pour comprendre les changements en cours et pour mieux anticiper leurs évolutions futures. Cette connaissance se construit grâce à une vaste palette d'informations paléoclimatiques tirées d'archives terrestres, marines et polaires, complétées par la modélisation des climats du passé.

Cet article sera consacré aux variations climatiques glaciaires-interglaciaires déduites de l'analyse des forages polaires profonds, permettant de remonter sur 123 000 ans au Groenland et 800 000 ans en Antarctique. Sur ces échelles de temps, d'autres enregistrements sont disponibles grâce à l'analyse des sédiments marins, lacustres, des séquences de loess et des spéléothèmes, ces concrétions des grottes. Chacune de ces archives possède ses défauts mais aussi ses avantages, et c'est leur complémentarité qui permet d'obtenir une vision d'ensemble des bouleversements du climat de notre planète et des mécanismes en jeu.

Evidemment, l'une des limitations intrinsèques aux forages polaires tient à leur couverture géographique restreinte. L'obtention des enregistrements climatiques nécessite de dépasser des difficultés logistiques majeures, pour accéder à des sites de forages très difficiles d'accès, mais également des difficultés technologiques, pour l'obtention des carottes de glace. Au-delà de ces limitations, les forages polaires offrent :

- 1) l'opportunité d'archives à haute résolution, jusqu'à l'échelle saisonnière dans les sites de forte accumulation comme au Groenland,
- 2) l'accès à des paramètres clés du climat, de manière continue et quantitative : température, accumulation, conditions d'évaporation...
- 3) des informations exceptionnelles sur les gaz qui constituent notre atmosphère, leur abondance et leur composition isotopique, et enfin
- 4) des informations climatiques et environnementales extraites des impuretés d'origine océanique, continentale, volcanique, cosmogénique ou anthropique – même si leur abondance dans les glaces polaires peut être très faible.

Après un bref historique de cette science des forages polaires, nous décrivons brièvement les méthodes d'analyse et de datation, puis nous passerons en revue les résultats les plus marquants obtenus récemment en ce qui concerne l'évolution du climat. A la lumière de ces résultats, nous préciserons en quoi ces données du passé sont pertinentes vis-à-vis des changements en cours et futurs.

Historique des forages profonds

Cette recherche sur les carottes de glace a démarré dans les années 1960, lorsque Willy Dansgaard, l'un des pionniers, décrivit la distribution de l'abondance des molécules lourdes et légères de l'eau (H_2O), mais avec des proportions variables des isotopes oxygène 18 et oxygène 16) dans les précipitations mondiales. Il mit en évidence, aux latitudes tempérées et polaires, une relation étroite entre l'abondance des isotopes lourds (le $\delta^{18}O$) et la température locale ; il l'expliqua par la modélisation du processus de dilution isotopique au cours du refroidissement des masses d'air. Rapidement, il eut l'idée d'utiliser cette relation pour quantifier les changements climatiques passés à partir des précipitations anciennes de neige, préservées dans les inlandis, ces calottes de glace polaires.

Ce fut la principale motivation du premier forage profond, entrepris par des équipes danoises et américaines à Camp Century, au nord-ouest du Groenland (Figure 1). Long de 1390 m, ce forage couvrait d'abord la période chaude des derniers 10 000 ans, puis, comprimée par le poids dans les derniers 200 mètres de glace, presque toute la dernière période glaciaire, remontant sur près de 100 000 ans. Le second forage profond eut lieu dans les années 1970 à Dye 3, au sud du Groenland. Même si le site n'était pas idéal pour étudier finement le climat de la dernière période glaciaire, il a révélé l'occurrence de changements climatiques abrupts. Ceci fut ensuite confirmé par deux forages conduits à 30 km de distance à Summit, au sommet de la calotte : le projet européen CRIP et le projet américain GISP2. Les analyses du fond de ces forages de plus de 3 kilomètres de profondeur ont cependant révélé des différences inattendues, liées à des perturbations de l'écoulement de glace au voisinage du socle rocheux. De ce fait, les enregistrements climatiques ne sont fiables que pour les derniers 100 000 ans. A 316 km au nord de Summit, le forage NorthGRIP, achevé en 2004, a livré 123 000 ans d'histoire du climat, offrant le premier enregistrement complet de la dernière entrée en glaciation et de la fin de la dernière période interglaciaire, à 3085 mètres de profondeur.

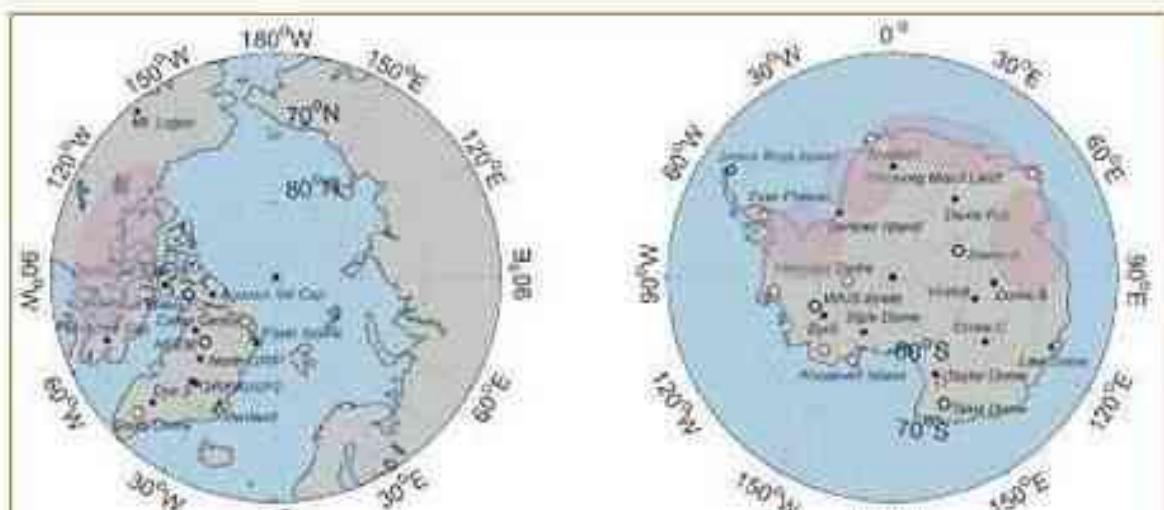


Figure 1 : Sites de forages profonds en Antarctique (à droite) et au Groenland (à gauche) compilés par le International Partnership for Ice Core Sciences (<http://www.pages-igbp.org/graphics/>). Les cercles gris indiquent les forages effectués, les cercles noirs les projets en cours. Les cercles et étoiles rouges indiquent les projets envisagés à l'avenir. Les zones grisées sont les endroits les moins bien documentés.

LE CHANGEMENT CLIMATIQUE

Après le succès du forage à Camp Century, les équipes américaines et danoises sont parties au sud, au site de Byrd (en Antarctique de l'Ouest) où elles ont effectué le premier forage profond en Antarctique, jusqu'au socle rocheux. Un ensemble de forages profonds a ensuite démarré à la station soviétique de Vostok dans les années 1970, au moment où un premier forage atteint 900 m au Dôme C. Ces premiers forages ne permettaient pas d'aller au-delà de la dernière période glaciaire, soit du fait du taux d'accumulation élevé à Byrd, soit parce que les premiers forages à Vostok ou Dôme C étaient trop peu profonds. Il était cependant évident qu'il serait possible de remonter plus loin vers le passé sur le plateau continental de l'Antarctique de l'Est, où l'on trouve à la fois une forte épaisseur de glace (plus de 3 km) et des taux d'accumulation de neige faibles. Lorsque le forage de Vostok dépasse 2 km, il permet de remonter sur un cycle glaciaire-interglaciaire complet. L'ensemble des carottes forées à Vostok, jusqu'à la profondeur record de 3623 mètres – le forage s'est arrêté à cause de la découverte d'un lac sous-glaciaire –, a finalement permis d'étendre les enregistrements climatiques de Vostok jusqu'à 420 000 ans vers le passé.

Depuis, des forages remontant plus loin dans le passé ont été conduits avec succès sur deux sites. Le premier forage, au Dôme C, dans le cadre du programme EPICA (European Project for Ice Coring in Antarctica), offre 810 000 ans d'archives climatiques. Au Dôme F, un premier forage avait couvert les derniers 340 000 ans ; le plus récent forage a permis d'atteindre, au socle rocheux, 740 000 ans. Quelques forages profonds ont permis de caractériser l'évolution du climat au cours du dernier cycle climatique dans différents secteurs de l'Antarctique, sur les sites de EDML, Siple Dome ou Talos Dome. D'autres forages, que nous ne décrivons pas ici, permettent de caractériser la variabilité climatique passée sur des périodes plus courtes, tant sur les calottes polaires que dans les glaciers de haute altitude, en région tropicale ou tempérée.

Techniques utilisées pour forer, mesurer et dater les carottes de glace

Les forages polaires profonds doivent d'abord surmonter des difficultés logistiques, pour accéder aux sites de forages, dans des conditions météo-

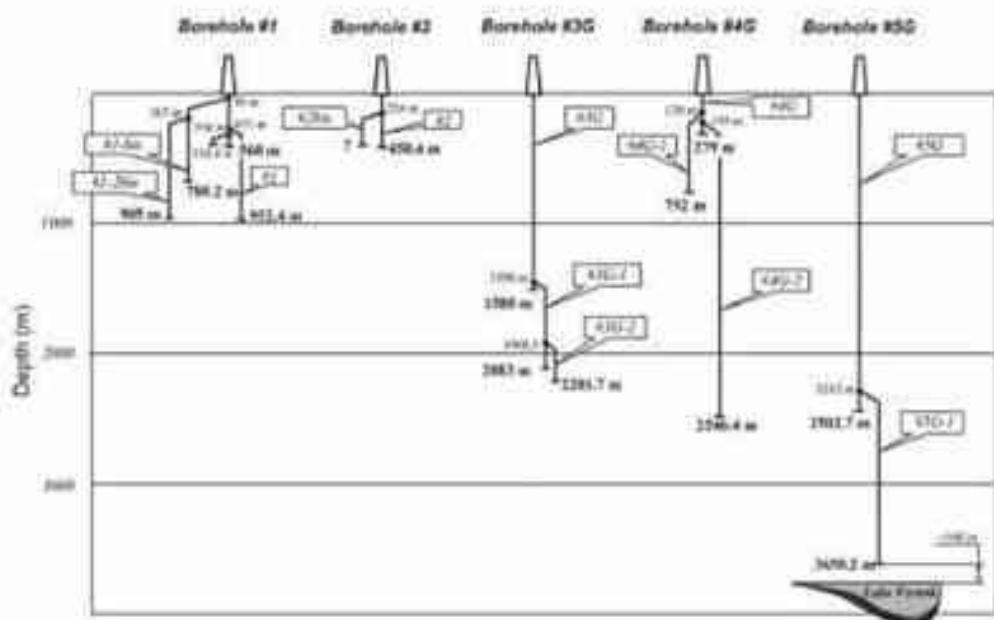
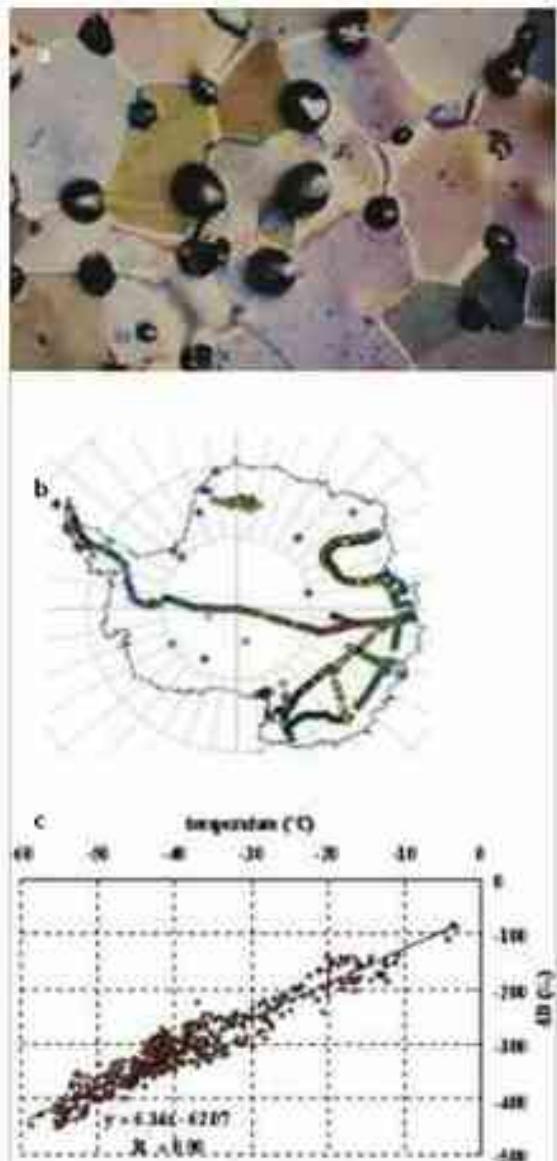


Figure 2 : Schéma des opérations successives de forage conduites à la station de Vostok, Antarctique.
(bordure : forage ; dépht : profondeur)



rologiques extrêmes, en particulier pour les équipes de forage qui ont travaillé toute l'année, comme cela a été le cas à Vostok ou Dome F. Des méthodes de forage thermique puis électromécanique ont été développées par les différentes équipes. Le forage lui-même est difficile à cause des températures très basses en surface, et de la nécessité d'utiliser un fluide de forage pour empêcher la fermeture du trou par l'écoulement de la glace. Parmi l'ensemble des forages profonds conduits au centre du Groenland (GRIP, GISP2, North GRIP) et au centre de l'Antarctique de l'Est (Vostok, EPICA Dome C et EDML, Dome F), seuls deux de ces forages (GRIP et EDML) ont atteint le socle rocheux avec le carottier initial... Le schéma de la Figure 2, montrant les forages successifs au site de Vostok, illustre bien les difficultés qui ont dû être surmontées au cours de programmes de forage s'étendant sur près de 30 années.

Les analyses des carottes de glace portent sur la glace elle-même, sur l'air piégé dans la glace ainsi que sur l'ensemble des impuretés contenues dans la glace (Figures 3a-3d). De plus, des mesures de propriétés physiques des carottes de glace sont conduites sur le terrain et en laboratoire : mesures géométriques, repérages visuels, photographiques ou par méthodes laser, caractérisation des propriétés électriques, diélectriques, cristallographiques...

Climat régional, forçages climatiques



Figure 3d : Les analyses géochimiques conduites sur les carottes de glace apportent une foule d'informations sur le climat et l'environnement régional et global, ainsi qu'une caractérisation des forçages climatiques (volcanisme, activité solaire) (voir texte).

LE CHANGEMENT CLIMATIQUE

Plusieurs stratégies ont été déployées sur le terrain. Au cours des premiers forages profonds (Camp Century, Dome C), pour les forages de Vostok et même certains projets récents (EDML, Dome F), très peu de mesures ont été produites sur place. A l'inverse, pour les programmes GRIP ou EPICA Dome C, des tranchées scientifiques ont été équipées en laboratoires, avec des équipements analytiques permettant par exemple la mesure en flux continu de la composition chimique de la glace.

Les carottes de glace donnent accès à des paramètres climatiques pertinents pour différentes échelles d'espace : les informations sont d'ordre local (température ou accumulation), régional à hémisphérique (origine des précipitations, circulation atmosphérique) ou global (déduites de la composition de l'atmosphère). Elles informent également sur l'histoire de la pollution, sur le cycle de l'eau et sur les forçages extrêmes du climat, comme le volcanisme (à travers sa production d'aérosols) et l'activité solaire (à travers le beryllium 10, isotope d'origine cosmogénique).

Tant au Groenland qu'en Antarctique, on observe une relation linéaire entre les rapports isotopiques de l'hydrogène (δD) et de l'oxygène ($\delta^{18}\text{O}$) de la neige et la température locale. A partir de cette relation, bien comprise à l'aide de modèles de distillation isotopique, les profils isotopiques mesurés le long des carottes de glace fournissent un enregistrement climatique de référence.

L'interprétation classique de ces profils isotopiques repose sur l'hypothèse que la pente spatiale isotopes de l'eau - température moderne reste valable pour un même site, pour différentes périodes climatiques (pente temporelle).

Plusieurs éléments confirment, pour l'Antarctique, cette interprétation « classique », à condition de prendre en compte quelques corrections liées au changement de composition isotopique de l'eau de mer, de l'origine des précipitations et de l'altitude de la calotte. On a conduit des simulations à l'aide de modèles de circulation générale de l'atmosphère, incluant la modélisation des isotopes stables de l'eau ; elles confirment la pertinence de cette approche pour les climats glaciaires. Une étude récente suggère que cette approche « classique » pourrait conduire à une sous-estimation des réchauffements passés.

La relation entre composition isotopique de la glace et température est exploitée pour la datation des forages de glace, qui combine la modélisation des variations passées d'accumulation (à partir des profils isotopiques) et de l'écoulement de la glace.

Pour le Groenland, de nombreux travaux ont démontré que l'utilisation de la relation spatiale isotope-température conduit à sous-estimer, d'un facteur allant jusqu'à 2, l'ampleur des changements passés de température. Au Groenland, on dispose de deux méthodes complémentaires de paléothermométrie, l'une qui tire parti de l'inversion des variations de température dans les trous de forage, et l'autre qui repose sur la diffusion thermique de l'air dans le névé lors de brusques variations de température. Les modèles de circulation générale de l'atmosphère ont montré que les informations tirées des isotopes stables peuvent être réconciliées avec ces autres estimations de température : les changements de saisonnalité des précipitations entre climat glaciaire et climat inter-glaciaire entraînent des différences systématiques entre la température moyenne annuelle et la température moyenne au cours des épisodes neigeux - celle qui est documentée par les isotopes stables de la neige.

L'accumulation annuelle de neige peut être estimée simplement par l'identification des couches annuelles, grâce à différentes méthodes : inspection visuelle, ou mesure de cycles saisonniers de la composition isotopique ou chimique de la neige et de la glace. Certains signaux subissent des processus de diffusion qui en atténuent l'amplitude (c'est le cas pour les isotopes de l'eau) ; de plus, l'estimation de l'accumulation annuelle de glace requiert de conjuguer la mesure de l'épaisseur annuelle de neige, et l'estimation de l'aiminissement de cette couche du fait de l'écoulement de la glace. Cette approche est finalement restreinte aux sites de forte accumulation, et les enregistrements les plus anciens couvrent aujourd'hui près de 60 000 ans. Au centre de l'Antarctique, cette méthode ne peut pas fonctionner car il neige trop peu (parfois moins de 2 cm d'équivalent eau par an) : les taux d'accumulation sont alors estimés à partir d'hypothèses sur le flux de certains éléments mesurés dans les carottes de glace, ou à l'aide de contraintes indépendantes sur la chronologie.

La composition isotopique des précipitations est utilisée pour estimer les températures passées. Au second

ordre, l'excès en deutérium $d = \delta D - 8\delta^{18}\text{O}$ dépend surtout des conditions d'évaporation (température, humidité relative, régimes de vents) et donc de l'origine des masses de vapeur d'eau. L'analyse au second ordre des changements de cycle hydrologique vient récemment d'être complétée par l'analyse de l'oxygène-17 de la glace : ce paramètre supplémentaire permet de séparer les effets liés à l'humidité relative et à la température d'évaporation sur les régions sources.

La mesure de la quantité d'air piégé dans la glace (le contenu en air) a été utilisée pour estimer les variations d'altitude des calottes polaires. Comme le rapport O_2/N_2 (proportion d'oxygène et d'azote) dans l'air, ce paramètre est également influencé par l'ensoleillement local, qui joue sur le métamorphisme de la neige et donc sa porosité. Il est ainsi possible d'utiliser ces paramètres pour construire une échelle d'âge, en tirant parti des calculs précis des variations passées d'ensoleillement.

Les carottes de glace sont des archives exceptionnelles de la concentration de l'atmosphère en gaz à effet de serre autres que la vapeur d'eau. Les premières mesures fiables des variations glaciaires-interglaciaires du CO_2 ont été difficiles à obtenir, à cause de la présence d'impuretés dans les glaces du Groenland. Tous les enregistrements fiables sont obtenus à partir des carottes de glace de l'Antarctique, où les concentrations d'impuretés sont beaucoup plus faibles qu'au Groenland. La mesure des concentrations de méthane ne pose pas de problème et peut être conduite très précisément. Aujourd'hui, de nombreux enregistrements des variations passées de CO_2 et de méthane sont disponibles, à partir de différents types de glace (avec ou sans hydrates d'air ; avec ou sans fractures ; prélevées dans des conditions de température, d'accumulation, de structures de glace différentes). Ils montrent une excellente cohérence entre eux, et, pour les forages couvrant les périodes très récentes, une excellente adéquation avec les mesures directes dans l'atmosphère. La présence d'impuretés dans la glace peut affecter la mesure de protoxyde d'azote (N_2O), en particulier pour les périodes ou sites présentant une forte concentration de poussières.

La composition isotopique de l'air piégé dans les glaces offre également des marqueurs des changements passés de température (grâce à la diffusion thermique et gravitationnelle, qui peut être détectée grâce au $\delta^{15}\text{N}$

et/ou au $\delta^{40}\text{Ar}$). Le $\delta^{18}\text{O}$ du dioxygène (O_2) atmosphérique reflète les variations glaciaires-interglaciaires, du fait des changements de composition isotopique de l'eau de mer, mais également les changements de productivité marine et terrestre. Récemment, les isotopes du xénon et du krypton ont été utilisés pour estimer les changements passés de température moyenne des océans, tandis que la composition isotopique du CO_2 et de méthane permettait d'obtenir des informations précises sur les changements des cycles biogéochimiques. Les variations passées de $\delta^{18}\text{O}$ du dioxygène atmosphérique apportent des informations sur les moussons ; celles du méthane nous renseignent sur les zones humides tropicales et boréales.

Historiquement, l'un des premiers paramètres mesurés dans les carottes de glace, au-delà des isotopes stables de l'eau, a été le dépôt de poussières continentales, transportées depuis les régions désertiques. Les fortes augmentations de poussières observées pendant les glaciations sont liées aux changements d'acidité mais aussi de l'efficacité du transport de ces poussières. Les concentrations en sodium sont également plus élevées pendant les glaciations ; on l'explique par une augmentation de la production de « fleurs de sel » à la surface de la glace de mer. Les mesures des concentrations de différents types d'aérosols (poussières continentales, sel de mer, isotopes cosmogéniques, marqueurs d'activité volcanique) permettent à la fois de caractériser les forçages naturels du climat (volcanisme, activité solaire) mais également la réponse de l'environnement (perturbations radiatives liées à l'augmentation des teneurs atmosphériques en poussières pendant les périodes glaciaires).

Plusieurs méthodes sont nécessaires pour dater les carottes de glace ; chacune de ses méthodes a ses avantages mais aussi ses limites. On peut distinguer quatre types de méthodes :

- 1) le comptage de couches ;
- 2) la modélisation glaciologique ;
- 3) l'utilisation de repères chronologiques et la corrélation avec d'autres enregistrements ;
- 4) la comparaison aux variations d'ensoleillement liées aux paramètres orbitaux de la Terre.

Le comptage de couches fait appel à un ensemble de paramètres et il est utilisé de manière extensive pour les

forages groenlandais, mais ne fonctionne pas pour des sites du centre de l'Antarctique trop secs, et pour lesquels il faut modéliser accumulation de neige et écoulement de glace. Récemment, des méthodes mathématiques ont été construites pour tirer parti de toutes les informations disponibles pour un ensemble de forages, y compris des points de calage entre Groenland et Antarctique. Ces datations demandent ainsi de construire des échelles d'âge pour la glace et pour le gaz, qui, du fait de la densification du névé polaire, est plus jeune que la glace qui l'entoure. De nouvelles perspectives de datation proviennent de méthodes de datation absolue, appliquées soit aux tephra, soit aux poussières continentales contenues dans les glaces.

Les climats du passé tels qu'ils sont enregistrés dans les carottes de glace

Les forages profonds antarctiques conduits à Vostok, Dôme F et Dôme C offrent une image cohérente des variations glaciaires-interglaciaires de température en Antarctique, et des changements de composition atmosphérique. La Figure 4 montre les enregistrements les plus anciens, couvrant 8 cycles climatiques au Dôme C. Le climat antarctique est marqué par des variations glaciaires-interglaciaires atteignant 8 à 10°C. Les températures glaciaires semblent relativement stables d'une période à l'autre. À l'inverse, on observe de fortes différences d'une période interglaciaire à l'autre. Avant 400 000 ans, des périodes interglaciaires « tièdes »

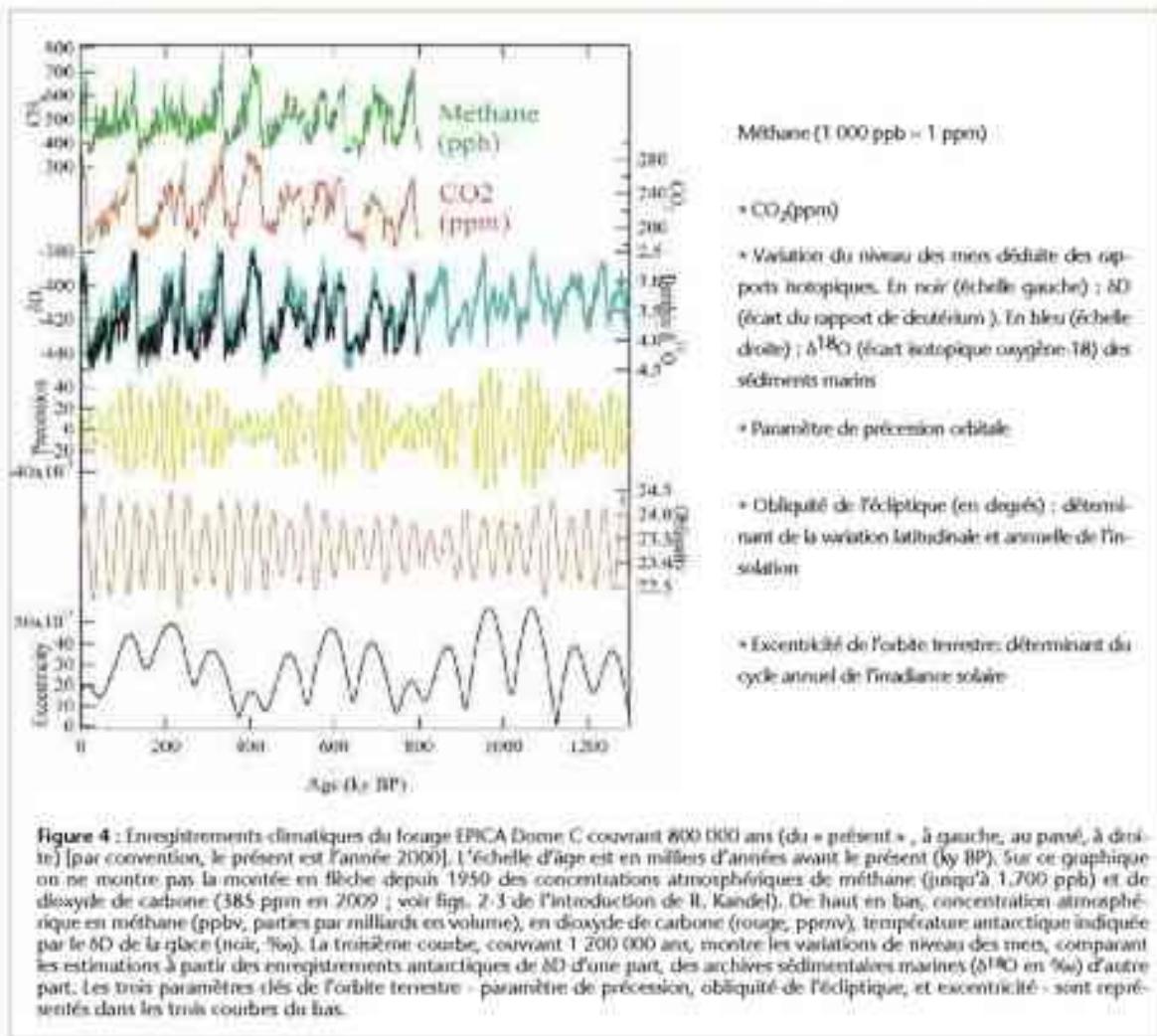


Figure 4 : Enregistrements climatiques du forage EPICA Dôme C couvrant 800 000 ans (du « présent » à gauche, au passé, à droite) [par convention, le présent est l'année 2000]. L'échelle d'âge est en milliers d'années avant le présent (ky BP). Sur ce graphique on ne montre pas la montée en flèche depuis 1950 des concentrations atmosphériques de méthane (jusqu'à 1 700 ppbv) et de dioxyde de carbone (385 ppm en 2009 ; voir figs. 2-3 de l'introduction de H. Kandel). De haut en bas, concentration atmosphérique en méthane (ppbv, parties par milliards en volume), en dioxyde de carbone (rouge, ppmv), température antarctique indiquée par le δD de la glace (noir, ‰). La troisième courbe, couvrant 1 200 000 ans, montre les variations de niveau des mers, comparant les estimations à partir des enregistrements antarctiques de δD d'une part, des archives sédimentaires marines (δ¹⁸O en ‰) d'autre part. Les trois paramètres liés de l'orbite terrestre - paramètre de précession, obliquité de l'écliptique, et excentricité - sont représentés dans les trois courbes du bas.

apparaissent systématiquement 1 à 3°C plus fraîches que la période chaude actuelle, l'Holocène. La période interglaciaire la plus longue apparaît être le stade isotopique marin 11 (il y a environ 400 000 ans), et la période de la plus chaude le stade isotopique marin 5e, atteignant jusqu'à 5°C au-dessus du niveau actuel, voici 130 000 ans. La pertinence globale des informations tirées de ces enregistrements antarctiques est confirmée par la forte similitude entre les variations de température en Antarctique et celles de l'hémisphère Nord, dépeintes à travers les variations de la concentration atmosphérique en méthane (produit dans les zones humides tropicales et boréales, principalement localisées dans l'hémisphère Nord), et à travers les variations de volume des calottes de glace, estimées à partir des enregistrements sédimentaires marins.

Les variations passées de température antarctique portent l'empreinte des variations passées de l'orbite terrestre. En plus d'une forte cyclicité à 100 000 ans, elles montrent des variations importantes aux échelles de temps de 40 000 (obliquité) et de 19 000 à 23 000 ans (précession des équinoxes et précession de périhélie). Les changements de l'obliquité, modulant la distribution d'ensoleillement selon les latitudes, affectent également l'origine des précipitations comme l'indique l'excès en deutérium. Les liens entre paramètres orbitaux et climat antarctique ne sont pas liés à l'ensoleillement local, mais par un ensemble de rétroactions climatiques, entraînant des délais de plusieurs millénaires entre les variations orbitales et la température antarctique. Il a été suggéré que l'augmentation d'amplitude des périodes interglaciaires au cours des derniers 800 000 ans peut

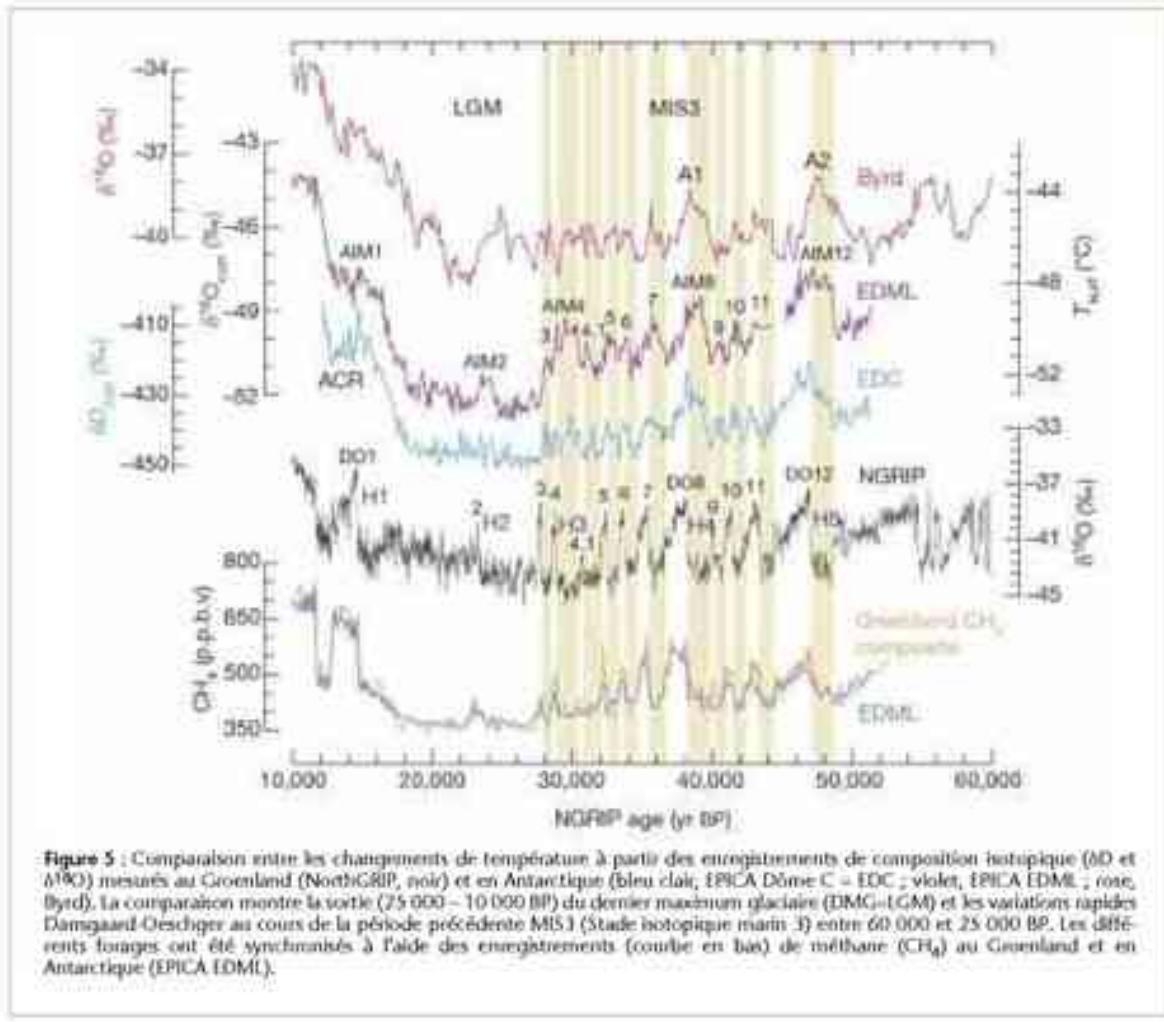


Figure 5 : Comparaison entre les changements de température à partir des enregistrements de composition isotopique (δD et δ¹⁸O) mesurés au Groenland (NorthGRIP, noir) et en Antarctique (bleu clair, EPICA Dôme C = EDC ; violet, EPICA EDML ; rose, Byrd). La comparaison montre la sortie (75 000 – 10 000 BP) du dernier maximum glaciaire (DMG = LGM) et les variations rapides Damsgaard-Oeschger au cours de la période précédente MIS3 (Stade isotopique marin 3) entre 60 000 et 25 000 BP. Les différents forages ont été synchronisés à l'aide des enregistrements (courbe en bas) de méthane (CH₄) au Groenland et en Antarctique (EPICA EDML).

être liée à la modulation à long terme d'amplitude de l'obliquité (Figure 5).

Les forages profonds antarctiques ont révélé un couplage étroit entre changements du climat et du cycle du carbone. A l'échelle orbitale, les changements climatiques apparaissent d'abord dans la température antarctique – que ce soit pendant les entrées ou les sorties de glaciations, puis sont suivies de changements des niveaux de dioxyde de carbone. Au moment de ces transitions, les changements de climat, pilotés par l'orbite terrestre, modifient le cycle du carbone et entraînent des réorganisations de la composition atmosphérique. Cela comprend l'important gaz à effet de serre qu'est la vapeur d'eau, mais l'humidité du passé – nécessairement faible quand l'air est froid – n'est pas préservée dans les bulles d'air piégé dans la glace. Les variations d'effet de serre, à leur tour, modifient l'équilibre radiatif de notre planète et le climat. Au cours des derniers 800 000 ans, les concentrations atmosphériques de dioxyde de carbone ont varié entre 172 et 300 ppmv (parties par million en volume), et, conjuguées aux variations de la concentration de méthane, représentent une perturbation radiative de l'ordre de 3 W/m². Si le moteur du climat réside dans la redistribution de l'ensoleillement selon les latitudes et les saisons, les variations de température moyenne terrestre résultent principalement de deux rétroactions : d'une part, les changements de concentrations en gaz à effet de serre dans l'atmosphère, et d'autre part les variations d'extension des calottes de glace. Ainsi, les périodes interglaciaires « tièdes » ayant 400 000 ans correspondent à des périodes plus englacées et avec des teneurs en gaz à effet de serre plus faibles que pendant les périodes interglaciaires les plus récentes. Le couplage étroit entre température antarctique et concentration atmosphérique en CO₂ met en évidence l'importance de l'Océan austral pour le cycle du carbone. Finalement, il faut souligner que les 800 000 ans de recul offerts par le forage EPICA Dôme C montrent des variations lentes des concentrations en dioxyde de carbone, au-delà des cycles glaciaires-interglaciaires. Ainsi, on observe des niveaux particulièrement bas de concentrations en dioxyde de carbone pour la période 650-800 000 ans. Les processus à l'origine de ces variations lentes sont encore mal connus.

Aucun forage n'enregistre un cycle climatique complet au Groenland. Les 123 000 ans d'archives climatiques

issues du forage North GRIP montrent que la fin de la dernière période interglaciaire était de 3 à 5°C plus chaude au Groenland que pendant la période pré-industrielle, ce qui est cohérent avec un ensoleillement estival exceptionnellement intense, du fait de l'orbite terrestre. La dernière période interglaciaire est ainsi marquée par des températures chaudes aux deux pôles, ce qui, conjugué à l'observation de niveaux marins 4 à 6 mètres au-dessus du niveau actuel, démontre que les calottes polaires sont vulnérables à un réchauffement polaire maintenu pendant plusieurs millénaires.

Les forages du Groenland sont marqués par une succession de 25 événements rapides, ponctuant l'ensemble de la période glaciaire ainsi que la déglaciation. Ces événements de Dansgaard-Oeschger (D-O) sont formés d'une phase froide et relativement stable, qui peut durer plusieurs milliers d'années (« stade ») suivie d'un réchauffement abrupt, puis d'un refroidissement progressif depuis ce niveau « interstade » jusqu'à la phase froide suivante. Au cours de ces événements, des changements dans l'origine des précipitations et dans leur saisonnalité rendent problématiques les estimations de température tirées des isotopes stables de l'eau. Le fractionnement thermique et gravitationnel des gaz dans le névé a fourni des estimations de température pour un ensemble d'événements de Dansgaard-Oeschger, montrant qu'ils atteignaient des amplitudes de 8 à 16°C en quelques décennies à quelques siècles. A l'inverse, la remarquable stabilité de la période chaude actuelle, l'Holocène, n'est ponctuée que par un épisode de refroidissement séculaire, il y a 8200 ans. Cet épisode froid a été provoqué par des modifications des courants marins et de la circulation atmosphérique en réponse à un afflux d'eau douce dans l'Atlantique Nord, du fait de la vidange abrupte du lac Agassiz (s'étendant sur plus de 1.200 km au Canada et piégé jusque-là derrière les glaces).

Les événements de D-O ont une signature globale. Les interstades coïncident avec des réchauffements à grande échelle dans l'hémisphère Nord, des décalages de la zone de convergence intertropicale vers le nord, et une intensification des moussons de l'hémisphère nord. L'anatomie de ces événements de D-O, au Groenland, est la suivante : une diminution de l'apport de poussières en provenance des déserts asiatiques, un changement brutal dans l'origine des précipitations (détecté d'une année à l'autre en excès en deutérium), condui-

sant ensuite à une montée brutale des températures et de la concentration de méthane dans l'atmosphère.

Grâce à la signature des événements de D-O en méthane, il est possible de synchroniser les forages du Groenland et de l'Antarctique. Cette synchronisation révèle une structure de bascule bi-polaire des instabilités rapides du climat. Les « stades » froids au Groenland correspondent à un lent réchauffement en Antarctique (de l'ordre de 2°C), interrompu lors des réchauffements abrupts du Groenland. Cette bascule bi-polaire marque l'importance du transport latitudinal de chaleur lié à la circulation thermohaline lors de ces instabilités rapides du climat. Comme cela est attendu par des modèles conceptuels de changements de circulation océanique et de l'inertie de l'Océan Austral, l'intensité des réchauffements en Antarctique est proportionnelle à la durée des phases froides au Groenland. Ces réorganisations de la circulation thermohaline sont liées à des apports d'eau douce dans l'Atlantique du Nord, et, pour certaines des phases froides, à des débâcles massives d'icebergs (événements de Heinrich).

Pourtant éloignés du centre d'action (l'Atlantique Nord), les forages profonds antarctiques enregistrent clairement la contre-partie antarctique des événements de D-O sous forme de changements abrupts de méthane (amortis par les processus de densification de névé et les gradients inter-hémisphériques de méthane), et de maxima de composition isotopique de la glace. Grâce aux enregistrements de méthane et de composition isotopique de la glace couvrant 800 000 ans à Dôme C, il a été possible de détecter 74 événements de type D-O. Ce résultat suggère que ces instabilités sont une caractéristique des climats glaciaires des derniers 800 000 ans. Les optima de température antarctique, pendant les périodes chaudes, pourraient être également des bascules bi-polaires se produisant à la fin des déglaciations. Ces instabilités rapides semblent jouer un rôle clé dans les transitions glaciaires-interglaciaires. Au moment des entrées en glaciation, l'occurrence d'interstades chauds est essentielle pour fournir les chutes de neige et accélérer ainsi la formation des calottes glaciaires. Les terminaisons (sorties de glaciations) démarrent comme des instabilités rapides prolongées.

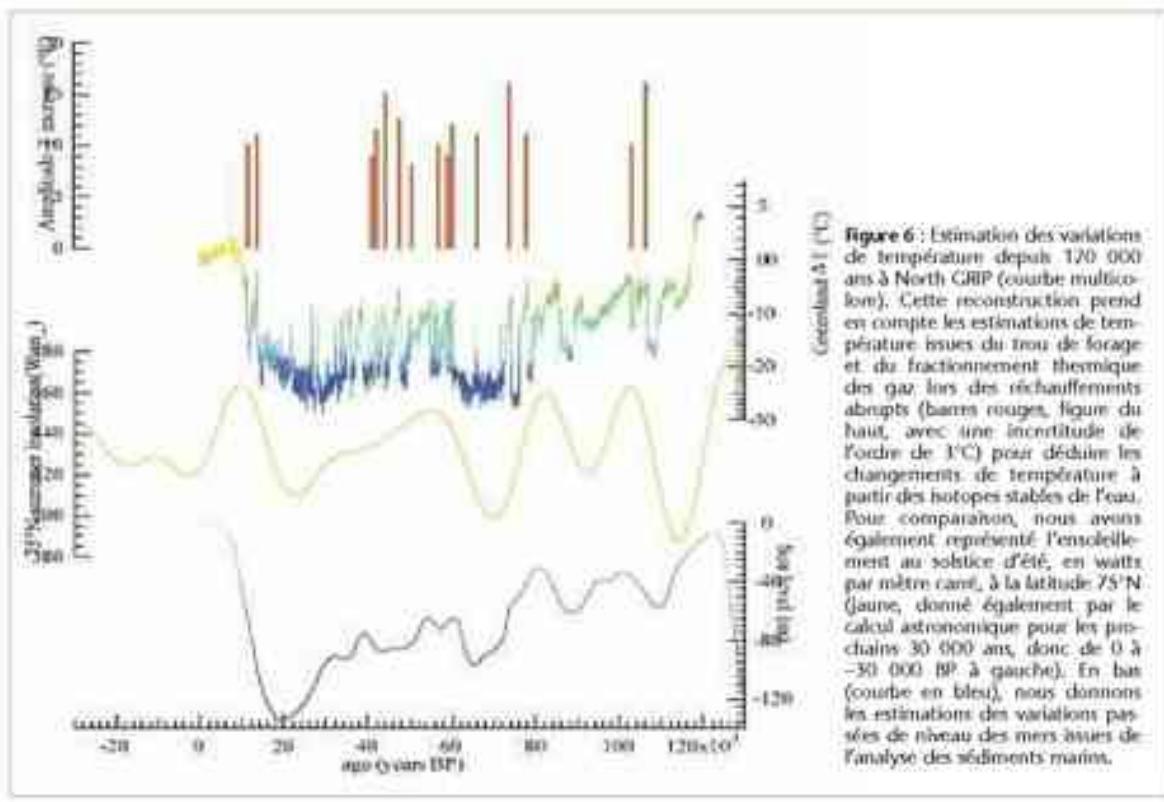


Figure 6 : Estimation des variations de température depuis 120 000 ans à North GRIP (courbe multicouleur). Cette reconstruction prend en compte les estimations de température issues du trou de forage et du fractionnement thermique des gaz lors des réchauffements abrupts (barres rouges, figure du haut, avec une incertitude de l'ordre de 1°C) pour déduire les changements de température à partir des isotopes stables de l'eau. Pour comparaison, nous avons également représenté l'ensoleillement au solstice d'été, en watts par mètre carré, à la latitude 75°N (jaune, donné également par le calcul astronomique pour les prochains 30 000 ans, donc de 0 à -30 000 BP à gauche). En bas (courbe en bleu), nous donnons les estimations des variations passées de niveau des mers issues de l'analyse des sédiments marins.

En quoi les climats du passé sont-ils riches d'enseignement pour le climat actuel et pour les changements futurs ?

Les enregistrements issus des carottes de glace sont d'abord fondamentaux pour situer la perturbation anthropique dans le contexte de la variabilité naturelle de la composition atmosphérique et du climat. Ils ont démontré sans ambiguïté que ni le niveau actuel ni la vitesse d'augmentation des concentrations en gaz à effet de serre n'ont de précédent, au cours des derniers 800 000 ans. Les simulations d'évolution future du climat peuvent également être comparées aux intensités et aux rythmes des changements climatiques passés. Par rapport aux informations tirées des forages polaires, le changement climatique futur devrait être comparable à ce que les paléoclimatologues appellent « des changements climatiques abrupts ».

La compréhension des moteurs et rétroactions des changements climatiques passés est également importante pour explorer les futurs changements de climat, à long terme. Bien qu'il n'existe pas d'analogie orbital parfait à la période interglaciaire actuelle, les données du passé permettent d'identifier les seuils d'ensoleillement d'été des hautes latitudes de l'hémisphère Nord nécessaires pour provoquer une entrée en glaciation. Le minimum actuel d'ensoleillement d'été est trop peu marqué : sans même considérer l'impact du surplus de gaz à effet de serre d'origine anthropique, nous devons nous attendre à une période interglaciaire exceptionnellement longue.

Enfin, les déterminations des changements de climat et de composition atmosphérique issues des carottes de glace offrent un banc d'essai sur lequel il est possible de tester les modèles de climat et de cycle du carbone. C'est indispensable pour évaluer le réalisme de ces modèles, en terme de sensibilité climatique, d'amplification polaire, d'amplitudes et de vitesses de changement, et enfin pour les rétroactions liées au cycle du carbone.

Quelles sont les perspectives scientifiques ? Quatre défis

La communauté internationale qui travaille sur les forages polaires est à présent coordonnée au niveau

international, à travers l'*International Partnership for Ice Core Science* (<http://www.pages.unibe.ch/ipics>), qui a établi une stratégie de recherche à horizon 10-20 ans pour surmonter quatre défis scientifiques majeurs, les deux premiers de ces défis portant sur l'échelle glaciaire-interglaciaire précédemment décrite.

Le premier défi est d'obtenir un forage profond en Antarctique couvrant plus de 1,2 millions d'années vers le passé. Cette période de temps correspond à une réorganisation climatique majeure, entre un monde marqué par des glaciations fréquentes mais peu intenses (tous les 40 000 ans), et, brutalement, des glaciations plus longues et plus intenses (tous les 100 000 ans environ). Il est indispensable de caractériser les changements de composition atmosphérique au cours de cette période, ce que les forages antarctiques peuvent faire précisément. Des études sont en cours pour identifier les sites de forage les plus pertinents, comme les environs du Dôme A. A cause de la complexité des écoulements glaciologiques au voisinage des socles rocheux, il faudra prévoir au moins deux forages pour vérifier la reproductibilité des enregistrements climatiques.

Le second défi est d'obtenir un forage profond au Groenland, couvrant l'intégralité de la dernière période interglaciaire. Les forages GRIP et GISP2 contenaient des segments de cette période, au milieu de séquences d'écoulement perturbé, et le forage NorthGRIP ne permettait pas de remonter au-delà de 123 000 ans, conséquence d'un flux géothermique local particulièrement fort. Ce défi vise à caractériser la dernière période chaude, sa variabilité millénaire, l'éventuelle occurrence d'instabilités du climat, la séquence des événements depuis la glaciation précédente, l'ampleur du réchauffement pendant cette période chaude, et les gradients inter-hémisphériques de méthane. Le projet NEEM (North Greenland Eemian ice drilling) a démarré en 2008 avec la construction d'une base provisoire, et a atteint en 2009 la profondeur record de 1750 mètres forés en une seule saison d'été. Les premières analyses de ce forage montrent que la variabilité inter-annuelle de la composition isotopique de la neige reflète les variations d'extension de glace de mer en Baie de Baffin, et que le site est particulier, car recevant davantage de précipitations en été. Il reste à ce jour 800 mètres de glace à forer avant de parvenir au socle rocheux...

Le troisième défi est de caractériser finement les mécanismes des changements climatiques abrupts. Pour cela, il est prévu de construire un réseau de forages bipolaires couvrant les derniers 40 000 ans, afin de caractériser la signature des instabilités rapides du climat dans les différents secteurs océaniques. Le forage de Talos Dome, qui vient d'être réussi dans le secteur de la Mer de Ross, en Antarctique de l'Est, va fournir des informations précieuses dans une zone jusqu'à présent mal connue. Cet enregistrement couvrira deux cycles climatiques et montre une variabilité très similaire à celle tirée du forage de Dôme C.

Enfin, le dernier défi porte sur l'enregistrement le plus détaillé possible de la variabilité du climat et des forages climatiques au cours des derniers 2000 ans, grâce à un réseau de forages polaires, mais aussi issus de petites calottes et de glaciers de haute altitude, en zones tempérées et tropicales. Ce défi est essentiel pour mieux connaître les forages climatiques liés à l'activité solaire, au volcanisme, et les perturbations radiatives liées à la charge atmosphérique en poussières et en aérosols. Il est prévu de conduire des analyses types à très haute résolution sur des forages bien datés, pour caractériser le spectre de variabilité du climat, les modes de variabilité et leurs téléconnexions.

Ces nouvelles directions de recherche requièrent des collaborations internationales très structurées, pour la logistique, les technologies de forage, les analyses des carottes de glace les plus précises et les plus détaillées possibles, et la mise en commun des résultats. Dans le contexte du réchauffement climatique en cours, il est indispensable de pouvoir rapidement préserver, à l'aide de forages, les précieuses archives du climat qui courrent le risque d'être effacées par la percolation d'eau de fonte. L'exploitation scientifique des données issues de l'analyse des carottes de glace demande des collaborations étroites avec d'autres communautés scientifiques, pour caractériser les processus de changement climatique. Le développement de modèles du « système Terre » qui incluent la physique du climat, mais également le cycle du carbone, l'écoulement des calottes de glace, et capables de réaliser des simulations transitoires longues, offrent de nouvelles perspectives pour placer les enregistrements des carottes de glace dans le contexte global, et pour déchiffrer les mécanismes des changements climatiques.

Quelques références

En français :

- Jean Jouzel, Claude Lorius, Dominique Raynaud, *Planète blanche, les glaces, le climat et l'environnement*, Odile Jacob, Paris, 2008, 301 pages.
- Didier Nauglustaine, Jean Jouzel, Valérie Masson-Delmotte, *Atmosphère, atmosphère*, Le Pommier, Paris, 2008, 215 pages.

En anglais :

- Jouzel, J., et al., Orbital and millennial Antarctic climate variability over the past 800,000 years. *Science*, 2007, 317: p. 793-796.
- EPICA-community-members, One-to-one coupling of glacial climate variability in Greenland and Antarctica. *Nature*, 2006, 444: p. 195-198.
- Loulergue, L., et al., Orbital and millennial-scale features of atmospheric CH₄ over the last 800 000 years. *Nature*, 2008, 453: p. 383-386.
- Steffensen, J.P., et al., High-Resolution Greenland Ice Core Data Show Abrupt Climate Change Happens in Few Years. *Science*, 2008, 321: p. 680-684.
- Masson-Delmotte, V., et al., Deuterium excess reveals millennial and orbital scale fluctuations of Greenland moisture origin. *Science*, 2005, 309: p. 118-121.
- NorthGRIP-community-members, High resolution climate record of the northern hemisphere reaching into last interglacial period. *Nature*, 2004, 431: p. 147-151.
- Lüthi, D., et al., High resolution carbon dioxide concentration record 650,000-800,000 years before present. *Nature*, 2008, 453(7193): p. 379-382.

Valérie Masson-Delmotte est climatologue, Directrice de recherche CEA au Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement (CEA-CNRS, UVSQ, IPSL), Gif-sur-Yvette, France.

Le changement climatique : conséquences pour l'agriculture et la forêt *par Bernard Seguin*

Résumé - Quelle sera l'évolution de l'agriculture et de la forêt sous l'influence du changement climatique au cours du 21^e siècle ? Nous considérons en premier lieu la stimulation de la photosynthèse et de la croissance des plantes (avec une partition entre plantes en C3 et en C4) résultant de l'augmentation de la concentration en CO₂. Puis nous évaluons l'effet du changement climatique - à la fois augmentation des températures et modification de la pluviométrie - sur les différentes espèces végétales, en fonction bien sûr du scénario climatique et de la caractéristique bioclimatique de départ dans différentes régions du monde. Dans ce cadre général, nous portons une attention particulière aux évolutions récentes des cultures en différentes parties du territoire français, en examinant les changements observés dans les décennies récentes - floraison plus précoce, avancée des dates de vendange, allongement de la saison de végétation, extension de l'aire de certains ravageurs. Nous évoquons aussi les impacts d'événements extrêmes - gel d'hiver et de printemps, sécheresses, pluies intenses et inondations, orages violents. En conclusion, nous analysons les stratégies possibles d'adaptation, sur place ou en considérant des déplacements géographiques des cultures et des forêts.

Le changement climatique n'est, bien sûr, qu'un des déterminants qui vont conditionner l'évolution de l'agriculture et celle de la forêt au cours du XXI^e siècle. Pour la première, la remise en question de sa vocation unique de production d'alimentation, déjà largement entamée depuis quelques années par la reconnaissance de sa multifonctionnalité, est fortement accentuée actuellement par l'ouverture des perspectives de l'utilisation de la biomasse pour la substitution d'énergie fossile (biocarburants, cultures énergétiques). Le tout se situe dans un contexte de transformation profonde du contexte économique, incluant les réformes de la PAC (Politique agricole commune). Il en va de même pour la forêt, dont la composante de productivité est dans bien des cas mise en retrait par rapport aux déterminants écologiques.

Cependant, ces deux activités restent sans aucun doute parmi celles qui sont le plus directement influencées par le climat. Le changement climatique aura donc un impact sur la composante biotechnique de la production. Accroissement de la teneur en gaz carbonique et

Climate change: its consequences for agriculture and forests.

Abstract - How will climate change influence agriculture and forests in the 21st century? We consider first how rising CO₂ concentrations will stimulate photosynthesis and affect growth of plants (C3 versus C4). We then examine how climate change - both rising temperatures and changing rainfall - will affect different plant species, depending of course on the climate change scenario and on the bioclimatic zone in different parts of the world. Particular attention is given to likely changes in crop yield in different parts of France. We examine observed trends of past decades - earlier blooming, earlier wine harvests, extension of the growing season, expanded range of some insect pests. We also comment on the impacts of extreme events - winter and spring frosts, droughts, intense rainfall episodes and flooding, violent storms. As a conclusion, we discuss possible strategies for adaptation, with or without shifting areas of cultivation and forestry.

autres gaz à effet de serre dans l'atmosphère, élévation de la température, modification des régimes pluviométriques, et donc des différents termes du bilan hydrique (évaporation, drainage, ruissellement), évolution de la couverture nuageuse, et donc du bilan radiatif : l'ensemble des facteurs bioclimatiques qui régissent le fonctionnement des écosystèmes est amené à se modifier. Il faut donc en premier lieu prévoir et quantifier ces modifications et leurs conséquences.

Quel impact sur le fonctionnement des cultures ?

Avant d'en venir à l'impact du réchauffement climatique proprement dit, il est nécessaire de prendre en compte un effet spécifique aux couverts végétaux qui concerne la stimulation de la photosynthèse par l'augmentation du gaz carbonique (ou dioxyde de carbone : CO₂) atmosphérique. Avec l'hypothèse d'un doublement du CO₂ pour la fin de ce siècle, les travaux permettent de prévoir une stimulation de la photosynthèse de l'ordre de 20 à 30 %, conduisant à une aug-

mentation résultante de l'assimilation nette de l'ordre de 10 à 20% (en prenant en compte l'augmentation de la respiration liée à l'effet de l'augmentation de la température) (fig.1). Il devrait également s'en suivre

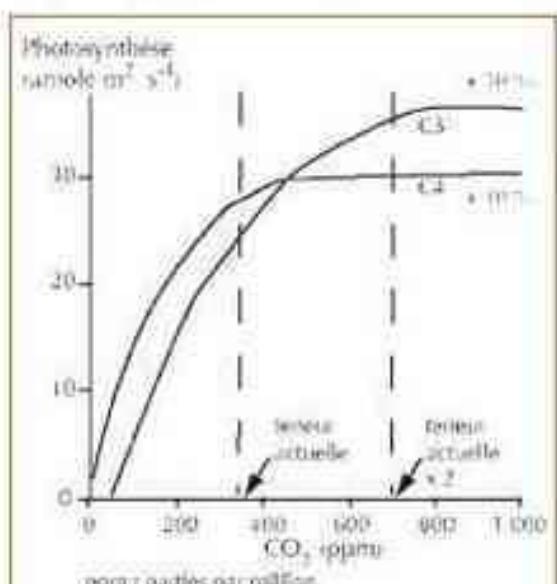


Figure 1 : influence de la concentration en CO₂ sur la photosynthèse de plantes en C3 et en C4

une baisse de la transpiration des plantes et, en conséquence, un accroissement de la biomasse produite et des rendements potentiels pour les plantes d'intérêt agricole. Cette réponse positive de la photosynthèse à un enrichissement en carbone de l'atmosphère dépend toutefois de différents facteurs. Le type de métabolisme carboné, la température et la disponibilité en eau interfèrent ainsi avec l'accroissement de la photosynthèse consécutif à une augmentation de la teneur en carbone. Par exemple, alors que les plantes en C3 (comme le riz, le blé, la betterave, le pois, etc.), majoritaires dans les zones tempérées, répondent fortement à une augmentation de la teneur en carbone atmosphérique dans la gamme de concentrations considérée, la réponse des plantes en C4 (comme maïs, sorgho, canne à sucre...) à un enrichissement de l'atmosphère est très faible au-delà de 400 ppm, proche de la teneur actuelle de l'atmosphère.

Cet effet sur la photosynthèse sera combiné à l'effet propre du réchauffement climatique sur la température

en premier lieu, mais également sur les autres facteurs, en particulier la pluie. Bien que la réponse physiologique des plantes à un enrichissement de l'atmosphère en gaz carbonique et à une augmentation concomitante de la température entraîne théoriquement une production plus importante de biomasse, les effets sur le rendement des espèces cultivées, à l'échelle du peuplement, risquent d'être beaucoup plus contrastés. Cela est particulièrement vrai pour le sud, où l'optimum thermique pour la photosynthèse est souvent déjà atteint, sinon dépassé dans certaines conditions. Dans les conditions tempérées, l'augmentation de température peut favoriser la plupart des processus physiologiques, mais elle aura également un impact négatif pour les plantes à cycle déterminé, comme les cultures annuelles, en accélérant leur rythme de développement et donc en raccourcissant les cycles de culture et, par suite, la durée de fonctionnement de l'usine photosynthétique. À l'inverse, pour les végétations à cycle non déterminé comme les prairies ou la forêt, l'avancée des stades de développement au printemps s'accompagne d'un retard dans l'arrêt physiologique à l'automne, et la durée de la saison de végétation devrait s'en trouver augmentée. Au bout du compte, le bilan résultant en la production de biomasse, et au-delà, le rendement peuvent prendre des aspects variés.

Quelles conséquences pour la production agricole et forestière ?

Elles varient beaucoup en fonction du type de couvert et des conditions climatiques associées aux conditions culturelles pour les plantes cultivées. Mais la tendance générale est claire : si les régions tempérées peuvent s'attendre à des effets tantôt positifs, tantôt négatifs sur le rendement, le changement climatique aura quasi-systématiquement des effets négatifs dans les zones tropicales. C'est effectivement ce qui ressort du grand nombre d'études consacrées ces vingt dernières années à la prévision de l'impact du réchauffement climatique sur l'agriculture à l'échelle mondiale (voir par exemple Rosenzweig et Hillel 1998, Reddy et Hodge 2000). Elle a été clairement confirmée par celle du 4^e rapport de 2007, dont nous reproduisons ci-dessous les principales conclusions contenues dans le « Résumé à l'intention des décideurs » du Groupe de travail II (GIEC 2007) : « Les rendements agricoles devraient augmenter légèrement dans les régions de moyenne et haute latitude pour des augmentations moyennes locales de température allant de

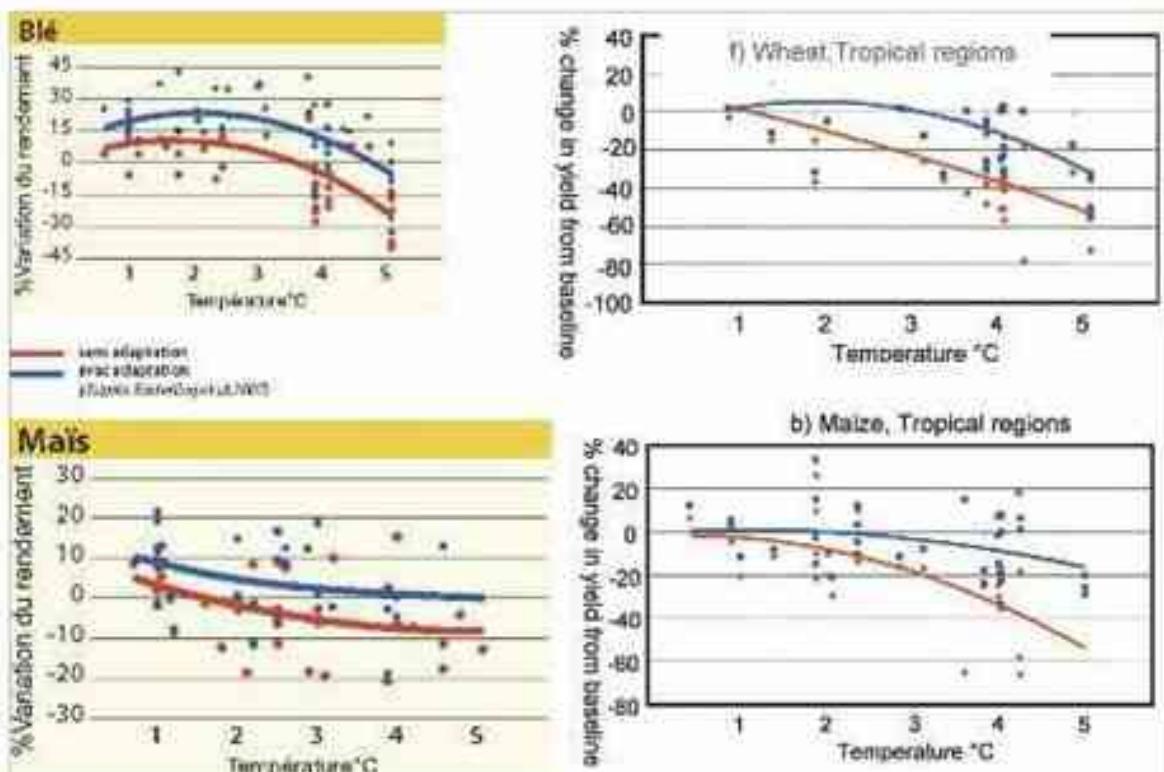
LE CHANGEMENT CLIMATIQUE

1 à 3° selon la culture considérée, et devraient diminuer au-delà dans certaines régions. Aux latitudes plus basses, particulièrement dans les régions ayant des saisons sèches et dans les régions tropicales, les projections montrent des rendements agricoles décroissants, même pour de faibles augmentations locales de température (1 à 2° C), ce qui augmenterait les risques de famine. Globalement, le potentiel de production alimentaire devrait croître avec l'augmentation de température moyenne locale pour une gamme de 1 à 3° C, mais au-dessus de ces valeurs, il devrait diminuer.

Une illustration précise peut être tirée de la synthèse par les auteurs du chapitre 5 de ce Groupe de travail II, qui fait bien apparaître ces caractéristiques pour le blé et le maïs en fonction du réchauffement, analysés séparément pour les zones tempérées et les zones tropicales, et avec indication du potentiel d'adaptation (Easterling et al. 2008) (fig2). En milieu tropical, l'absence d'effet réellement posi-

tif est liée à la prépondérance des plantes en C4 et à l'impact négatif de l'élévation des températures (raccourcissement du cycle et basculement du fonctionnement photosynthétique vers des gammes thermiques défavorables). La grande variabilité des résultats semble davantage provenir des scénarios climatiques que des modèles de culture : transition ou à l'équilibre (550 ou 750 ppm de CO₂), variabilité climatique actuelle du même ordre de grandeur que la perturbation prévue, prise en compte ou non de la dissymétrie de réchauffement entre températures minimale et maximale, résolution spatiale du modèle climatique, prise en compte ou non des effets cumulatifs d'une année sur l'autre pour les scénarios de transition.

Dans ce contexte général, l'agriculture européenne correspond pour l'essentiel au cadre géographique des régions tempérées, avec cependant une différenciation majeure entre les pays plus froids du nord de l'Europe



et ceux plus chauds du sud, ce contraste se retrouvant clairement dans le cas de la France qui se situe assez bien à la charnière de ces deux grandes zones climatiques. Les simulations effectuées pour le blé et le maïs (Delecolle et al 1999, Seguin et al 2004) font apparaître un effet légèrement positif dans le nord, même sans adaptation (de l'ordre de 10%), alors que des chutes de rendement dans le sud peuvent apparaître, avec les effets combinés de températures excessives et de la sécheresse. Pour les prairies, dans le cas du Massif central, Soussana (2001) fait état d'une production fourragère augmentée de 20% qui permettrait d'augmenter d'autant le chargement animal, sous réserve que la pluviométrie ne soit pas trop diminuée. A priori, les grandes cultures et les prairies devraient être plutôt favorisées, sauf dans le sud où apparaît le risque de sécheresses accentuées, accompagnées de températures élevées.

Pour les arbres fruitiers et la vigne, l'avancée généralisée de la phénologie peut poser des problèmes de risque de gel au moment de la floraison, et de qualité par avancée des stades sensibles (Domergue et al 2004) (fig 3).

Pour les forêts, le schéma général est assez semblable : stimulation de la photosynthèse par l'accroissement du CO₂ atmosphérique, allongement de la saison de croissance et températures plus favorables vont donner, dans un premier temps, des conditions de croissance plus favorables pour les forêts tempérées, à l'inverse des forêts tropicales. Par contre, pour des valeurs de réchauffement plus élevées (de l'ordre de 2 à 3°C), le mouvement va s'inverser et la productivité des forêts tempérées diminuera, alors que celle des milieux tropicaux sera fortement réduite par l'effet combiné des fortes températures et de la sécheresse accentuée. Ce schéma général est bien illustré par les projections sur la forêt française effectuées dans le cadre du projet Carbofor soutenu par le projet GICC (Loustau et al. 2004) : les modèles de fonctionnement des couverts forestiers montrent que la stimulation de la croissance des arbres par la seule réponse de la photosynthèse brute à l'augmentation du gaz carbonique devrait atteindre environ 40 %, pour l'ensemble de la phase juvénile. Ce chiffre est plus élevé chez les feuillus que chez les résineux. Lorsque, à l'aide des modèles, on combine ces effets à ceux des modifications climatiques, on obtient, comme pour les cultures, des résul-

Evaluation du pourcentage de dégâts de gel sur les productions fruitières pour différents scénarios climatiques (Avignon)

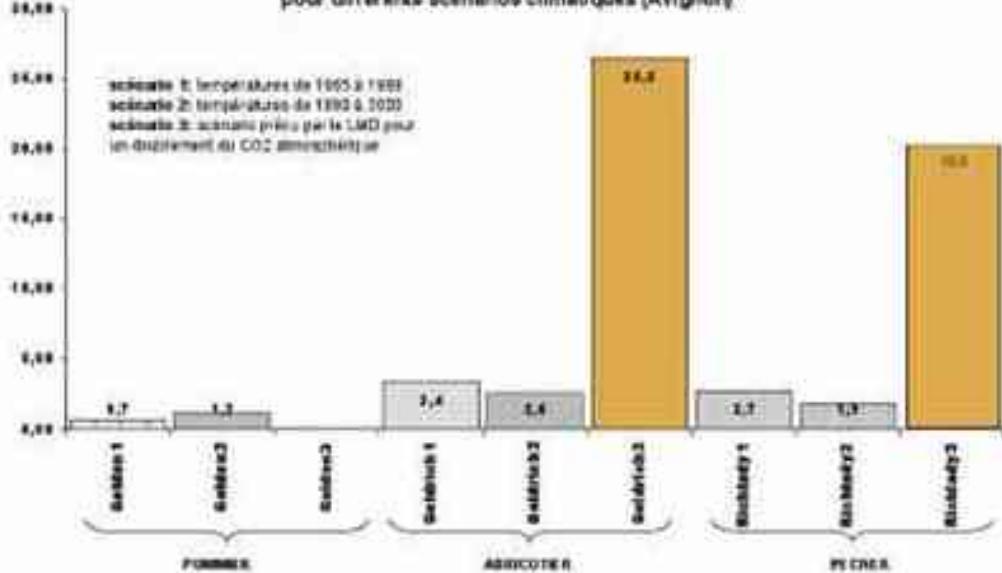


Figure 3 : effet du réchauffement climatique sur les dégâts de gel simulés pour 3 productions fruitières sur le site d'Avignon (pommier, abricotier, pêcher)

tats contrastés suivant les espèces et les régions. Le débourrement serait plus précoce de 6 à 10 jours pour les feuillus, et de 15 à 20 jours en moyenne pour le pin maritime. Pour le pin sylvestre et l'épicéa, qui ont des besoins en froid plus élevés, l'avancée du débourrement ne serait perceptible qu'en altitude ; en plaine il y aurait un retard. Pour toutes les espèces, le risque de gel tardif serait diminué. Au total, si la production nette en France devrait bien augmenter, l'augmentation se situerait nettement en dessous des chiffres donnés par le seul effet de stimulation de la photosynthèse (de 2 à 15 %), avec surtout une forte variabilité suivant les localisations en fonction des conditions hydriques et thermiques locales et de la fertilité des sols. Les effets prédicts sont globalement positifs dans le Nord de la France pour les feuillus sociaux avec une réponse décroissante de l'Est vers l'Ouest, la façade Nord-Ouest présentant même une anomalie de production nette négative. Dans le Sud Ouest ils sont positifs en début de siècle puis s'inversent avec une anomalie négative augmentant vers l'intérieur des terres en fin de siècle. En zone méditerranéenne, l'accentuation de sécheresse estivale conduirait aux mêmes effets négatifs, renforcés par l'augmentation des risques d'incendie. Outre l'aggravation du risque météorologique dans les régions affectées traditionnellement, il faut s'attendre à une extension géographique vers des régions qui n'y sont, ni préparées, ni habituées (Rigolot 2008).

Les moyennes et les extrêmes

Les éléments qui viennent d'être présentés s'appuient uniquement sur les valeurs moyennes des facteurs climatiques. L'éventualité d'événements extrêmes et, de façon plus large, la prise en compte de la variabilité de ces facteurs pourraient conduire à des impacts différents de ce réchauffement moyen continu par le dépassement de valeurs-seuils encore mal cernées. C'est assez évident pour les sécheresses (comme l'ont récemment montré 2003, puis 2005 et 2006) ou les fortes pluies (qui affectent l'agriculture par l'érosion et l'inondation des parcelles), mais c'est également vrai pour la température. D'abord par ses valeurs basses pour les gels d'hiver ou de printemps (évoqué ci-dessus) ; si les scénarios s'accordent pour prévoir des hivers plus doux en moyenne, l'éventualité d'épisodes de froid dévastateur (tels qu'en 1956 ou en 1987) pour les oliviers, les agrumes ou le mimosa n'est pas à écarter, alors que les seules températures moyennes leur permettraient de

remonter vers le Nord le long de la vallée du Rhône, par exemple. Ensuite par les températures élevées : la fréquence des canicules, avec des températures dépassant les 35°C, est prévue comme devant atteindre une année sur deux vers 2050 (Planton 2005), et la tolérance des écosystèmes actuels, qu'ils soient cultivés ou naturels, est bien mal connue.

Enfin, pour les forêts, et comme cela a été clairement démontré par les épisodes de 1999, puis 2008, les tempêtes sont à coup sûr un élément majeur à prendre en compte, tant elles sont capables de mettre à bas en quelques instants une part significative de la production forestière accumulée sur plusieurs années. A ce niveau, et un peu comme pour les ouragans, le débat est encore ouvert chez les spécialistes sur leur renforcement dans le cadre du changement climatique ; mais il faut de toute évidence adapter la sylviculture, comme on doit l'adapter aux situations de sécheresse persistante, comme cela a été le cas dans le sud-est de 2003 à 2008 (voir le numéro spécial de *Forêt méditerranéenne* 2008).

Récoltes et vendanges : le passé récent, préfiguration de l'avenir ?

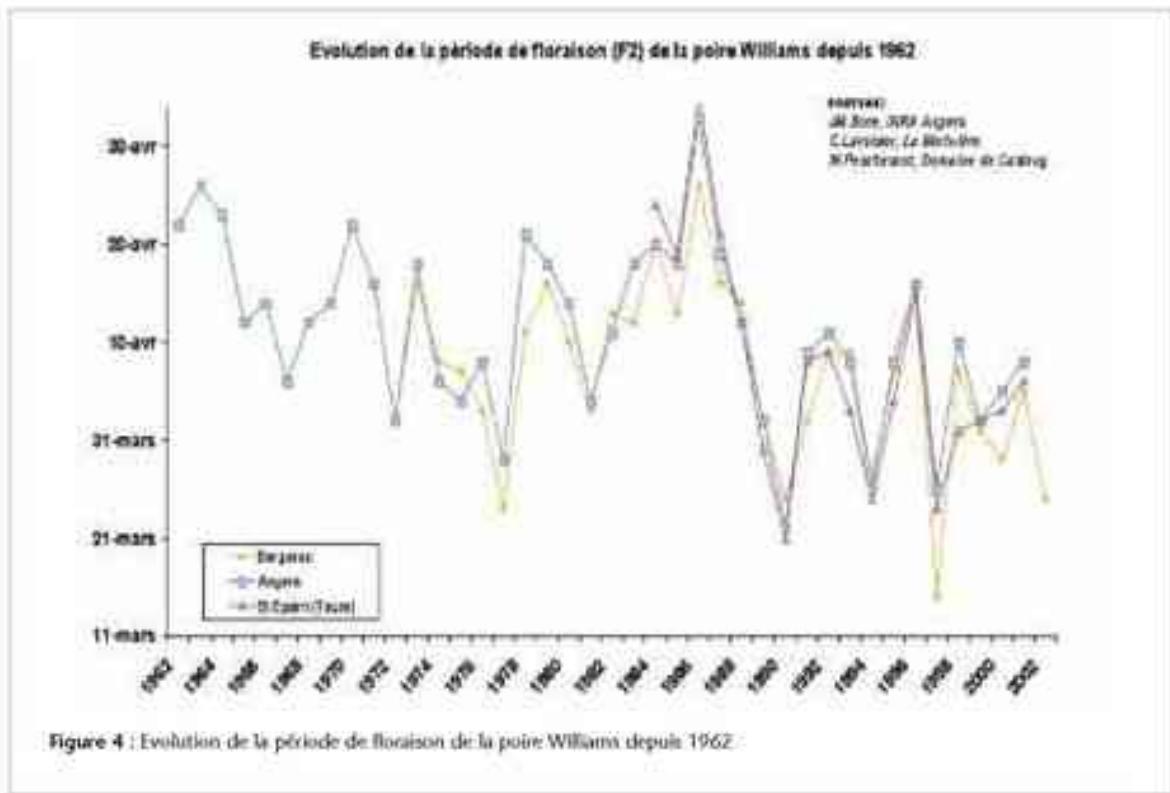
Comme le climat, et en partie à cause de lui, les écosystèmes terrestres, surtout s'ils sont cultivés, conjuguant une variabilité à différentes échelles temporelles et une évolution à long terme qui traduit un déplacement de l'état d'équilibre qui permet de le considérer comme stationnaire sur une période donnée. L'attribution d'un changement au réchauffement climatique récent attesté par le 4^e rapport du GIEC n'est pas une question scientifique facile, d'une part parce que de nombreux facteurs autres que le climat agissent sur les réponses des différents secteurs, d'autre part parce que les impacts éventuels ne se répercutent pas forcément en réponse immédiate au forçage climatique, et qu'un temps de latence de durée variable caractérise l'inertie de différents systèmes.

Au niveau global, les effets observés peuvent être résumés ainsi : pour l'agriculture et la forêt, une avancée similaire de la phénologie en Europe et en Amérique du nord, avec une saison de végétation sans gel allongée maintenant confirmée par des observations satellites. En dehors de l'avancée systématique des dates de floraison des arbres fruitiers, l'illustration la plus

nette se situe en viticulture : l'ensemble des régions viticoles de ces mêmes zones montre une avancée des stades phénologiques, qui se répercute sur les dates de vendange, ainsi qu'une augmentation de la teneur en sucre et du degré alcoolique qui conduit, pour les vingt dernières années, à des vins généralement de haute qualité. Ces tendances sont confirmées au niveau européen (EEA 2004), avec une augmentation de la saison de végétation de 10 jours entre 1962 et 1995 et de la productivité de la végétation de 12%, et la migration de plantes vers le nord et vers le haut (diversité ennechie de l'Europe du nord-ouest et en montagne pour 21 de 30 sommets alpins).

Au niveau français, les agriculteurs et les éleveurs font état d'une modification des calendriers cultureaux qui pourrait être liée à cette particularité climatique, d'ailleurs confirmée par des analyses récentes sur les dispositifs expérimentaux de l'Inra (pratiquement un mois d'avance depuis 1970 sur les dates de semis du maïs pour quatre sites couvrant l'ensemble du territoire), mais il n'a pas encore été possible de l'apprécier de manière objective, pas plus que d'évaluer son poids

éventuel dans l'évolution récente des rendements. Par contre, l'analyse des données phénologiques sur les arbres fruitiers et la vigne, cultures a priori beaucoup moins dépendantes sur ce point des décisions culturelles, a permis de mettre en évidence des avancements significatifs de stades tels que la floraison des arbres fruitiers (une dizaine de jours en trente ans sur des pommeiers dans le sud-est, (fig. 4) (Seguin et al 2004) ou la date de vendange pour la vigne (presque un mois dans la même région au cours des cinquante dernières années (Ganichot 2002, voir figure 5). Pour la vigne, l'augmentation de température moyenne s'est traduite par des conditions globalement plus favorables, avec moins de variabilité interannuelle pour tous les vignobles français, qui ont permis une augmentation de la teneur en alcool (de 1 à 2 degrés) et une diminution de l'acidité (voir Duchêne et Schneider 2004 pour l'Alsace), suffisamment accentuée ces dernières années pour commencer à poser des problèmes aux viticulteurs. Outre le fait que la tendance est plutôt à rechercher une baisse de la teneur en alcool, jusqu'où sera-t-il possible de garder la typicité qui fait la réputation de certaines productions ?



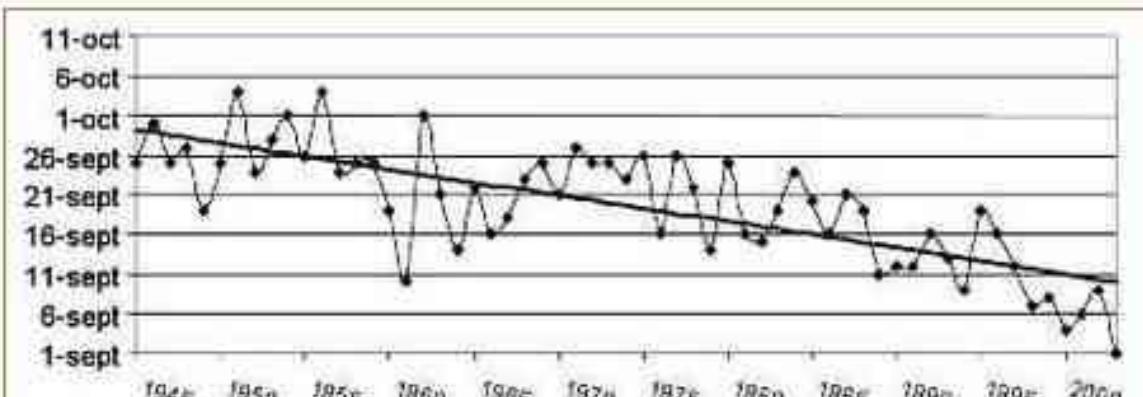


Figure 5 : Evolution des dates de vendange à Châteauneuf-du-Pape (Ganicheot 2002)

La même avancée phénologique est également détectable pour les forêts, qui ont aussi notablement augmenté leur productivité depuis 1960 (de l'ordre de 30 à 40 %), sans qu'il soit encore possible de séparer les effets de l'augmentation du gaz carbonique, du réchauffement ou des dépôts atmosphériques d'azote dans cette augmentation. Il faut aussi noter les premières observations de modification de la fréquence de certaines espèces dans les forêts françaises (Cluzeau et al. 2001) et européennes (Köhl et Walther 1999) qui pourraient être reliées au réchauffement climatique récent. De façon générale, on constate que les espèces à feuilles persistantes et larges ont eu tendance à progresser au cours des dernières années. Le houx, par exemple a vu sa surface d'extension doubler dans les Ardennes entre les années 1980 et 1990, d'après les données de l'inventaire forestier national. Cette espèce est bien connue pour être régulée par la fréquence et l'importance des gels hivernaux. La limite de son aire de répartition en Europe peut-être reliée de façon satisfaisante à la température moyenne du mois le plus froid de l'année. Dans les Ardennes, où on est proche de cette limite de présence de l'espèce, la température du mois le plus froid a augmenté de plus de 2°C pendant la décennie étudiée, passant de valeurs négatives à des valeurs positives. Quelques observations commencent à être publiées dans la littérature internationale à propos de migrations géographiques : ainsi pour l'étude de (Lenoir et al. 2008) qui ont détecté une tendance vers le haut de l'ordre de 29 m par décade pour l'altitude optimale de 171 plantes forestières dans les montagnes de l'ouest de l'Europe. Comme l'indiquent Dupouey et Robin (2007), il s'agit pour le moment de cas emblématiques, mais pas encore d'un processus massif.

Au niveau des insectes, il apparaît encore peu de signes indiscutables dans le domaine de l'agriculture, car l'extension bien documentée vers le Nord et en altitude de la chenille processionnaire concerne le pin et donc la forêt. Il a seulement pu être observé une évolution sur le cycle du carpocapse des pommes, qui a vu l'apparition d'une troisième génération, et une augmentation de la diversité des populations de pucerons, accompagnée d'une précocité accrue des périodes d'activité. A l'inverse, on a pu noter une extinction (temporaire) du phorme du tournesol dans le sud-ouest, brièvement dépassé par l'augmentation des températures supérieures à 32°C. Cet éradiqué après la canicule de 2003.

Au-delà des bouleversements des systèmes écologiques complexes que représentent les relations entre hôtes, il faut également prendre en compte la possibilité de mouvements géographiques rapides qui amènent certaines maladies ou ravageurs, véhiculés par les moyens modernes de transport, à s'installer dans des régions où les conditions climatiques le leur permettront. D'où les interrogations actuelles sur des maladies émergentes dans le monde animal (fièvre du Nil sur les chevaux en Camargue, fièvre catarrcale), mais aussi végétal : une mouche blanche (*Bemisia tabaci*) originaire des régions subtropicales a été repérée depuis une dizaine d'années en Europe, et a nécessité des mesures drastiques pour éviter sa prolifération et la transmission de virus dans les cultures sous serre du Sud. Quel est le rôle du réchauffement climatique dans ces évolutions ? Difficile à dire à l'heure actuelle, mais la question est posée.

L'adaptation : changer sur place ou se déplacer ?

Les perspectives présentées plus haut ont, pour le moment, surtout considéré les systèmes tels qu'ils sont pratiqués actuellement. Mais, en admettant implicitement leur stabilité géographique, une marge appréciable d'adaptation apparaît possible en mobilisant l'expertise agronomique ou sylvicole au sens large pour les adapter aux conditions climatiques modifiées (recours au matériel génétique approprié, mise au point d'itinéraires techniques adaptés, ajustement de la fertilisation et de l'irrigation, etc...). De façon générale, on peut estimer que l'adaptation des grandes cultures pourrait s'effectuer sans trop de problèmes, dans la mesure où les années passées ont montré la capacité des agriculteurs à les faire évoluer rapidement en fonction, en particulier, des contraintes résultant de la PAC. De même pour les prairies et l'élevage. Il faut cependant relativiser cette vision optimiste sur une capacité d'ajustement rapide (quelques années), en soulignant une fois de plus les incertitudes actuelles sur la pluviométrie et le bilan hydrique. Pour les cultures pérennes, si le diagnostic sur l'adaptation des systèmes de culture reste identique dans ses grandes lignes, la capacité d'adaptation paraît moins forte. Elle nécessite de prendre en compte une durée plus longue, de l'ordre de dix à vingt années. D'ores et déjà, pour les arbres fruitiers, devant les évolutions phénologiques constatées, il faut se préoccuper maintenant du choix du matériel végétal adapté. Quant à la vigne, elle pose des problèmes spécifiques, à cause du lien au terroir (Seguin et Garcia de Cortazar 2005).

Au-delà de ce premier niveau, il doit être envisagé cependant un deuxième niveau d'adaptation, passant par un déplacement géographique des zones de production ou de plantation. A l'heure actuelle, il n'apparaît pas encore de signe tangible de déplacement géographique des systèmes de production. Et pourtant, le réchauffement observé équivaut, sur le siège, à un déplacement vers le Nord de l'ordre de 180 km ou en altitude de l'ordre de 150 m. Ce qui traduit la plasticité déjà évoquée, mais jusqu'où et jusqu'à quand ? On peut donc légitimement envisager l'éventualité de la remontée (vers le Nord ou en altitude) de certaines cultures, ou l'introduction de nouvelles cultures au Sud. Dans le premier cas, à l'échelle de l'Europe, on peut envisager de voir le pois et le colza remonter jusqu'en Scandinavie et Finlande, le maïs-grain (et la vigne !)

s'étendre vers la Grande-Bretagne, les Pays-Bas ou le Danemark, ainsi que vers l'est (Pologne, etc.), le soja et le tournesol suivre de près cette progression. Pour le sud, s'il ne paraît pas impossible d'envisager techniquement la possibilité d'une extension de l'aire de culture du coton et l'apparition de cultures tropicales comme l'arachide, leur opportunité économique apparaît faible actuellement. C'est plutôt la menace sur la ressource en eau qui représente l'élément essentiel: si la tendance des scénarios à une diminution de la pluviométrie estivale (de l'ordre de 20 à 30%) autour du bassin méditerranéen est confirmée dans le futur, elle pourrait entraîner un abandon de l'agriculture dans certaines zones traditionnelles de culture en sec, et une tension accrue sur l'utilisation de l'eau entre les différents utilisateurs, au détriment de l'irrigation.

Dans l'hypothèse de déplacements géographiques, la nature du lien avec le caractère local jouera un grand rôle : s'il apparaît possible, a priori, de cultiver du blé ou du maïs dans des régions différentes, cela n'irait pas de soi pour les productions plus typées (au premier rang, évidemment la vigne) dont une grande partie de la valeur ajoutée provient de l'existence d'une zone d'appellation ou d'un terroir. Dans la mesure où la notion de terroir implique une étroite adéquation entre le milieu physique (sol et climat), les variétés (cépages pour la vigne) et les techniques culturelles, elle implique évidemment un risque de fragilité particulière par rapport à une évolution du climat. Il n'est pas envisageable de délocaliser les AOC (Appellations d'origine contrôlée) ! Par ailleurs, la période de sensibilité de la vigne à la température pour la qualité (en général, floraison-maturité) se situe en plein été où le réchauffement prévu est maximum, et l'avancée de ce stade de fin août à mi-juillet accentue encore l'effet à cette période, qui peut atteindre 6 à 8°C pour un réchauffement annuel de 2 à 3°C. Malgré ces interrogations, l'année 2003 a été plutôt rassurante sur ce point: la conjonction de la sécheresse et de la canicule a eu des effets négatifs par certains aspects, mais la vigne a démontré sa capacité d'adaptation à ces conditions exceptionnelles. L'adéquation à la typicité traditionnelle paraît encore pouvoir être assurée pour un réchauffement modéré (2 à 3°C), en conjuguant des efforts sur le mode de conduite et le microclimat. Au-delà, s'il atteint 4 à 5°C, la seule issue pour conserver la typicité traditionnelle serait, quand c'est possible, de jouer sur l'altitude et le relief. Autrement, l'évolution vers des cépages plus

méridionaux est une solution technique envisageable à terme, mais plutôt pour les terroirs de climat froid.

La gestion des forêts

Au niveau des forêts, des travaux récents, toujours menés dans le cadre du projet Carbofor évoqué plus haut, ont permis d'établir des cartographies des potentialités des différentes formations, dans l'hypothèse du réchauffement prévu par les scénarios climatiques. La distribution des aires géographiques potentielles des essences sur le territoire national telle qu'elle est projetée au travers du scénario climatique (Badeau et al 2007) fait apparaître un déplacement des groupes d'essences méridionaux vers le Nord et vers l'Est (Fig. 6). Les groupes montagnards et continentaux tendent à régresser fortement. Le cas de l'optimum climatique du hêtre qui est réduit à l'extrême nord-est du territoire national en 2100 est emblématique à cet égard. Cette conclusion confirme les résultats prédicts en termes de fonctionnement et de production. Les espèces les plus sensibles et donc vulnérables sont les espèces en limite Sud de leur aire naturelle ou celles supportant mal la sécheresse.

Il est opportun de noter que l'évolution prédictive se situe dans un laps de temps de 100 ans, du même ordre de

grandeur que la durée de révolution de la plupart des espèces forestières concernées et de rappeler le relatif optimisme du scénario climatique qui a servi de support à cette étude, basé sur une hypothèse d'accumulation en gaz à effet de serre plutôt lente comparée à d'autres scénarios considérés par le GIEC. Les travaux sur la génétique des principales espèces forestières tempérées ont mis en évidence récemment la capacité d'adaptation génétique importante et rapide du cortège d'espèces «chênes tempérés», mises en œuvre par exemple au cours de la dernière colonisation post-glaciaire ou consécutive à l'introduction d'espèces comme le chêne rouge (Kremer et Petit 2001). Néanmoins, la question est posée de savoir si ce potentiel d'adaptation pourra effectivement s'exprimer dans le contexte de la forêt européenne majoritairement gérée, morcelée et partiellement artificialisée. Par ailleurs, la plupart des essences résineuses ont un potentiel génétique adaptatif beaucoup plus faible dans ce contexte, par leur vitesse de migration réduite et leur diversité génétique moindre. Les arborets et les divers tests de survie et de performances d'espèces ou de provenances déjà installés en dehors de leur aire de distribution actuelle pourraient fournir des informations précieuses.

Concernant la production et le cycle du carbone, l'extension de la forêt méditerranéenne, de productivité

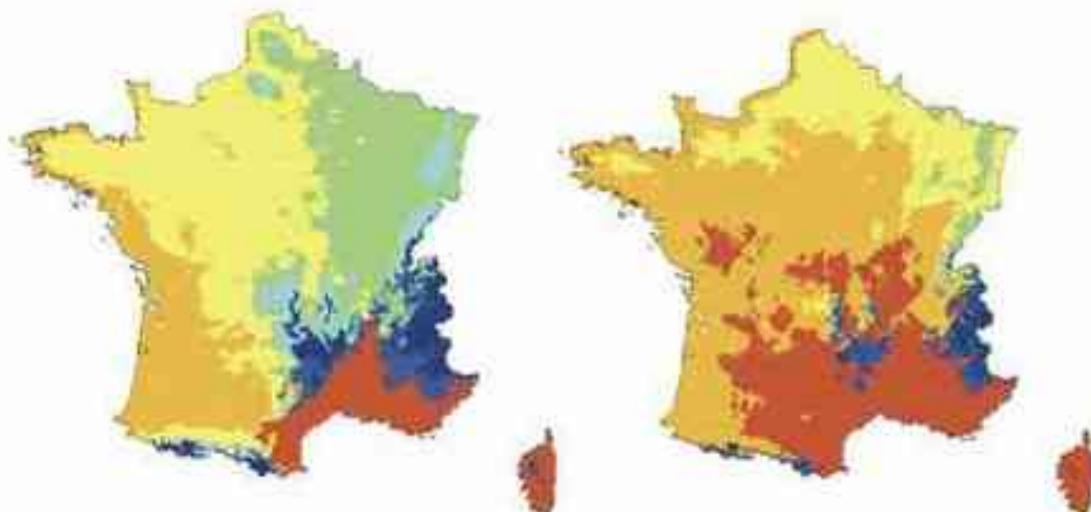


Figure 6 : Répartition géographique de 7 groupes estimée par analyse discriminante (A à gauche) en fonction du climat actuel et (B à droite) projetée en 2100 suivant le scénario climatique prévu par le modèle ASPEGE (Météo-France) utilisé dans le projet CARBOFOR (Badeau et al. 2007).

faible se ferait au détriment des forêts de production atlantique (les Landes de Gascogne) et des forêts de feuillus sociaux de plaine où se concentre actuellement le stock de biomasse sur pied le plus important. Les scénarios de gestion intensifs (révolutions courtes) et les stations les plus fertiles sont les plus sensibles au changement climatique analysé, aussi bien en positif qu'en négatif. Les cartes de production potentielle simulées par un modèle générique sur le territoire métropolitain entier confirment l'importance de ces interactions (Loustau et al. 2004). D'où l'importance de mettre au point et proposer des scénarios de gestion sylvicole d'adaptation à ces changements au niveau local (Legay et al. 2007) jouant par exemple sur un ajustement de la composition spécifique, en classe d'âge ou génétique d'un peuplement ou d'une population d'arbres au cours de sa vie et éventuellement sur les facteurs du milieu interagissant avec le changement climatique.

Un point complémentaire concerne les maladies et ravageurs dont les aires d'extension peuvent se modifier et par suite handicaper certaines productions (dans le cas des forêts, voir Roques et Negeisen (2007) pour les insectes et Marçais et Desprez-Loustau (2007) pour les maladies). Il existe encore peu d'études prospectives, sans doute parce que les relations avec le climat sont moins clairement établies que pour les productions végétales, il a été possible dans certains cas de pronostiquer l'extension de certaines maladies: c'est le cas de l'encre du chêne (Marçais et al. 2004) et plus généralement des maladies provoquées par des pathogènes limités par les basses températures, ainsi que de la chenille processionnaire, dont la limite au nord et en altitude a déjà évolué en lien avec le réchauffement récent (Battisti et al. 2005).

Conclusion

Les observations récentes attestent, au minimum, d'un réchauffement significatif depuis 1860 au niveau global, avec une accentuation marquée depuis les années 1980. Il est évidemment variable à la fois dans le temps et dans l'espace, mais la tendance générale paraît indiscutable et bien établie par les impacts directs ou indirects sur les milieux naturels et certaines activités humaines. Il est maintenant fortement probable qu'il

soit causé par l'augmentation de l'effet de serre évalué dans les modèles climatiques, comme l'a établi clairement le rapport du GIEC de 2007. A l'issue de cette revue, plusieurs commentaires finaux nous paraissent de nature à accompagner ce diagnostic, par rapport à l'agriculture et la sylviculture dans le contexte français :

- les observations prennent en compte essentiellement les effets moyens du réchauffement observé depuis une vingtaine d'années (avec, pour les conséquences sur la phénologie, une rupture diagnostiquée à la période 1985-1989). Bien sûr, en complément de cette tendance de fond, les années récentes ont vu se manifester des événements climatiques que l'on peut qualifier d'exceptionnels (par leur écart avec les valeurs normales ou moyennes), avec en premier lieu la canicule et sécheresse de 2003, mais aussi les sécheresses ultérieures (en particulier 2005 et 2006), puis l'hiver doux de 2006. Manifestement, ces épisodes ont des impacts instantanés (ou même plus tardifs, compte-tenu des répercussions ultérieures) d'un ordre de grandeur égal ou notablement supérieure à celui de l'évolution moyenne. Il est certain que celle-ci sera déterminante à long terme, mais que la variabilité et son évolution, en termes d'événements extrêmes jouera un rôle tout aussi important dans le futur. C'est, sans doute, à l'heure actuelle, le facteur limitant pour prétendre pronostiquer ou préfigurer l'impact du changement climatique sur les écosystèmes en général, et cultivés en particulier.

- quelle que soit l'action collective sur les émissions de GES, il apparaît maintenant très peu probable d'échapper à un réchauffement global d'au minimum 2 à 3°C pour la fin du siècle, et en conséquence inévitable de prévoir des mesures d'adaptation (Howden et al., 2007), évidemment variables suivant les productions et les régions, mais qui auront un socle commun. Celui-ci sera, pour partie, technique (avec une forte interaction entre la génétique et les pratiques culturales), mais devra évidemment tenir compte du contexte économique et social. Ainsi pour la question cruciale de l'utilisation de l'irrigation de complément, qui se pose maintenant avec des arguments techniques solides, mais dans un contexte délicat de compétition pour l'eau (Arnigues et al., 2006).

Il est maintenant bien établi que, par notre action dans les vingt à trente prochaines années, nous avons collectivement le choix d'aller vers un réchauffement encore modéré, de l'ordre de 2 à 3°C (à mettre en rapport avec une gamme de variation de la température moyenne annuelle de la France métropolitaine depuis 1900 d'amplitude 2°C d'après Météo-France) ou au contraire vers les 5°C si on prolonge la tendance actuelle. Les impacts du second cas de figure sont beaucoup plus difficiles à cerner, mais sont porteurs dans tous les cas de risques notamment amplifiés. L'impérieuse nécessité de limiter l'ampleur de la perturbation engendrée par l'augmentation des GES apparaît de plus en plus clairement.

Bernard Seguin

Directeur de recherche Inra, mission
«Changement climatique et effet de serre», Avignon

Références

- Amigues J.P., Debaeke P., Itier B., Lemaire G., Seguin B., Tardieu F., Thomas A., éditeurs, Sécheresse et agriculture. Adapter l'agriculture à un risque accru de manque d'eau. Expertise scientifique collective, synthèse du rapport, Inra (France), 72 pp., 2006.
- Badeau V., Dupouey J.L., Cluzeau C., Drapier J., Aires potentielles de répartition des essences forestières d'ici 2010, rendez-vous techniques de l'ONF, hors-série no3, «Forêts et milieux naturels face aux changements climatiques», 2007, p.62-66
- Battisti A., Stastny M., Schopf A., Roques A., Robinet C., Laesson S., Expansion of geographic range in the pine processionary moth caused by increased winter temperatures. *Ecological applications*, vol.15, 2005, p. 2084-2096
- Cluzeau C., Drapier J., Virion R., Dupouey J.L., Changements à long terme de la végétation forestière : apport des données de l'inventaire forestier national, Rapport final, Projet GIP-ECOFOR, Programme « Forêt et Modifications de l'Environnement », 2001.
- Delecolle R., Soussana J.F., Legros J.P., Impacts attendus des changements climatiques sur l'agriculture française. *C.R. Acad. Agric. Fr.*, vol. 85, 1999, p.45-51.
- Domergue M., Garcia de Cortazar I., Seguin B., Brisson N., Ripoche D., Le réchauffement récent du climat en France et ses conséquences sur l'agriculture. Actes du XVI^e colloque de l'Association internationale de climatologie, Varsovie (Pologne), 10-14 septembre 2003.
- Blazejczyk K., Adamczyk A.B. (éditeurs), *Acad. Pol. Sci. doc. geogr.*, vol 39, 2003, p. 85-88.
- Domergue M., Legave J.M., Calleja M., Moutier N., Brisson N., Seguin B. Réchauffement climatique : quels effets sur la floraison chez trois espèces fruitières ? *Arboriculture fruitière*, vol.578, 2004, p.27-33.
- Duchêne E., Schneider C., Grapevine arid climate change: a glance at the situation in Alsace. *Agron. for sust. dev.*, vol.25, 2005, p.93-99
- Dupouey J.L., Bodin J., Déplacements déjà observés des espèces végétales : quelques cas emblématiques, mais pas de migrations massives, rendez-vous techniques de l'ONF, hors-série no3, «Forêts et milieux naturels face aux changements climatiques», 2007, p.34-39
- Easterling, W., Aggarwal, P., Batima, P., Brander, K., Erda, L., Howden, M., Kirilenko, A., Morton, J., Soussana, J. F., Schmidhuber, J., Tubiello, F. Food, fibre, and forest products. In «Climate Change 2007: Climate Change Impacts, Adaptations and Vulnerability, IPCC Working Group II», Cambridge University Press, Cambridge, England, 2008.
- EEA, Impacts of Europe changing climate. An indicator-based assessment, EEA report no2/2004, 2004, 107 pp.
- Forêt méditerranéenne (2008). *Changements climatiques en forêt méditerranéenne*, tome XXIX, vol.2, 2008, 264 pp.
- Ganichot B., Evolution de la date des vendanges dans les Côtes du Rhône méridionales. Actes des 6^e Rencontres Rhodaniennes. Institut Rhodanien, Orange, France, 2002, p.38-41.
- IEC (2007a) : Climate change 2007: the physical science basis. Summary for policymakers. Contribution of Working Group I to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on climate change, website: www.ipcc.ch

- IEC (2007b): Climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability. Summary for policymakers. Contribution of Working Group II to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on climate change, website: www.ipcc.ch.
- Howden M., Soussana J.F., Tubiello F.N., Chtetri N., Dunlop M., Aggarwal P.K., Adapting agriculture to climate change, *PNAS*, vol 104, 2007, p.19691-19696.
- Klotzli F., Walther G.R. (eds.), Conference on recent shifts in vegetation boundaries of deciduous forests, especially due to general global warming, Birkhäuser, Basel, 1999.
- Kremer A., Petit R., L'épopée des chênes européens. *La Recherche*, vol. 342, 2001, p. 40-43.
- Legay M., Mortier F., Mengin-Lecreux P., Cordonnier T., La gestion forestière face aux changements climatiques: tirons les premiers enseignements; *rendez-vous techniques de l'ONF*, hors-série n°3, «Forêts et milieux naturels face aux changements climatiques», 2007, p.95-102.
- Lenoir J., Gégout J.C., Marquet P.A., de Ruffray P., Brisse H., A significant upward shift in plant species optimum elevation during the 20th century, *Science*, vol. 320, 2008, p.1768-1771
- Loustau D., ed., Séquestration de carbone dans les grands écosystèmes forestiers en France, rapport final du projet Carbofor, Inra Bordeaux-Pierrotin, 2004.
- Marçais B., Bergot M., Péramaud V., Lévy A., Desprez-Loustau M.L., Prediction and mapping of the impact of winter temperatures on the development of *P. cinnamomi* cankers on red and pedunculate oak, *Phytopathology*, vol. 94, 2004, p. 826-831.
- Marçais B., Desprez-Loustau M.L., Le réchauffement climatique a-t-il un impact sur les maladies forestières, *rendez-vous techniques de l'ONF*, hors-série n°3, «Forêts et milieux naturels face aux changements climatiques», 2007, p.47-52
- Olesen J.E., Bindi M., Consequences of climate change for European agricultural productivity, land use and policy, *Eur.Journ.Agronomy*, vol. 16, 2002, p. 239-262.
- Péramaud V., Seguin B., Malezieux, Déqué M., Loustau D., Agrometeorological research and applications needed to prepare agriculture and forestry adapt to 21st century climate change, *Climatic change*, vol.70, 2005, p.319-340.
- Reddy K.R., Hedges R.F., *Climate change and global crop productivity*, CABI Publishing, Wallingford, 2000.
- Rigolot E., Impact du changement climatique sur les feux de forêt, *Forêt méditerranéenne*, tome XXIX, vol 2, 2008, p.167-176
- Roques A., Negeisen L.M., Impact du réchauffement global sur les populations d'insectes forestiers, *rendez-vous techniques de l'ONF*, hors-série n°3, «Forêts et milieux naturels face aux changements climatiques», 2007, p.40-46
- Rosenzweig C., Hillel D., *Climate change and the global harvest*, Oxford University Press, Oxford, 1998.
- Seguin B., Garcia de Cortazar I., Climate warming : consequences for viticulture and the notion of terroir in Europe, *Acta Horticulturae*, vol. 689, 2005, p.61-71
- Seguin B., Brisson N., Loustau D., Dupouey J.L., Impact du changement climatique sur l'agriculture et la forêt. In «L'homme face au climat», actes du symposium du Collège de France, Paris, 12-13 oct 2004, ed Odile Jacob, 2006, p.177-204.
- Soussana J.F., Changement climatique. Impacts possibles sur l'agriculture et adaptations possibles, Demeter, Armand Colin, Paris, 2001, p.195-222.

Le groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat (GIEC) par Michel Petit

Avant-propos - A la suite des critiques qui lui ont été faites et que certains media ont largement relayées, il n'est pas inutile de rappeler ce qu'est le GIEC et la manière dont ses rapports sont préparés et approuvés. La mise en place du GIEC a été justifiée par l'existence antérieure de résultats scientifiques relatifs à :

- 1) la réalité physique incontestable de l'effet de serre dans le système climatique ;
- 2) la découverte que les concentrations atmosphériques de certains gaz à effet de serre sont en augmentation sensible à cause de la croissance des émissions de ces gaz liées aux activités humaines ; et
- 3) le risque croissant de provoquer ainsi un bouleversement du climat de la planète. Même si quelques erreurs ont été repérées dans ses rapports, le GIEC constitue un modèle de dialogue entre scientifiques et décideurs.

La raison d'être du GIEC

Les facteurs déterminant la température moyenne de notre planète sont connus depuis Joseph Fourier (1824). La température moyenne d'une planète s'ajuste à une valeur qui lui permet d'envoyer dans l'espace, sous forme de rayonnement infrarouge, une quantité d'énergie égale à l'énergie solaire qu'elle吸erce. Le rayonnement infrarouge rayonné dans l'espace dépend du rayonnement de la surface de la planète, donc de sa température, mais aussi de l'absorption par l'atmosphère dont la composition réagit donc sur la température moyenne de la surface. C'est ainsi que pour Vénus, la présence d'une atmosphère dense composée essentiellement de CO₂ joue un rôle clé dans l'explication de la température d'environ 450°C qui y règne.

Il y a une quarantaine d'années que l'évolution du climat mondial fait l'objet d'un effort de recherche spécifique. Le Programme mondial de recherche sur le climat (en anglais WCRP) a été créé conjointement par l'Organisation météorologique mondiale (OMM) et le Conseil international des unions scientifiques (CIUS ou, en anglais, ICSU) en 1980, pour faire suite au Programme mondial de recherche atmosphérique (en anglais GARP) entrepris dès 1967. Sous l'impulsion de Michel Aubry, alors mon adjoint à la direction du département des sciences de l'univers, le CNRS a d'ailleurs

Foreword - Following recent criticism of IPCC, abundantly reported in certain media, it appears necessary to recall just what the IPCC is and how its reports are prepared and approved. Organization of IPCC appeared imperative after scientific results had been obtained concerning :

- 1) *the role of the greenhouse effect in the climate system, which was and is a thoroughly established physical fact ;*
- 2) *the discovery that atmospheric concentrations of certain greenhouse gases (GHG) in the global atmosphere have been rising substantially because of growing GHG emissions linked to human activities ; and*
- 3) *the resulting growing risk of provoking dramatic global climate change. Even though some errors have been detected in its voluminous reports, the IPCC constitutes a model for dialog of scientists and decision-makers.*

organisé la participation française à ce programme en promouvant la création du Programme national d'étude de la dynamique du climat (PNEDC), faisant suite à l'Action de soutien programmé « Evolution des climats » lancée dès 1977 par la DGRST sous la présidence de Pierre Morel, plus tard Directeur du WCRP. De plus, le Programme international géosphère biosphère (IGBP ou, en anglais IGBP), fondé en 1986 par l'ICSU, a permis une analyse plus complète du rôle joué par les organismes vivants. Fédérés par ces programmes, des milliers de chercheurs dans tous les pays travaillent depuis lors sur la compréhension des phénomènes météorologiques et climatiques et confrontent leurs résultats.

Dès la fin des années 1980, l'immense majorité des scientifiques travaillant sur le sujet ont acquis la conviction que les changements de composition de l'atmosphère terrestre provoqués par les rejets humains dans l'atmosphère de gaz, à longue durée de vie, absorbant le rayonnement infrarouge (dioxyde de carbone, méthane...) risquaient de provoquer un bouleversement du climat de la planète, si la croissance des émissions se poursuivait au rythme observé. Ils ont donc estimé de leur devoir d'attirer l'attention des décideurs sur ce risque, en les informant de l'état des connaissances scientifiques. C'est sous leur impulsion que le groupe intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) a été créé en 1988 par

l'Organisation météorologique mondiale (OMM) et le Programme des nations unies sur l'environnement (PNUE). Sa mission est de faire un état objectif des connaissances sur l'évolution du climat et sur les possibilités d'en atténuer les conséquences et d'en limiter l'ampleur. La décision de le mettre en place ne résulte donc pas de l'activisme des mouvements écologistes, mais des résultats des études menées par les scientifiques.

Bien évidemment, ces derniers n'ont aucune légitimité pour prendre des décisions à la place des instances démocratiquement élues. Leur rôle doit se limiter à fournir des indications scientifiques, politiquement pertinentes et en aucun cas, il ne doit être de faire des recommandations d'actions. Cette règle d'or du GIEC (*be policy relevant, never policy prescriptive*) est scrupuleusement respectée, ce qui n'empêche pas les partisans comme les adversaires des mesures de lutte contre le changement climatique de parler régulièrement, à tort, des «recommandations du GIEC». D'une façon plus générale, on reproche souvent au GIEC des affirmations qui ne figurent dans aucun de ses rapports et qui lui sont indûment attribuées.

Un modèle de dialogue entre les scientifiques et les décideurs

La structure permanente du GIEC ne comprend qu'une dizaine de personnes remplissant des fonctions administratives. Les rapports sont rédigés bénévolement par des scientifiques qui acceptent de consacrer une partie de leur activité à cet exercice. Ils restent impliqués dans la recherche et mettent en jeu leur crédibilité de chercheur, en étant nommément désignés comme auteurs de leur chapitre. D'un rapport au rapport suivant, le renouvellement dans la liste des auteurs est important et le GIEC ne peut être qualifié «d'organisation monolithique». Dans ce même numéro, Hervé Le Treut rappelle justement que la notion de membre du GIEC n'a aucun sens. Il précise également que les rapports du GIEC font l'objet de deux versions préliminaires successives, chacune étant soumise à une expertise collective impliquant tous les scientifiques qui le souhaitent et qui se font désigner soit par un gouvernement soit par une organisation non gouvernementale ayant un statut d'observateur. Si certaines d'entre elles sont d'obédience écologique, d'autres sont clairement

issues de la mouvance des producteurs de carburants fossiles, ce qui assure une représentation de toutes les tendances possibles.

Les rapports du GIEC ont pour unique objet de faire l'état des connaissances scientifiques, en exposant les points de vue contradictoires, à chaque fois qu'ils existent. Le consensus dont ils font l'objet ne porte donc pas sur une sorte de vérité scientifique moyenne, qui effectivement n'a aucun sens, mais sur une présentation de la totalité des résultats obtenus et de leurs divergences éventuelles. En ce sens, ils présentent une certaine similitude avec les communications de synthèse (*synthesis papers*) qui sont couramment au programme de colloques scientifiques. Ils en diffèrent sur un point : ils sont destinés à des non-spécialistes, décideurs et grand public.

La mission du GIEC est en effet de traduire dans un langage compréhensible pour les décideurs les connaissances et les incertitudes scientifiques que ces derniers doivent prendre en compte dans leurs décisions. Il n'est donc pas anormal que le groupe soit intergouvernemental et que les membres des assemblées plénaires soient des représentants des gouvernements. Le contenu de chaque rapport fait l'objet d'un résumé à l'attention des décideurs d'une quinzaine de pages, qui est approuvé mot à mot par l'assemblée plénière. Néanmoins, les scientifiques conservent un rôle essentiel : lorsqu'une proposition d'amendement rencontre l'opposition des auteurs concernés qui estiment qu'elle n'est pas conforme aux résultats scientifiques, elle est considérée comme non recevable. Les différents chapitres des rapports ne font pas l'objet d'un examen en séance et sont approuvés globalement, avec quelques modifications éventuelles à la marge pour les rendre cohérents avec le résumé. Le processus d'approbation ne conduit donc pas à altérer le message des auteurs.

Les critiques adressées au GIEC

Les attaques dont le GIEC a été l'objet ayant reçu un large écho médiatique, j'espère que la présentation ci-dessus facilite la compréhension de son fonctionnement et permet de se rendre compte qu'elles sont dénuées de tout fondement. Ainsi, tombent d'elles-mêmes des critiques maintes fois reprises, comme :

- « Le GIEC est un repère de fonctionnaires internationaux grassement payés ».
- « Le consensus scientifique des rapports du GIEC n'a aucun sens ».
- « Le GIEC est un lobby fermé ».
- « Comment croire à la crédibilité scientifique de rapports adoptés par des politiques ? »

De même, les discussions musclées entre scientifiques sur l'interprétation d'indicateurs permettant d'évaluer la température moyenne des époques lointaines ont été frauduleusement subtilisées dans une messagerie électronique et présentées comme une preuve de manipulations des données. Au-delà du procédé pour le moins discutable, aucune révélation concrète ne permet de justifier une telle accusation.

Le GIEC reconnaît effectivement une erreur commise dans une page parmi les milliers du dernier rapport de 2007. La fonte de la totalité des glaciers de l'Himalaya y était annoncée pour 2035, ce qui est évidemment faux. Il est difficilement compréhensible qu'une telle erreur ait pu échapper à la double procédure de revue et aux travaux préparatoires à l'assemblée générale concernée. C'est pourtant ce qui s'est produit, apportant une nouvelle preuve du vieil adage : l'erreur est humaine. Cette affirmation n'a pas été reprise dans le sommaire pour décideurs, alors qu'elle aurait mérité de l'être si elle avait été exacte. Elle est donc passée inaperçue de tous, jusqu'à ce qu'elle soit relevée à la veille du sommet de Copenhague. Pour regrettable qu'elle soit, cette erreur ne remet pas en cause les conclusions essentielles du GIEC, portant en particulier sur le rôle probable des rejets de gaz à effet de serre dans le changement climatique observé et les risques importants de voir le phénomène s'amplifier.

A la suite de cet incident, une expertise sur les procédures du GIEC a été confiée à la fondation InterAcademy-Council. On ne peut que se réjouir de voir un organisme indépendant, issu des académies des sciences, se pencher sur le fonctionnement du GIEC qui devra prendre en compte les recommandations qui lui seront faites pour améliorer la qualité des rapports à venir.

L'offensive menée contre le GIEC s'apparente à la coutume antique qui consistait à exécuter le messager de mauvaises nouvelles. Tous ceux qui, pour des raisons

diverses, telles que la défense de leur discipline ou de leurs intérêts économiques, ou la réaction contre un certain intégrisme écologique, ou une référence au passé ignorant les développements récents de l'humanité en nombre et en capacité technologique, refusent de croire à l'existence d'un changement climatique substantiel d'origine humaine, se précipitent sur ce bouc émissaire accusé de travestir la réalité scientifique, alors que la quasi-totalité des scientifiques, spécialistes du sujet, pense au contraire que les rapports du GIEC sont le reflet fidèle de leurs travaux. Le GIEC paît également de propos excessifs de certains militants, allant bien au-delà de ses conclusions et confinant parfois au ridicule, comme la menace de voir s'éteindre l'espèce humaine.

Conclusion

Le succès du GIEC repose essentiellement sur le fait que, d'une part, la communauté scientifique concernée reconnaît dans son immense majorité que ses rapports constituent une bonne synthèse des travaux connus et que, d'autre part, les politiques suivent tout le processus et reçoivent tous les éclaircissements qu'ils souhaitent sur les interprétations possibles des résultats obtenus par les scientifiques. Il est remarquable que les deux derniers rapports aient été approuvés à l'unanimité et aient donc reçu l'aval de pays notoirement opposés à la réduction de l'utilisation des combustibles fossiles.

En dépit des critiques récentes, la valeur du dialogue entre scientifiques et société civile qui a été réalisé au sein du GIEC conduit à envisager d'adapter son modèle à l'analyse d'autres thématiques mondiales comme la protection de la biodiversité ou celle de l'océan.

Quelques documents sur Internet :

- M. Petit : Réponse aux arguments de ceux qui doutent de la réalité d'un changement climatique anthropique,
<http://www.clubdesargonautes.org/climat/cc/chap16.php>
- GIEC/IPCC : <http://www.ipcc.ch>
- En anglais (site canadien) :
<http://www.desmogblog.com>

Michel Petit
Ancien directeur de l'Insu,
ancien représentant de la France au GIEC

Lexique

Physique du système climatique

Impuretés cosmogéniques ou d'origine cosmique : poussières venant de l'espace, particules du vent solaire, du rayonnement cosmique galactique, etc.

Modifications anthropiques : modifications du système climatique dues aux activités humaines. Par exemple, pour l'atmosphère, le CO₂ ajouté, les émissions de dioxyde de soufre (SO₂) ou de suie, la pollution de plomb... Pour les surfaces émergées, modifications de l'utilisation des sols, déforestation et irrigation notamment, qui modifient notamment l'albédo (la réflectance) de la surface ainsi que les pertes de chaleur et d'eau par évaporation... Pour l'océan, diverses pollutions...

Forçages : flux d'énergie perturbant un état d'équilibre (réel ou hypothétique) d'un système physique. Dans le cas du système climatique, cela peut correspondre à une variation de l'irradiance solaire, à une modification de l'albédo planétaire (la fraction du rayonnement solaire incident réfléchi vers l'espace), à une modification de la transmission du rayonnement infrarouge émis par la surface vers l'espace (l'effet de serre). A côté des forçages naturels (solaire, cosmiques, volcaniques) il faut compter les forçages anthropiques qui sont ceux liés aux activités humaines.

Rétroactions : modifications des flux d'énergie dans le système, suite aux changements induits par les forçages. Les mécanismes des rétroactions climatiques impliquent notamment les processus du cycle de l'eau, et leurs effets radiatifs, comme en témoignent les variations passées de l'accumulation annuelle de neige polaire. Si un refroidissement augmente la couverture de neige et de glace, augmentant par là l'albédo de surface et diminuant l'absorption du rayonnement solaire, cela renforce le refroidissement. Si, ainsi, avec un réchauffement induit par un forçage solaire ou anthropique, si l'humidité absolue de l'air augmente, cela renforce l'effet de serre de la vapeur d'eau et donc le réchauffement. De telles rétroactions positives amplifient les réponses aux forçages. En revanche, le fait que l'émission du rayonnement infrarouge par la planète augmente généralement avec la température : ce fait, agit comme rétroaction négative, facteur de stabilité, limitant le réchauffement.

Circulation thermohaline : circulation océanique tridimensionnelle, avec des mouvements verticaux induits par les différences de densité des masses d'eau dues à des différences de température et de salinité. Ainsi l'eau très salée et très froide qui se forme dans les mers périgolaires coule vers le fond, pour être remplacée par une dérive en surface d'eaux moins froides venant de latitudes moins élevées.

Téléconnexions : Corrélation (ou anti-corrélation) entre la variabilité météorologique (pressions, températures, précipitations...) de variations climatiques importantes dans certaines dans différentes régions, en relation avec la propagation d'ondes stationnaires atmosphériques régions avec des variations dans d'autres régions éloignées. Ainsi, lors d'un événement El Niño, une sécheresse relative règne en Indonésie alors que les pluies sont abondantes au Pérou, l'hiver plus doux dans le Nord-Est de l'Amérique du Nord, les cyclones tropicaux moins fréquents dans le secteur Atlantique-Caraïbes, les tempêtes plus fréquentes en Californie...

Etudes des climats du passé

Rapports isotopiques

$\delta^{18}\text{O}$: proportion d'isotopes lourds d'oxygène (oxygène-¹⁸ ou ¹⁸O), dans un échantillon d'eau ou de glace, par rapport à la composition isotopique moyenne de l'eau de mer utilisée comme référence. Ce paramètre s'exprime en pour mille. Rappelons que l'oxygène ordinaire (¹⁶O) domine de très loin la composition des molécules H₂O de l'eau dans tous ses états, ou de la neige.

δD : De même pour proportion le deutérium, isotopes lourds de l'hydrogène (essentiellement ²H ou deutérium, composant de l'eau lourde). Le tritium (³H), radioactif, est beaucoup plus rare encore, par rapport à l'hydrogène ordinaire. ³H domine de très loin dans les molécules H₂O, comme partout dans le système solaire de l'eau ou de la neige.

Relation entre température locale de surface et rapport isotopique. Par exemple, à Vostok en hiver (avec une température de -45° C dans l'air à la surface), on observe que la neige présente un $\delta^{18}\text{O}$ de -45‰ : l'été, à -25° C, ce rapport $\delta^{18}\text{O}$ vaut -25‰.

LEXIQUE

Téphras (ou pyroclastes) : Matières solides ou liquides éjectées dans l'air ou l'eau par des éruptions volcaniques.

Paléothermométrie : détermination indirecte des températures du passé par différents moyens (rapports isotopiques, mesure de températures dans des forages profonds, cernes de croissance de certains arbres).

Thermomètre isotopique : Relation linéaire observée entre composition isotopique des précipitations et températures locales (Fig. 3C de l'article de Valérie Masson-Delmotte). Les reconstructions des températures passées en Antarctique sont effectuées en supposant que cette relation observée actuellement reste stable au

cours du temps. Cette hypothèse est soutenue par la modélisation théorique des isotopes stables de l'eau dans l'atmosphère dans les modèles du climat.

Climats et végétation

Débourrement : Eclatement et épanouissement des bourgeons (bourres) des arbres au printemps.

Phénologie : Etude des phénomènes périodiques du monde du vivant en relation avec les variations saisonnières du climat ; pour les végétaux, les différentes phases de croissance - germination, floraison, feuillaison, fructification et coloration des feuilles.

Pour en savoir plus

Bard, E. (dir.), 2006. *L'Homme face au climat*. (Symposium, Collège de France), Odile Jacob.

Fellous J.-L., Gautier C., 2007. *Comprendre le changement climatique*. Odile Jacob.

Hauglustaine D., Jouzel J., Masson-Delmotte V., 2008. *Atmosphère, atmosphère*. Le Pommier.

Jancovici, J.-M., 2005. *L'avenir climatique*. Le Seuil.

Jouzel, J., Debroise, A., 2007. *Le climat: jeu dangereux*. Dunod.

Jouzel, J., Lorius C., Raynaud, M., 2008. *Planète blanche, les glaces, le climat et l'environnement*. Odile Jacob.

Kandel R., Kandel, M., 2009. *La catastrophe climatique*. Hachette/Fayard.

Kandel, R., 2010. *Le réchauffement climatique*, (Que sais-je ? N° 3650, 4^e éd.) P.U.F.

Le Treut, H., 2009. *Nouveau climat sur la Terre : comprendre, prédire, réagir*. Flammarion.

Quelques sites Internet :

www.ademe.fr (Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie).

www.assemblee-nationale.fr/12/rap-info/i3021-t1.asp (Rapport de la mission d'information sur l'effet de serre).

www.cnrs.fr/dossiers/dosclim/ (CNRS, France).

www.ec.gc.ca (Environnement Canada).

www.eea.europa.eu (Agence européenne de l'environnement).

www.effet-de-serre.gouv.fr (Mission interministérielle de l'effet de serre, France).

eclimne.ipsl.jussieu.fr (fédération des recherches françaises dans le domaine de la modélisation du climat)

www.ipcc.ch (GIEC).

www.realclimate.org («blog» de scientifiques du climat).

www.unfccc.de (secrétariat, Convention-cadre de l'ONU sur les changements climatiques).

www.wmo.ch (Organisation météorologique mondiale)

La vie de l'Association

INTERNATIONAL

Coup d'envoi pour un club A3 Franco-Brésilien ?

*Chaque soir, espérant des lendemains épiques,
L'azur phosphorescent de la mer des Tropiques
Enchantait leur sommeil d'un mirage doré;
Où, penchés à l'avant des blanches avaravelas,
Ils regardaient monter en un déluge
Du fond de l'Océan des étoiles nouvelles.*
(J.-M. de Heredia, *Les Trophées, Les Conquérants*)

Le voyage au Brésil du 5 au 16 mars 2010 a été très enrichissant culturellement et humainement, mais de plus il a servi de première étape à la création d'un club franco-brésilien, dans le contexte de l'installation d'un bureau permanent du CNRS à Rio et dans la suite de l'action internationale de l'A3 entreprise en Chine.

Un beau voyage

Pour les 19 participants, ce fut une grande découverte de ce pays vaste comme l'Europe, malgré la brièveté (12 jours) et les déplacements (Salvador, Iguaçu, Ouro Preto, Petrópolis et Rio). Pour certains c'était la nouveauté totale de l'hémisphère sud, des tropiques (pas si tristes), des métissages ethniques et culturels. Pour tous ce furent des visites infatigables des églises baroques et du jardin des oiseaux, un survol en hélicoptère et une approche héroïque en canot des cascades d'Iguaçu, la révision des clichés sur les favelas et même le sexe des anges à Salvador. Les anecdotes n'ont pas manqué comme la tornade à Rio entraînant la panne du train au retour du Christ de Corcovado, et notre vocabulaire s'est enrichi : déjeuner en churrascaria, sommeil en pousada, salutation par *Tudo bene*.

Le CNRS et le Brésil

Depuis le 1^{er} janvier 2010, le CNRS a créé un bureau à Rio de Janeiro, dirigé par Jean-Pierre Biot, Directeur de Recherche, en renfort de celui de Santiago du Chili qui couvrait jusqu'ici l'Amérique du Sud. La motivation de cette création est l'importance croissante du Brésil comme acteur majeur sur la scène scientifique internationale et donc comme partenaire scientifique majeur (liens existants, francophilie, proximité culturelle, rapprochement géo-stratégique). La coïncidence de cette

politique internationale de l'organisme avec notre projet de voyage méritait d'essayer de créer des liens particuliers, tout en partant de zéro ! Au premier contact, en décembre, nous avons compris la convergance de nos actions, entre « anciens » et « actifs » dans le repérage des coopérations scientifiques existantes ou potentielles, entre le CNRS et les instituts brésiliens, avec l'appui du système diplomatique.

Si la base de données de l'A3 contient seulement deux adhérents directs brésiliens, elle répertorie près de 300 « anciens » de labos français venus au Brésil, mais difficiles à contacter, faute d'adresse électronique connue. Il apparaît aussi que plusieurs campus CNRS accueillent des colonies importantes de chercheurs brésiliens de toutes disciplines. On a pu identifier rapidement une soixantaine de chercheurs en activité au Brésil, aisément accessibles par courriel, impliqués dans diverses coopérations en cours (labos associés, PIC, etc), ceci grâce à divers relais : le directeur du Bureau CNRS Brésil, la responsable Amérique latine de la DRI, l'actuel attaché scientifique de France au Brésil et un de ses prédecesseurs, des géographes spécialistes, ainsi que quelques labos français de biologie.



Relais de l'Anse, à Salvador de Bahia.

L'exemple de la Chine

Le voyage de mai 2009 était un précédent combinant une activité touristique et des opportunités propres à créer un club franco-chinois ; cependant, les conditions étaient alors beaucoup plus favorables, vu l'antériorité des liens existants, qui permirent deux rencontres officielles à Pékin et Shanghai. Depuis, le club franco-chinois s'est constitué, avec un président officiel et des adhésions nombreuses. Il s'est donné en particulier l'objectif d'un numéro spécial bilingue de notre bulletin et une présence à l'exposition de Shanghai. Nous avons pu favoriser des contacts en vue d'une création entreprise de biotechnologie. Il se trouve que la moitié de nos voyageurs au Brésil avaient « fait la Chine » et ils ont été sensibilisés à la démarche.

Le dîner-rencontre

Pour organiser une rencontre un courriel fut expédié aux 60 résidents identifiés, en deux temps, la première fois coïncidant avec le Carnaval, qui comme chacun devrait le savoir maintenant n'est pas favorable à des décisions ! Ce message comprenait un appel de notre président Edmond Lise expliquant les objectifs et les actions de notre association, ainsi que la procédure d'adhésion en ligne avec l'abonnement gratuit à 3 publications. Il a donc été proposé que l'A3 invite les quelques « Cariocas » disponibles à partager sans protocole notre dîner le vendredi 12 mars à Rio. On avait même prévu quelques menus cadeaux : des exemplaires récents de notre bulletin, et des « pins » fournis par la Communication du CNRS.

Le résultat ne pouvait être que modeste, mais il est atteint. Cinq « indigènes » sont venus nous rejoindre et autant se sont excusés. Les discussions ont été abondantes et amicales, concernant la vie au Brésil ou les motivations des intéressés, tant sur l'organisation de la présence du CNRS que sur les disciplines représentées (anthropologie, histoire, informatique, ingénierie, biologie). Les échanges sur l'histoire de l'esclavage, la conversion des Indiens du Brésil, la controverse de Valladolid, l'œuvre de C. Levi-Strauss, se sont prolongés depuis notre retour, avec nos invités ainsi qu'avec nos guides touristiques.

Et ensuite ?

Pour prolonger l'opération amorcée, des actions sont à entreprendre à court terme vis-à-vis du Brésil :

- susciter la motivation d'un noyau plus actif pour s'auto-organiser, et en particulier désigner une personnalité comme animateur local ;
- enrichir la liste d'adresses (courriel) de chercheurs ou institutionnels, français ou brésiliens concernés, avec l'aide de tous : la DRF et les attachés consulaires pour les « anciens » actuellement au Brésil, et les correspondants régionaux A3 pour les chercheurs actuellement en France ;
- diffuser le compte-rendu à tous ceux qui ont déjà été contactés, mais aussi à tous ceux que l'on aura repérés depuis, afin de les encourager à participer au club et relancer l'incitation à adhérer à l'A3 au plus grand nombre possible ;
- rassembler toutes les suggestions concrètes pour

donner consistance au montage du club.

- être ouvert à toute initiative et repérer des événements scientifiques ou autres, qui pourraient être l'opportunité de nouveaux contacts ;
- définir un projet précis tel que la publication dans notre revue, voire un numéro complet bilingue sur la recherche brésilienne et ses coopérations avec la France ou l'Europe ;
- « parrainer » ou accompagner ponctuellement quelques chercheurs en mobilité.

Les deux retours d'expérience chinois et brésilien amènent une réflexion plus générale sur l'activité internationale de l'A3, ses objectifs et moyens :

- définir et faire connaître (sur notre site) ces objectifs : la création de clubs à l'étranger et les initiatives d'accueil,
- continuer l'excellente coopération, chacun étant dans son rôle, de l'A3 avec les services opérationnels, la Direction du CNRS, les autres institutions, et la diplomatie ;
- étendre l'utilisation ponctuelle des voyages touristiques selon les opportunités (USA, Pologne, ...),
- organiser d'autres approches, hors voyage, vers d'autres pays (p.ex. l'Allemagne),
- renforcer et exploiter la base de données A3,
- pratiquement, généraliser la communication par courriel, sans exclure à la marge le service postal,
- adapter le site Internet, dépasser le clivage français-paysant, étranger-anglais gratuit !
- évaluer (et obtenir) les moyens concrets à mobiliser : participation aux missions à l'étranger des Instituts.

Un compte-rendu touristique sera prochainement visible sur notre site Internet. Manifestement la matière pour lancer un club franco-brésilien existe, tout comme elle pourrait être stimulée à l'occasion dans d'autres pays. Le coup d'envoi étant donné, il faut maintenant jouer le match, comme le comprennent bien les nombreux amateurs de football des deux pays !

Paul Gille

Contacts :

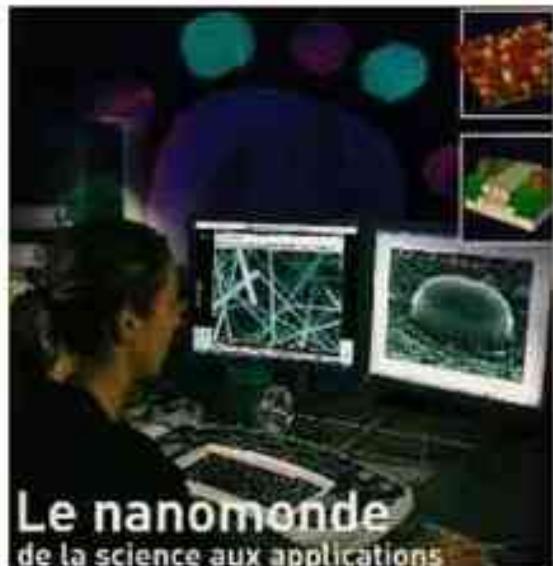
Jean-Pierre Brot <contato@cnrs-brasil.org>
Paul Gille <rayonnement@cnrs-orleans.fr>

AQUITAINE

Conférences

Les 7 avril à Gujan-Mestras et 28 avril 2010 à Pessac : «A la découverte du nanomonde et applications aux nanotechnologies», par Claude Pascal, président du Creati Aquitaine, ancien assistant à la Direction pour l'innovation et la valorisation au CEA-Cesta.

Un monde nouveau est en train de naître, c'est le nanomonde : le monde des nanosciences et des nanotechnologies. Il recouvre déjà un éventail d'applications impressionnantes : la médecine avec de nouvelles thérapies, l'habillement avec des vêtements plus performants, la communication et l'informatique avec des progrès pertinents, ou l'arrivée dans notre vie de tous les jours de produits venant de nombreux domaines... Sans oublier les questions d'éthique que pose l'arrivée de ces nouvelles technologies.



Le 29 mars 2010 à Pessac : «La gastronomie moléculaire : questions de méthodes scientifiques, et quelques résultats récents». Conférence avec expériences, par Hervé This, Groupe de gastronomie moléculaire, Laboratoire de chimie, AgroParisTech.

Une ambition de la science est de «soulever un coin du grand voile», mais... est-ce vrai ? L'introduction de notions, concepts, visions du monde n'est-elle pas plus

tôt une «invention» ? La gastronomie moléculaire, science qui explore les mécanismes des transformations culinaires, est également un lieu privilégié pour explorer les relations de la science et de la technologie. A son actif récent, des études de résonance magnétique nucléaire qui permettent enfin d'envisager rapidement des explorations de l'effet de matrice.

La cuisine, dans tout cela ? Elle est à la base des explorations, et on peut y revenir - si l'on a envie - par de la technologie culinaire, laquelle a contribué à créer la «cuisine moléculaire». Celle-ci étant bien engagée, il est temps de passer à la suite : la «cuisine note à note».

Nous avons eu le plaisir d'accueillir le Délégué régional du CNRS Aquitaine-Limousin, Philippe Leconte dans l'assistance. L'amphithéâtre de l'Institut des sciences et techniques des aliments de Bordeaux (ISTAB) avait été mis à notre disposition.

Nous avons particulièrement apprécié les moyens logistiques de Bordeaux I et de l'Ecole nationale supérieure de chimie et de physique de Bordeaux (ENSCPB).

Le 10 mars 2010 à Gujan-Mestras : «Les icebergs bleus de Patagonie & Cap Horn et le changement climatique», par Pham Van Huong, directeur de recherche.



Le 3 Mars 2010 à 14h30, à Pessac : «Vietnam carrefour des civilisations» par Pham Van Huong, directeur de recherche.

Le Vietnam n'est pas seulement le lieu de condensation des deux civilisations millénaires indienne et chinoise, mais aussi le terrain d'échange des cultures d'Occident



et d'Orient. Hors des sentiers battus touristiques et médiatiques, P. V. Huong nous invite à découvrir en profondeur ces divers courants qui nous permettront de mieux comprendre ce peuple ouvert et laborieux, et peut-être d'aimer plus ce pays.

Le 2 décembre 2009, à Pessac, puis à Gujan-Mestras : deux conférences de Michel Denis, Directeur des opérations de la mission Mars Express, et Olivier Witasse, de l'Agence spatiale européenne (ESA). « La mission Mars Express (partie 1) : Planétologie, l'Europe cherche et trouve »,

les caméras, les instruments scientifiques, les méthodes d'analyse avec un laboratoire spatial (presque) automatique. Les cibles géographiques et géologiques en surface, les composants de l'atmosphère, les campagnes d'observation. Les résultats obtenus à ce jour, la logique de l'exploration avec « Mars Express », les avancées pour l'Europe et au niveau international. Les perspectives de la planétologie comparée et les enseignements possibles pour notre propre planète.

« La mission Mars Express (partie 2) : L'eau, le vent, la vie ? »

Le voyageur venu de la Terre n'en finira pas de s'étonner devant ses fabriques de plusieurs kilomètres de haut, façonnées par des chutes d'eau et des glaciers ; devant ses cratères de toutes tailles, qui abritent parfois des neiges éternelles, ses dunes en croissant, ses deux lunes bosselées, et ses bassins fluviaux, pareils aux lits asséchés des rivières terrestres.

Les hommes mettront peut-être le pied sur Mars dans la seconde moitié de ce siècle. Depuis plusieurs

années déjà, des vaisseaux automatiques nous donnent des images grandioses, à l'aide de la caméra stéréo couleur de la sonde Mars Express de l'ESA. La planète Mars abrite le plus grand canyon et le plus grand volcan du système solaire. La découverte du méthane dans l'atmosphère martienne par Mars Express a relancé le débat sur la présence du méthane... Mais où est l'eau ?



Nos conférenciers feront le point sur l'état des connaissances, et pourquoi pas l'apparition de la vie sur la planète rouge ?

Le 4 novembre 2009 à Gujan-Mestras : « L'histoire du massif dunaire du Pays de Buch et du Bassin d'Arcachon ou l'origine de nos grains de sable », à l'occasion des 200 ans de la mort de Nicolas Brémontier.

Il appliqua, parmi les premiers en France, le moyen de fixer les dunes de sable mouvant qui envahissaient le pays situé sur le golfe de Gascogne, entre la Gironde et l'Adour - les Landes de Gascogne -, par des plantations de pins maritimes (1786), suite aux travaux de Capitaine de Buch commencés au sud du bassin d'Arcachon, et aux études du baron Chavat de Villiers.

Le conférencier M. Didier Coquillas est connu pour ses remarquables exposés régionaux.

Présentation de notre Association aux futurs retraités

Philippe Pingand animé une petite séquence lors du stage de préparation à la retraite organisé par la DR le 13 octobre 2009. Une présentation de l'association, avec distribution de bulletins, à des chercheurs et ITA qui partiront prochainement en retraite.

Cette intervention a eu lieu à Pessac, sur le campus CNRS. L'accueil a été bienveillant et intéressé, l'assistance n'ayant jamais entendu parler de nous auparavant... De futurs adhérents et actifs, nous l'espérons !

Roland Canet et Philippe Pingand

CENTRE-EST

Visite de la plate-forme industrielle du courrier (PIC) de Lorraine, à Pagny-les-Goin (Moselle)

En décembre 2006, une «plate-forme de tri postal» pour la Lorraine a été installée entre Nancy et Metz. Vingt-six membres du groupe A3 de la région Centre-Est s'y sont rendus, lundi 6 avril 2010, pour la visiter. Y participaient également trois «postiers» de Montpellier, dotés récemment d'une plate-forme identique, sachant que la PIC lorraine fut la première de France.

Construit sur 11 hectares, à proximité immédiate de l'aéroport régional et de la gare lorraine du TGV Est, le hall de production de 26 400 m² fonctionne 24 heures sur 24 et six jours sur sept, avec un effectif de 450 personnes dont 56 % ont encore le statut de fonctionnaires de La Poste et 44 % celui de contractuels privés, cette proportion allant en s'inversant avec les départs en retraite. Les personnels sont répartis en trois postes de durées inégales selon les tranches horaires. Il n'y a pas de rotation, chacun travaillant toujours sur le même segment.

Notre groupe est accueilli par Monsieur Michel Ménard, responsable communication de la structure.

D'un exposé liminaire précédent la visite du site, il ressort que ce centre n'est dédié qu'aux lettres et plis, à l'exclusion des colis, qui sont traités spécifiquement pour treize départements à Bar-le-Duc (Meuse).

La plate-forme remplace et se substitue aux trois anciens centres de tri d'Épinal (Vosges), Metz (Moselle) et Nancy (Meurthe-et-Moselle); elle couvre la région géographique de la Lorraine étendue à une partie de l'Alsace (sud) et de Meuse-Ardennes.

La réalisation de ce centre et de ses homologues en France résulte d'un triple constat :

- Le mode de tri est très différent de ce qui se pratiquait en centre des villes (où les norias de camions de 36 tonnes convergeaient vers 17 h en pleine affluence automobile) et dans les trains,
- La traçabilité assurée par une identification, un marquage et une mise en mémoire de chaque objet,
- La performance.

Logistiquement :

- le fonctionnement «vertical» ou «en mille-feuilles» des anciens centres est abandonné au profit d'un fonctionnement «horizontal», sur un seul niveau, avec des machines linéaires beaucoup plus performantes : 3,3 millions de lettres triées par jour, 93 % du courrier est trié par des machines, sachant qu'à peine 3 % du total sont constitués du courrier émanant de particuliers.

Techniquement :

- machines sont dédiées au tri industriel "petit format" (70 % du volume traité) – cadence 40 000 lettres par heure vers 256 destinations.
- machines de tri industriel "grand format", chacune d'une longueur de 66 m – cadence 35 000 lettres par heure vers 480 destinations.
- Un système de «transistique» long de 1,3 km transporte à 7 km à l'heure le courrier dans toute la plate-forme, automatiquement. Un répartiteur de contenants – aiguillage final – oriente le courrier trié vers les quais de départ.

Sur les 2 070 tournées de facteurs du secteur géographique, 1 700 sont totalement triées et prêtes à la distribution à la sortie du centre. Cette installation ultramoderne, très performante grâce notamment à

l'OCR (Reconnaissance Optique des Caractères), à l'automatisation et aux cadences de tri, n'est pas saturée.

Avec la prochaine libéralisation totale à l'international, elle offre à ce centre une importante capacité pour du traitement extérieur.

Il convient de dire un mot de la structure architecturale qui abrite cet outil :

- un immense espace, très largement éclairé notamment par des puits de lumière naturelle, est coupé en travées transversales accueillant chacune une machine linéaire, avec à chaque extrémité les accès et sorties camions,
- des piliers de béton discrets supportent une superbe charpente à longues portées en résineux lamellé-collé en provenance des Vosges voisines,
- Sols peints d'une propreté rigoureuse.

Ici, la poussière est un ennemi : le frottement à grande vitesse des plis les uns contre les autres pendant les opérations de tri génère de fines poussières, lesquelles sont constamment aspirées et filtrées. L'air chaud est recyclé, les calories récupérées.

Des véhicules électriques assurent la manutention.

Le souci d'offrir de bonnes conditions de travail au personnel est manifesté à travers des mesures telles que la diversification des tâches d'un agent (trois activités différentes) au cours d'un même poste, ou d'aménagements comme des casiers de tri ergonomiques à hauteur réglable, des machines équipées de capots antibruit, des tapis antifatigue installés le long des machines de tri.

En conclusion.

L'objectif du centre en matière d'acheminement est qu'une lettre postée au jour J soit distribuée en France métropolitaine à J + 1.

Un contrôle du temps de séjour d'un pli est assuré par un organisme indépendant – l'Ifop – qui fait transiter anonymement des «plis marqués» ; des détecteurs spécifiques installés au-dessus des portiques d'entrée et de sortie des camions enregistrent leur passage dans la carrière. Le temps de séjour se déduit par différence des deux temps de passage.

La Poste reçoit, en temps réel, le rapport des performances relevées.

Quel avenir ?

Même si d'ici à 5 ans, on peut prévoir une diminution de 30 % du courrier traditionnel papier, on note parallèlement une évolution vers le courrier électronique et autres moyens dématérialisés.

L'ouverture à l'international, en relation avec l'importante capacité du centre pour du traitement extérieur et la proximité pluri-frontalière constitue une voie d'évolution prometteuse, partiellement si le TGV proche s'ouvrirait au fret et si l'aéroport régional attenant rouvrirait ses pistes en temps et heures à l'Aéropostale. L'autre objectif du centre, dans ce contexte, serait de devenir un référent européen.

Gérard Piquard

ÎLE-DE-FRANCE



LES VISITES

Mai / Juin 2010 :

Une remarquable exposition à la Galerie des Gobelins

Trésors de la couronne d'Espagne : un âge d'or de la tapisserie flamande

Cinq visites prévues

C'est un événement exceptionnel que propose le Mobilier national : l'exposition d'une vingtaine de tapisseries flamandes de la Renaissance provenant des

anciennes collections des Habsbourg. Elles appartiennent désormais au patrimoine national espagnol et sont conservées dans les palais royaux du pays. Ces pièces, jamais exposées à Paris, constituent un sommet de l'art de la tapisserie à son zénith. Commandées par plusieurs générations de souverains : Jeanne la Folle, Marguerite d'Autriche, Charles Quint, Philippe II et réalisées à Bruxelles, elles apportent un témoignage du mécénat exceptionnel accompli par les Habsbourg en faveur de la tapisserie au XVI^e siècle.

Une nouvelle exposition au Château de Versailles, à l'occasion du tricentenaire de la Chapelle royale : Une chapelle pour le Roy
Cinq visites prévues.

A l'occasion de ce tricentenaire, le château retrace l'histoire du lieu et les fastes de son histoire.

La chapelle actuelle (la 5^e ou 6^e en usage au château), entreprise en 1687 par Jules-Hardouin Mansart, n'est achevée qu'en 1710 par Robert de Cotte. Il y reflète une recherche artistique digne de Louis XIV. Respectant la tradition des chapelles palatines, elle comporte deux niveaux : la tribune principale, située au-dessus de l'entrée, réservée à la famille royale, les tribunes latérales en prolongement, destinées aux princes de sang et aux principaux dignitaires de la cour. Les autres fidèles se tenaient au rez-de-chaussée.

L'exposition comprend quatre parties :

- L'évocation de la première chapelle de 1672.
- La somptuosité de la chapelle de 1682, située à l'emplacement du salon d'Hercule, connue seulement par des tableaux.
- L'élaboration de la chapelle actuelle et l'étonnant projet du dôme.
- Le décor et le mobilier de la chapelle tels qu'ils étaient en 1710, connus grâce aux documents du temps.

De plus, à cette occasion, les annexes de la chapelle seront ouvertes aux visites guidées : les sacristies, l'oratoire de Mme de Pompadour, les pièces à l'usage des enfants de choeur et des musiciens du roi.

Cette exposition permettra à ceux qui n'ont jamais visité la chapelle d'en découvrir toute la beauté et, à ceux

qui la connaissent, de pénétrer dans des lieux jamais ouverts au public, notamment les appartements de Madame de Maintenon où sont exposés les tableaux.

Hélène Chamassé

LANGUEDOC-ROUSSILLON



Rappel : Une permanence hebdomadaire est assurée à notre antenne régionale les lundis après-midi, de 14 h 30 à 19 h, y compris durant les périodes de congé ; le local de l'Association est situé dans le bâtiment Accueil de la Délégation régionale, 1919, Route de Mende à Montpellier. A noter, le numéro de téléphone a changé : le nouveau numéro est : 04.67.61.34.92.

Science et ruralité 2010

Depuis plusieurs années, notre collègue José Jourdan, Directeur de recherche honoraire au CNRS, Ancien directeur de l'UMR en parasitologie 5555 du CNRS, met sur pied un cycle de conférences, très joliment baptisé «les Soirées des Lumières»⁵ participant ainsi extrêmement efficacement à la diffusion de la culture scientifique auprès d'un public géographiquement éloigné des villes universitaires. Nous le remercions d'avoir bien voulu nous exposer sa démarche.

« Les Soirées des Lumières » Programme 2009-2010 :

- Jeudi 22 Octobre 2009 : Saillagouse, salle du cinéma - Antoine Dominguez, Directeur R&D, Dominguez Energie, Argelès-sur-Mer. Géothermie et mixage énergétique.
- Mercredi 25 Novembre 2009 : Ulo, salle polyvalente - François Catzeflis, Biogéste, adhérent de Greenpeace ;

La diffusion de la culture scientifique et technique en milieu rural, le cycle de conférences « Les Soirées des lumières »

Les manifestations de vulgarisation scientifique sont le plus souvent organisées en direction des élèves des lycées et prennent la forme de portes ouvertes ou de manifestations du type *Science en fête*. Elles se fixent comme objectifs prioritaires d'éduquer, de former et surtout de susciter des vocations scientifiques. Mais la mission de vulgarisation scientifique du chercheur doit prendre en compte aussi la dimension sociétale des progrès scientifiques afin de permettre au citoyen d'avoir un regard critique éclairé sur ceux-ci et d'accompagner les choix technoscientifiques qui en découlent. Si les actions de vulgarisation scientifique à destination du grand public, sous forme de cycles de conférences, sont relativement fréquentes dans les villes universitaires, elles sont le plus souvent inexistantes dans la plupart de nos villes et campagnes. A l'heure actuelle, la vulgarisation scientifique est un élément neutre, voire négatif, dans l'évaluation de la carrière d'un chercheur ou d'un enseignant-chercheur. C'est une cause majeure d'étiollement de la vulgarisation en France par rapport aux pays anglo-saxons. La diffusion de la culture scientifique et technique, malgré la mobilisation des pouvoirs publics en 2004 dans le cadre d'un plan national, n'est toujours pas perçue comme un élément à part entière de la culture. C'est dans un esprit d'ouverture du dialogue scientifique à tous les citoyens que la Communauté de Communes Pyrénées-Cerdagne, en partenariat avec l'Université de Perpignan, organise un cycle de conférences intitulé « Les Soirées des lumières » dans l'espace rural des Hauts cantons des Pyrénées-Orientales. Ce cycle, accessible à tous, aborde les multiples domaines de la connaissance, dans une visée pluraliste, sans privilégier les sujets les plus spectaculaires et les plus nouveaux, politique souvent suivie par les médias. Le cycle de conférences fait appel à des chercheurs venant de toutes les universités françaises et a lieu dans les espaces publics des communes (salles polyvalentes, salles de réunion municipales, salles des Fêtes, salles de cinéma). Il s'agit vraiment d'une démarche de rapprochement du chercheur et du citoyen. Depuis sa création, en 2003, le public de nos cantons de montagne suit avec assiduité ce cycle qui réunit de 70 à 140 personnes à chaque conférence, et manifeste d'année en année un intérêt de plus en plus marqué pour ce rendez-vous mensuel avec la culture scientifique. Nous espérons que la réussite de cette initiative de la Communauté de communes Pyrénées-Cerdagne et de l'université de Perpignan incitera d'autres collègues à se lancer dans cette aventure citoyenne.

José Jourdane
DR honoraire au CNRS

Océans et poissons : pour combien de temps encore ?

- Mardi 15 Décembre 2009 : Ur, salle polyvalente - Francisco Lozano, Professeur de biologie, écologie, Université Ramon Lull, Barcelone : *La culture de la vie : Big-Bang, Dieu et Bouddha.*
- Jeudi 28 Janvier 2010 : Osséja, salle du cinéma - Didier Barret, Directeur de recherche au CNRS, Centre d'étude spatiale des rayonnements, université Paul Sabatier, Toulouse : *A la découverte des nouveaux mondes.*
- Jeudi 18 Février 2010 : Latour de Carol, salle polyvalente - Michel Raymond, Directeur de recherche au CNRS, Laboratoire de biologie évolutive humaine, Institut des sciences de l'évolution, université de

Montpellier 2. Conférence donnée dans le cadre de l'année « Darwin 2009 » : *L'homme évolue-t-il ?*

- Mercredi 24 Mars 2010 : Ur, salle polyvalente - Simon Galas, Professeur de biochimie, Centre de recherche de biochimie macromoléculaire, université de Montpellier 1 : *Longévité et vieillissement : des théories à l'épreuve du temps.*
- Jeudi 29 Avril 2010 : Osséja, salle du cinéma - Henri Got, Professeur des universités honoraire, ancien Président de l'université de Perpignan Via Domitia. : *Va-t-on manquer d'eau sur le pourtour méditerranéen ?*
- Mercredi 26 Mai 2010 : Saillagouse, salle du cinéma - Philippe Lebaron, Professeur de microbiologie à l'uni-

versité de Paris 6, Directeur de l'observatoire océanologique de Banyuls-sur-Mer : *On a toujours besoin d'un plus petit que soi : les bactéries et virus indispensables à l'homme.*

* jeudi 24 Juin 2010 : Latour-de-Carol, salle polyvalente - Bernard Bacou, Président honoraire de la cour d'appel d'Aix en Provence, ancien Directeur de l'école nationale de la magistrature de Bordeaux : *Le rôle du juge dans la justice française.*

Nos visites passées

* Février 2010 : «Géosciences», UMR 5243, à Montpellier : le Laboratoire de paléomagnétisme ; le Laboratoire de modélisation analogique.

Le mot *paléomagnétisme* désigne à la fois le champ magnétique fossile (que ce soit dans des roches ou des objets archéologiques) et la discipline scientifique qui étudie ses propriétés. (on parle quelquefois d'archéomagnétisme).

Ainsi, quand une roche se solidifie, certaines substances qui y sont incluses sont capables de s'orienter en fonction du champ magnétique terrestre de l'époque, lequel résulte des mouvements des fluides de la croûte du noyau du globe fait de 80% de fer; elles conservent ensuite cette orientation (rémanence thermomagnétique). Ceci est particulièrement « visible » au niveau des dorsales océaniques où l'on a pu enregistrer des anomalies magnétiques symétriques par rapport à l'axe de ces dorsales. On sait ainsi que les boussoles ont « basculé » de très nombreuses fois au cours de plusieurs millions d'années, sans d'ailleurs que cela suive des cycles réguliers (on se gardera bien évidemment de confondre Nord magnétique et Nord géographique). Il devient alors possible de reconstituer les déplacements des plaques tectoniques. Outre ces applications dans le domaine de la géologie, un champ d'investigation s'est également ouvert en archéologie, car on a pu établir une chronologie des épisodes d'inversion magnétique: ainsi, certains vestiges de foyers, trouvés sous des sédiments volcaniques d'âge connu, de polarité magnétique différente de celle des sédiments qui protégeaient ces vestiges, ont pu être datés de façon sûre (à condition de ne pas avoir été déplacés): le nord magnétique de leur époque s'était en quelque sorte « imprimé » dans leur matière, servant de sonde.

Tout ceci implique évidemment la mise au point d'outils techniques sophistiqués que nous ont présentés Pierre Camps (CR) et Thierry Poidras (IR): tel ce magnétomètre thermique vibrant sous atmosphère contrôlée, capable de mesurer très précisément, sur des intervalles de température de l'ordre de 700°C, des paléointensités absolues de magnétisation d'éprouvettes #échantillon,...et autres prototypes en cours d'élaboration... Impressionnant !

Dans la 2^e partie de notre visite, Jacques Malavieille (DR) nous a conduits auprès d'un grand bac à sable, mais pas n'importe lequel évidemment. Celui que nous avons vu fait bien 2 mètres de long sur 1 bon mètre de large et est haut d'environ 60 cms, avec des côtés transparents; le plancher peut être roulant; une extrémité de la boîte sert de butée rigide et l'autre peut être tirée ou poussée à la demande. C'est en quelque sorte un convertisseur analogique qui sert à simuler de façon réaliste les déplacements de matière, à visualiser les interactions entre mouvements de surfaces, les vitesses des déformations, etc.... sous l'influence d'un mécanisme de pression ou bien d'un ruissellement (un brumisateur permet de simuler les pluies). Les matériaux dont le bac est plus ou moins rempli, de manière tout à fait scientifique afin de reproduire une réalité de terrain, sont granulaires: il peut s'agir de sable, de poudre de silice, de semoule de blé et même de sirop d'érable...car il faut simuler a priori toutes les densités et viscosités des matières. Les expériences peuvent être filmées, si bien que le tout, traité, permet, tout comme un film d'animation, de visualiser les mouvements de terrain en accéléré. Comme les échelles ont été respectées (par exemple, un centimètre du modèle peut représenter un kilomètre de l'épaisseur d'une couche géologique; une minute de temps de marche de la machine peut figurer cent mille ans), on s'approche très près de la réalité.... Cette modélisation physique, combinée à la modélisation informatique....et bien sûr, à l'observation de terrain, toutes ces techniques complémentaires vont permettre d'appréhender au mieux tout processus dynamique qui affecte ou pourrait affecter notre planète Terre (subduction, transports de matière, érosion, formation de bassins versants, etc.). La présentation d'une telle réalisation par Jacques Malavieille et Stéphane Dominguez (CR) fut d'un extrême intérêt. A ne pas négliger: cet outil offre aussi une dimension pédagogique indubitable vis à vis des étudiants et du public non scientifique: à ceux qui pen-

sent que rien n'est plus statique qu'une montagne «viele de millions d'années», le modèle illustre la relation entre temps géologiques et durée de vie humaine: tout bouge sur Terre !

* Mars 2010 : « Végafrance », à Montpellier : le pneu, un objet de haute technologie ; conception et fabrication. Végafrance est le leader européen dans la fabrication de pneus de Karting.

Nos visites à venir

* Avril 2010 : le parc zoologique de Montpellier et les espèces menacées. La visite nous fera découvrir l'histoire du Parc, mais aussi comment il fonctionne, comment est gérée la réintroduction des espèces dans leur milieu naturel. Le Parc participe en effet à la sauvegarde des espèces menacées dans le cadre d'un programme européen. .

* Mai 2010 : Journée en Biterrois : le site du Malpas ; l'usine Owens à Maureilhan

Un guide-conférencier de la Caisse des monuments historiques nous fera découvrir un ouvrage unique sur le Canal du Midi : le tunnel de Pierre-Paul Riquet qui a fait franchir au Canal une colline incontournable. Owens-Illinois est une importante usine de production de verre, installée en plein vignoble, axée quasi-exclusivement sur la production de bouteilles vertes dédiées au marché du vin.

Françoise Piénat

POITOU-CHARENTES

Notre « Action pédagogique d'éveil à la science » en direction des élèves du primaire (CM1, CM2) se met en place progressivement : Huit intervenants à ce jour proposent un catalogue de thèmes aux enseignants des écoles de la région afin de les accompagner dans leurs projets. Les domaines prévus actuellement sont : Physique (matériaux, ciel), Energétique (feu, explosion, chaleur), Aérodynamique (avions), Biologie (cellules, médicaments, vaccins), Chimie (agro-ressources, pot catalytique, pâle à combustible), Divers (préhistoire, trufficulture, vigne et vin).

Au jour d'aujourd'hui un document en provenance de l'Académie à destination des enseignants du primaire et relatif à l'intervention des Anciens et amis du CNRS a été diffusé. Nous bénéficions de l'aide du CRED (Centre de ressources départemental en sciences et technologie) pour un support matériel.

Premiers pas de cette action : nous sommes en contact avec :

- * l'école de Nouaillé pour un projet « vent » en relation avec une classe de mer (île de Ré) de CM1-CM2 (vent naturel et vent artificiel) qui entraînera la visite d'une soufflerie à l'ENSMA,
- * un enseignant de l'école P. Bert (Poitiers) pour un projet sur les aéronefs
- * et une enseignante de l'école de Biard pour une intervention concernant la préhistoire et une demande sur le thème de la cellule

Nos collègues sont unanimes devant la passion des enseignants concernant ces projets. Ils ont noté -et tenu à le faire savoir- que toutes les rencontres ont eu lieu en dehors du temps scolaire, avec tout ce que l'on entend à propos des enseignants !!!.

Concernant l'activité « visites », voici nos projets pour les mois à venir :

- * Journée à Rochefort le 11 juin 2010 avec au programme : visite du Centre ville, maison de P. Loti, arsenal et musée de la marine, formes de radoub et chantier de l'Hermione, corderie royale, Jardin des Retours et Ancienne école de médecine navale,
- * Mines d'argent à Melle, pour septembre.
- * Visite au Centre d'études médiévales.

Voici pour le côté positif de nos activités. Hélas une ombre, et pas la moindre, concerne la fermeture de l'antenne poitevine du CNRS nous privant ainsi de tout support logistique et de point de chute pour nos réunions ; et actuellement c'est le grand silence, que ce soit du côté de la Délégation à Orléans, de la Présidence de l'université et même de l'Association des amis du CNRS.

Gilles Courtois

Les voyages

Résumé du voyage au Mexique
du 11 au 22 novembre 2009



Après 11 heures d'un vol sans problèmes, nous nous posons sur la terre mexicaine, impatients de découvrir un pays riche en vestiges de civilisations précolombiennes mais aussi fortement imprégné par trois siècles de colonisation espagnole. Dès notre arrivée à l'aéroport de Mexico, nous sommes pris en charge par Nabor, guide fier de ses origines aztèques, qui nous accompagnera durant tout le périple (fig. 1).

Jeudi 12 novembre, après une nuit réparatrice dans un somptueux hôtel, nous nous promenons dans le Centre historique de Mexico où se côtoient quantité de bâtiments remarquables. Nous nous attardons dans le Palais national où les fresques murales de Diego Rivera (1886-1957) dépeignent le Mexique à travers les siècles puis dans la Cathédrale flanquée de l'église du Sagrario, bel exemple de baroque churrigueresque. Nous déjeunons ensuite à Xochimilco, endroit charmant avec ses jardins flottants et ses barques aux couleurs vives. L'après-midi s'achève par la visite du Musée national d'anthropologie et d'histoire, bel ensemble construit par l'architecte Pedro Ramírez Vasquez. A travers des salles claires et agréables, nous nous familiarisons avec différentes civilisations (Teotihuacan, Maya, Aztèque...). Le soir, beaucoup d'entre nous se sentent fatigués, c'est sans doute l'effet conjugué du décalage horaire, de l'altitude (Mexico se situe à 2230 m) et d'une journée dense.

Vendredi, avant de quitter Mexico, nous visitons Guadalupe, plus grand lieu de pèlerinage du Mexique, et sa nouvelle basilique circulaire, érigée entre 1974 et 1976 sur les plans de Pedro Ramírez Vasquez. Puis nous rejoignons Teotihuacan, la Cité des Dieux qui, entre

200 et 500 après J.-C., jouit d'un rayonnement extraordinaire. La zone archéologique s'étend sur environ 2,5 km². Après les explications de Nabor, c'est avec une belle énergie que nous gravissons les 340 marches du Temple du Soleil d'où la vue est magnifique sur le site et son environnement. En soirée, nous nous installons à Puebla, splendide ville coloniale qui nous dévoile ses demeures baroques aux teintes fraîches, ses façades recouvertes de motifs alliant briques et azulejos et ses balcons de fer forgé. Sa cathédrale, assez sobre, possède de belles coupoles à caissons alors que l'intérieur de Santo Domingo est d'une exceptionnelle richesse. Le long de la route qui nous conduit vers Oaxaca, le samedi, nous admirons les cactus (fig. 2) (cierges et énormes candélabres) ; le soir, nous assistons à un spectacle folklorique présentant, tout en fraîcheur et légèreté, les costumes, la musique et les danses de la région.



Dimanche, nous nous rendons au Monte Albán, d'abord centre cérémonial des Zapotèques (III^e siècle avant J.-C.) puis grande nécropole des Mixtèques. Palais, temples et stade se répartissent autour d'une vaste place. Sur le stade se disputait le jeu de pelote, après lequel les vainqueurs avaient l'honneur d'être décapités pour rejoindre les dieux ! A Tlacolula, nous nous frayons difficilement un chemin à travers un marché paysan animé et coloré, pour atteindre la Chapelle des martyrs à la décoration très réaliste. De retour à Oaxaca, la «ville de jade», nous visitons l'église baroque Santo Domingo qui possède une belle façade et un intérieur au décor exubérant.

Le lundi 16, deux vols successifs nous conduisent au Chiapas. Grand moment d'émotion lorsque nous survolons le cône enneigé du Citlaltépetl et son cratère

bien visible ! Nous voici donc en pays maya, au sein d'une végétation tropicale. Une incursion en barque à moteur dans le Canyon de Sumidero (1400 m d'altitude) nous révèle des paysages somptueux et nous permet de repérer vautours, crocodiles, iguanes et singes-araignées. Après avoir franchi un col à plus de 3300 m, nous descendons à San Cristobal de las Casas (2113 m), prototype de la ville coloniale, fondée en 1525, et qui a beaucoup de cachet. Nous n'y passerons malheureuse-



ment qu'une seule nuit ! La Cathédrale (fig. 3) est originale avec sa façade jaune et rouge, agrémentée de stuc blanc ; l'église Santo Domingo de Guzman a une magnifique façade baroque salomonique aux décors en carreaux beige rosé et un intérieur saturé d'ornementation. La ville est très animée et l'artisanat indien est présent partout proposant tissus, lainages, broderies, objets de cuir, bijoux...

Mardi, nous montons à San Juan Chamula, l'un des plus grands villages mayas du Chiapas, dont les habitants ont conservé des traditions ancestrales ; ils ado-



rent toujours le Soleil, la Lune, le Maïs mais également Dieu et la Vierge (fig. 4). A l'intérieur de la petite église blanche règne une émouvante atmosphère de sérénité. Les fidèles déposent fleurs, bougies et offrandes devant des statues de saints alignées contre les murs ; avant de repartir, ils absorbent une bonne quantité de boisson gazeuse (eau ou soda), les rots servant à expulser le mal... Par une route de montagne difficile et tortueuse, nous atteignons les chutes d'Agua Azul ; de multiples cascades et vasques confèrent au site un charme incontestable ; l'eau d'un vert émeraude laiteux saute ou ruisselle sur un tuf beige rosé. La nuit est tombée lorsque nous nous installons dans des bungalows à toits de palmes, blottis dans la forêt de Palenque (altitude : 200 m).

Au matin, nous nous rendons au site archéologique voisin, enfoui dans la jungle. Des Mayas y ont vécu de 2400 avant J.-C. jusqu'au IX^e siècle. Les temples que nous visiterons ont été érigés entre 600 et 720. Soixante bâtiments environ ont été dégagés de la forêt sur une surface de 2,5 km², à peine le 1/10 de l'étendue de la ville à l'âge classique. Ils sont coiffés de toits pentus, «à la Mansart», certains portent de hautes crêtes faîtières ajourées. Temple des inscriptions, Palais des gouverneurs et groupe de la Croix nous séduisent. Le trajet qui nous attend à présent est très long. Nous parcourrons environ 520 km dans la journée, traversant Tabasco et Campeche pour arriver au Yucatan. Un arrêt en fin d'après-midi est dévolu à la visite de Campeche, première cité portuaire fortifiée du Nouveau Monde.

Les deux derniers jours sont consacrés à Uxmal, cité administrative maya, et Chichen Itza, son pendant religieux situé à une cinquantaine de km. Les ves-



tiges d'Uxmal (apogée entre 700 et 900) sont particulièrement séduisants. Deux styles architecturaux s'y côtoient, le style «chene» caractérisé par une profusion décorative et le style «puuc» fondé sur la géométrie, la symétrie et la répétition de motifs abstraits. Dès l'entrée sur le site, nous sommes époustouflés par la pyramide du Devin, ses proportions harmonieuses et sa forme elliptique unique dans le monde précolombien. Dans le Quadrilatère des nonnes et le Palais du gouverneur, la partie supérieure des murs est décorée de motifs géométriques, masques de Chaac, grecques, serpents, escargots de la vie... La Grande pyramide offre un superbe panorama sur l'ensemble des bâtiments et la forêt dense (fig. 5).

Chichen Itza, la ville sacrée des Mayas, est considérée comme l'une des 7 nouvelles merveilles du monde. C'est l'ensemble le plus complet et le plus riche légué par la civilisation maya. De nombreux temples, colonnes et bâtiments sont dispersés dans un grand parc très soigné. Il est impossible ici de les décrire tous, nous n'en retiendrons donc que quelques-uns : la pyramide de Kukulcan aux proportions parfaites, les édifices Las Monjas riches de belles ornementsations, le Tzompantli gravé de rangées de crânes, le Temple des guerriers où siège un chacmool. Le plus grand jeu de pelote de Méso-Amérique a conservé des bas-reliefs dépeignant le jeu et ses conséquences (scènes de décapitation). Un autre endroit très émouvant est le Cenote des Sacrifices duquel les archéologues ont remonté des ossements humains et des offrandes variées, céramiques, masques, bijoux...

Notre circuit s'achève dans la zone touristique de Cancun, succession d'hôtels modernes installés entre mer et lagune. Cette concentration d'immeubles et ce tourisme de masse n'emportent pas notre enthousiasme. C'est donc sans regrets que nous quittons la ville, le matin du 21 novembre pour une très longue journée (6 h 30 d'attente à l'aéroport de Mexico et 9 h 30 de vol vers la France).

En conclusion, nous sommes enchantés de notre séjour au Mexique. Grâce à un excellent guide, apprécié de tous pour son érudition, ses explications abondantes et son abord chaleureux, nous avons découvert un pays fascinant. Le groupe sympathique et avide de connaissances, la température agréable et l'absence de pro-

blèmes de santé ont contribué au parfait déroulement de ce voyage.

Bernadette Griffond

Programme de voyages

Voyages du deuxième semestre 2010 : programmes à demander au Secrétariat

Du 8 au 22 septembre 2010, voyage en Chine : Pékin, les minorités du Yunnan et Shanghai

Le voyage organisé cette année nous montrera de nouveaux aspects de cet immense pays. Sur le trajet de Pékin à Shanghai en passant par l'incontournable Grande Muraille puis par l'ancienne Jehol dans la région montagneuse dont celle du « hameau pour fuir les chaleurs », nous arrivons aux confins du Tibet en passant par des hauts plateaux à environ 3000 mètres. Nous visiterons des villages et des lamaseries, la « forêt de pierres », témoin géologique de plusieurs millions d'années d'érosion. Nous entrerons dans le pays de la minorité Bai à Xizhou, ville des broderies et des tissages à la cire et de nombreux objets artisanaux. Nous passerons aussi dans la vieille cité de Dali, pays natal de cette minorité, puis à partir de Lijiang nous serons dans la région des 50 % des minorités ethniques, par exemple les Naxis (société matriarcale).

Notre incursion se termine à Shangri-la d'où nous volerons vers Kunming. Une mini-croisière nous permettra d'admirer les digues de Sudi et de Baidi. Enfin nous arriverons à Shanghai où nous rencontrerons nos collègues de l'Université de Tongji. Une visite de l'Exposition Universelle est prévue ainsi que celle du musée d'archéologie, exceptionnellement riche, et de la vieille ville de Shanghai.

Prix : environ 2410 euros taxes d'aéroport incluses pour 25 participants. Règlement par carte bancaire type Premier : diminution de 53 euros.

Du 29 septembre au 10 octobre 2010 : 9 jours dont 6 de cure thermale à Abano Verde près de Padoue en Italie. Excursions prévues : 1 jour à Venise, une mini-croisière sur la lagune, 1 jour à Vérone. Hôtel très agréable

en pension complète, soins le matin après visite médicale à l'arrivée, bains de boue, douches, massages piscine, etc.. Après-midi libres. Excursions individuelles à Padoue.

Prix : environ 1300 euros par personne pour 25 participants.

Du 24 au 31 octobre aux vacances de la Toussaint, voyage intergénération en Grèce : la Grèce continentale et ses îles, sa civilisation, ses ruines et son antique splendeur.

Arrivée à Athènes puis départ pour le Péloponnèse et l'Argolide en franchissant le Canal de Corinthe. Visite de Mycènes et de son acropole, du théâtre d'Epidaure, du site archéologique d'Olympie. Poursuite de l'excursion vers Naupaktos, l'antique Lépante qui fut le témoin de l'une des plus grandes batailles navales où la flotte chrétienne détruisit la flotte ottomane en 1571. Visite de Delphes. Croisière de la journée dans les îles du golfe

Saronique, dominé par le mont Parnasse. Retour à Athènes, visite de la ville : l'Acropole, Propylées, temple d'Athéna, Parthénon, Agora...

Prix pour 25 participants en chambre double : 1267 euros taxes aériennes comprises.

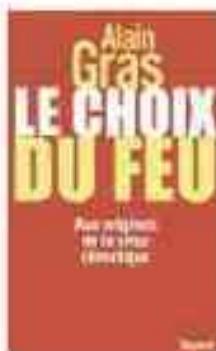
Réductions dans certains cas pour les enfants de moins de 12 ans y compris sur les sites.

Programme provisionnel de voyages pour 2011

- Croisière sur le Lac Nasser en mars
- Croisière en Mer Noire du 12 au 19 avril
- New York et l'Est américain début juin
- Cure thermale à Abano (Italie) début septembre
- La Pologne début octobre
- Intergénérations en Sicile à la Toussaint

Gisèle Vergnes et Solange Dupont

Compte-rendu d'ouvrages



La seule voie possible vers le progrès, croyons-nous, c'est le feu : le recours presqu'exclusif à l'énergie du charbon, du pétrole, du nucléaire. C'est le choix qu'a fait notre civilisation depuis un siècle et demi, et nous nous représentons cette trajectoire comme inéluctable. Face à la crise climatique, cet imaginaire collectif nous empêche d'inventer une voie alternative : telle est la thèse développée par Alain Gras.

Ce socio-anthropologue, grand penseur de la technique, nous invite à un regard différent sur les grands enjeux de notre modernité : la double figure de la puissance, créatrice et destructrice, l'appropriation des savoirs-faires par l'ingénieur et l'automate, l'individu branché sur des réseaux sociaux, l'impératif de vitesse et de mobilité. Nous commençons par un voyage vers d'autres cultures et d'autres époques. De l'Egypte à la Chine et à l'Amérique précolombienne, toutes les grandes civilisations, pour se développer, ont su domestiquer les ressources que leur offraient la terre, l'eau, l'air. Elles n'ignoraient pas le quatrième élément, le feu ; mais elles en ont pressenti les dangers potentiels et en ont limité l'emploi – ainsi les Chinois n'ont pas développé l'usage militaire de la poudre. Notre mythologie reflète

ce pressentiment : c'est dans un embrasement final qu'allait finir les dieux germaniques ; les Grecs redoutaient par-dessus tout l'hubris, la démesure, l'appétit de puissance non maîtrisé. A travers Prométhée, c'est l'humanité qui était punie d'avoir volé le feu céleste.

Alain Gras insiste sur le lien qui unit le feu et le pouvoir, les biens et la puissance destructrice, la maîtrise de l'énergie thermodynamique et les applications militaires. Notre époque pense le progrès comme une tendance technique nécessaire, qui a conduit de la machine à vapeur à un remodelage de la planète par le flux de marchandises et des énergies. Le social se défait et se refait autour de nouveaux impératifs : « le gaspillage est devenu le premier devoir civique ». La figure de l'avion est un symbole de cette modernité triomphante : nous sommes parvenus à la mobilité infinie, mais au prix ... d'une dépendance absolue au pétrole !

Le règne du feu, conclut Alain Gras, n'aura été qu'une contingence historique. Il faut se libérer de notre croyance en un déterminisme inéluctable, pour nous orienter vers d'autres technologies, ouvrant sur de nouveaux modes de vie et rapports sociaux.

Représenter la technique, c'est repenser l'homme : telle est l'importance de cet ouvrage, écrit dans un style alerte, provoquant et optimiste sur le fond.

V. S.

« Météo : du climat et des hommes » Ethnologie française, 2009/4

Martin de la Soudière et Martine Tabeaud
Introduction. Le ciel comme terrain

Sabine Pictet
Les humeurs du temps, journal d'un paysan de la Creuse

Jean-Pierre Desland
Isle(s) en langage(s) : une ethnologie sensible

Élouette Amadon - *Imaginaires du brouillard*
Martin de la Soudière et Martine Tabeaud
Chemin de neige. Texte à deux voix

Christelle Capel
Qui sont les observateurs bénévoles de Météo France ?

Martin de la Soudière, Martine Tabeaud et Anouchka Vasak
Interview avec Immanuel Le Roy Ladurie. Demain l'histoire du climat ?

Fabien Locher
Le vent et le baromètre : météorologie « savante » et météorologie « populaire » au XIX^e siècle

Responsables scientifiques :
Martin de la Soudière et Martine Tabeaud

Nicolas Schoenewald
Avril de gros temps : prévision et bulletin d'alerte

Catherine Laborde
Trop près, trop loin, l'image est floue : petite chronique d'une présentatrice météo

Magali Bardou
Politiques publiques et gaz à effet de serre. Pour le climat : mieux vivre ensemble en ville ?

Anouchka Vasak
*Hélène et Wéther, *Sturm und Drang* : comment la tempête, en entrant dans nos coeurs, nous a donné le monde*

Nathalie Magné
Le catastrophisme climatique dans le cinéma grand public

Martine Tabeaud et Xavier Browaeys
En vérité je vous le dis... le cinéma d'Al Gore

Informations

Colloque

Regard sur l'Homme contemporain à travers la science, la morale et la politique

Avec François Gros, Edgardo Carosella, François Terré et Bérénice Tournafond. Juin et octobre 2010

Science, médecine, politique... toutes ces disciplines n'ont qu'un seul but : mieux connaître l'homme. Dès lors, pourquoi ne pas imaginer un lien entre ces sciences aussi variées soient-elles ? C'est le pari innovant de ce colloque organisé le 7 juin 2010 par Bérénice Tournafond et sous la direction de trois membres de l'Institut : les professeurs François Gros et Edgardo Carosella ainsi que le juriste François Terré. Nos quatre invités reviennent sur les mécanismes qui animent l'homme, tant en biologie, qu'en immunologie, en droit et en politique.

La première partie du colloque «Regard sur l'Homme contemporain à travers la science, la morale et la politique» se déroule le 7 juin 2010 de 9 heures à 13 heures à l'Institut de France. Elle porte sur l'apport fondamental des sciences à la compréhension du comportement humain.

La deuxième partie aura lieu à l'automne 2010. Elle concemera l'apport de la morale et de la politique dans la compréhension de l'homme.

Décès

Nous avons appris avec tristesse les décès de Jacques Baixas, Jacques Daniel, Ariane Deluz, Michel Donskoff, André Foucaud, Guy Gaillard,

Hélène Gallinaro, Pierre Gauthé, Colette Gille, Daniel Lefort, Claude Marty, Léon Mélard, Monique Millet, Bernard Morlet.

Nous adressons à la famille et aux amis des disparus nos condoléances les plus sincères.



In memoriam

L'astrophysique française vient de perdre son père. En introduisant les concepts de la physique moderne dans la démarche de l'astronomie, et en s'impliquant très fortement dans l'enseignement supérieur, tant au niveau de la maîtrise qu'au niveau du DEA, avec la création de deux DEA, Evry Schatzman a formé des générations de chercheurs en astronomie-astrophysique, replaçant ainsi l'astronomie française au meilleur niveau mondial.

Né en 1920, il avait mené sa carrière au CNRS à partir de 1945. Il a fondé le Laboratoire d'astrophysique de Meudon, a été directeur de recherche à l'Observatoire de Nice, puis à l'Observatoire de Paris.

Médaille d'or du CNRS (1983), ses principaux travaux ont porté sur :

- l'astrophysique théorique, principalement la structure interne des étoiles
- le triage gravitationnel dans les naines blanches. Chauffage de la couronne solaire par ondes de choc. Théorie des novae
- le mécanisme d'accélération des rayons cosmiques
- le freinage magnéto-hydrodynamique de la rotation des étoiles
- le rôle de la diffusion turbulente dans l'évolution stellaire - Application au problème de l'abondance du lithium. Incidence sur la production des neutrinos solaires
- la cosmologie : matière et anti-matière en cosmologie

Nouveaux adhérents

BARENCHI Liliane	Lisieux	GRANGE Pierre	Teyran
BLOCH-RAYMOND Anny	Toulouse	GRESILLON Dominique	Gif-sur-Yvette
BRU Bernard	Caen	GRILLOT-SUSINI Françoise	Suresnes
CHAUVEL Claude	Paris	KOLD Jean-Pierre	Cheville
DALBERA Annie	Antony	MICHON Jean-Pierre	Epinal
DE BACKER Marc	Lambersart	NAUDI Albert	Le Plessis-Robinson
DRUGEON Gabrielle	La Garenne-Colombes	RETOURNA Michel	Castillon-du-Gard
DUEZ Danielle	Aix-en-Provence	ROUVIER Jacqueline	Marseille
ESTROUMSA Léon	Paris	SADOULET Marie-Odile	Marseille
FAFEVE Françoise	Esbly	SCHOENTGEN Françoise	Paris
FREY Françoise	Saint-Aubin	STEPHAN Andrée	Rennes
FRINGANT Anne-Marie	Paris	WILLIS Nicole	Bures-sur-Yvette
GIRAUD Annie	Marseille		

Association des anciens et amis du CNRS

Adhésion ou renouvellement de cotisation pour l'année 2010

Nouveaux montants :

Membre titulaire : 25 €

Membre bienfaiteur : 50 €

Nouvelles modalités de paiement : possibilité de régler la cotisation en ligne
(les précisions vous seront transmises lors de la demande de renouvellement par courrier ou par
mè.)

Rappel :

l'adhésion à l'Association ouvre droit pour un an à la participation à l'ensemble des activités pro-
grammées par l'Association

Et vous permet d'avoir le service du «Journal du CNRS» et du bulletin de l'Association
«Rayonnement du CNRS».

- © CNRS Photothèque / OVARLEZ Henri
- © CNRS Photothèque / CROSTA Xavier
- © CNRS Photothèque / ARNAUD Laurent
- © CNRS Photothèque / IPEV / DELHAYE Claude
- © CNRS Photothèque / IPEV / DELHAYE Claude
- © CNRS Photothèque / AMICE Erwan

Rayonnement du CNRS

Association des Anciens et des Amis du CNRS

Dernières parutions

Bulletin n° 53 - février 2010

François Gros : Une vie de biologiste

Jean Malaurie : Les Peuples premiers de l'Arctique

Bulletin n° 52 - octobre 2009 - *Le CNRS en Alsace*

Bulletin n° 51 - juillet 2009

Jean-Pierre Changeux : De la molécule à la conscience

Yves Coppens : Cinquante ans d'histoire de l'Homme

Obama dans l'Histoire des Etats-Unis par Hélène Harter

Bulletin n° 50 - mai 2009 - *Le CNRS en Midi-Pyrénées*

Bulletin n° 49 - octobre 2008 - *Physique et société*

Bulletin n° 48 - juin 2008 - *L'avènement de l'ère spatiale*

Bulletin n° 47 - mars 2008 - *L'essor de l'Inde*

Bulletin n° 45-46 - décembre 2007 - *Le CNRS à Lyon*

Bulletin n° 44 - juin 2007 - *Yves Laissus, Tricentenaire de Buffon*

Bulletin n° 43 - février 2007 - *Hubert Reeves, Patience dans l'azur, 25 ans après*

Bulletin n° 42 octobre 2006 - *Le vieillissement dans le monde*

Bulletin n° 41 - juin 2006 - *Dépasser les limites du présent : hommage à Pierre Poiller*

Le Secrétariat est ouvert

Les lundis, mardis, jeudis de 9 h 30 à 12 h 30, et de 14 h à 17 h

Tél. : 01.44.96.44.57 – Télécopie : 01.44.96.49.87

Courriel : amis-cnsr@cnrs-dir.fr

Site web : www.cnrs.fr/Assocancnsr

<http://www.anciens-amis-cnsr.com> – <http://www.rayonnementcnrs.com>

Siège social et secrétariat

3, rue Michel-Ange – 75794 Paris cedex 16

Maquette, numérisation et mise en page : Bernard Dupuis (Service de l'imprime du Siège)

ISSN 1953-6542