



Commission européenne

cahier spécial – Décembre 2009

research^{eu}

magazine de l'espace européen de la recherche

climat

Copenhague, dernière chance

Magazine de l'Espace européen de la recherche, soucieux d'élargir le débat démocratique entre science et société, research*eu est rédigé par des journalistes professionnels indépendants. Il présente et analyse des projets, des résultats et des initiatives dont les acteurs, hommes et femmes, contribuent à renforcer et à fédérer l'excellence scientifique et technologique de l'Europe. Publié en anglais, français, allemand et espagnol, à raison de dix numéros par an, research*eu est édité par l'Unité Communication de la DG Recherche de la Commission européenne.

Caricatures?

Les scientifiques sont nombreux à rappeler que sciences et médias ne font pas bon ménage. Simplifications à outrance, exagérations, erreurs: la «médiastience», cette science médiatisée, n'aurait pas grand-chose à voir avec la «vraie» science. Au mieux s'agirait-il d'une caricature...

Cependant, en contextualisant les recherches, la médiastience contribue à donner de la science une image plus complète, vivante et humaine, notamment en projetant les lumières de l'actualité sur des recherches en cours et sur les experts de ces domaines.

On le constate en particulier sur le thème du réchauffement climatique, qui occupe la place centrale de ce numéro. La médiastience apporte aux travaux des scientifiques ce qui leur manque le plus aujourd'hui: une visibilité publique et politique. Sans médiatisation à l'appui, sans traitement médiastandard, le GIEC n'aurait sans doute pas reçu l'oreille des politiques. Son actuel président, Rajendra Kumar Pachauri, le reconnaît explicitement, dans une opinion publiée en juin sur le site web SciDev (Réseau Sciences et Développement): «Au cours de ces deux dernières années, les médias ont joué un rôle essentiel dans la sensibilisation à grande échelle sur les changements climatiques. Je trouve cela particulièrement satisfaisant. Affirmer que les médias ont ainsi contribué à amener l'opinion publique à soutenir la prise de mesures contre les changements climatiques est donc approprié. [...] Il y a également toutes les raisons de penser que la façon dont les médias vont s'engager sur cette question dans les six prochains mois aura un grand impact sur l'issue des discussions de l'UNFCCC à Copenhague en fin d'année.»

Que son travail ne reste pas lettre morte et apporte le meilleur, sans le pire, à la société est le rêve de tout chercheur. La médiastience offre cette chance à la communauté scientifique.



© Arion

Michel Claessens
Rédacteur en chef

Les opinions présentées dans cet éditorial, de même que dans les articles de ce numéro, n'engagent pas la Commission européenne.

Demande d'abonnement à la version imprimée de research*eu

Le magazine research*eu est **gratuit**. Pour vous abonner, changer l'adresse d'expédition, modifier les modalités de votre abonnement ou le résilier, le moyen le plus rapide et le plus fiable est de vous rendre sur le site Internet <http://ec.europa.eu/research/research-eu>

Vous pouvez aussi y commander d'anciens numéros, toujours gratuitement.

Si vous n'avez pas accès à l'Internet, vous pouvez aussi remplir ce coupon en caractères d'imprimerie et le renvoyer à l'adresse suivante:

research*eu
ML DG1201
Boîte postale 2201
L-1022 Luxembourg

Nom :

Organisation :

Adresse :

Code postal : Ville :

Pays :

Version(s) linguistique(s) souhaitée(s):

- française anglaise
 allemande espagnole

Si vous souhaitez recevoir plusieurs exemplaires d'une même version linguistique, veuillez adresser votre demande, avec votre adresse complète et une courte justification

- par courriel
research-eu@ec.europa.eu
- par fax (+32-2-295 82 20).

Pour obtenir un ou des exemplaires de numéros antérieurs, veuillez envoyer un message par courriel ou par fax.

research*eu

Rédacteur en chef
Michel Claessens

Coordination générale
Jean-Pierre Geets, Charlotte Lemaitre

Coordination rédactionnelle
Jean-Pierre Geets

Conseiller éditorial
Didier Buysse

Journalistes
Laurence Buelens, Stéphane Fay,
Jean-Pierre Geets, Elisabeth Jeffries,
Yves Sciamia, Julie Van Rossom

Graphisme
Gérald Alary (chef de projet),
Olivier Moulin (mise en page),
Christopher Moloughney (coordination
et suivi de production), Daniel Wautier
(correction des épreuves FR).

Iconographie
Christine Rugemer

En couverture
Fonte de la banquise.
©Shutterstock/Robert HM Voors

Production générale
PubliResearch

Éditeur responsable
Michel Claessens
Tél.: +32 2 295 99 71
Fax: +32 2 295 82 20
Courriel: research-eu@ec.europa.eu

© Communautés européennes, 2009
Reproduction autorisée,
moyennant mention de la source

Ni la Commission européenne ni aucune personne agissant au nom de la Commission ne sont responsables de l'usage qui pourrait être fait des informations contenues dans cette publication ou des erreurs éventuelles qui, malgré le soin apporté à la préparation des textes, pourraient y subsister.

Interview


6 «Nous avons fait terriblement peu par rapport à l'immensité du problème»

Rencontre avec Jean-Pascal van Ypersele, vice-président du GIEC, professeur à l'Institut d'astronomie et de géophysique de l'Université catholique de Louvain (BE).

Modèles climatiques


12 Les outils du diagnostic

Les prévisions scientifiques concernant le climat européen atteignent un degré de détail inédit. Et pour la première fois, on dispose de méthodes permettant d'évaluer leur précision.

Océans


8 Le Grand Bleu sous acide

Dans l'ombre du réchauffement climatique, se développe un autre phénomène provoqué par les émissions anthropiques de CO₂: l'acidification des océans.

Climato-scepticisme


15 «Tout scientifique se doit d'être sceptique»

Quels sont les arguments des «climato-sceptiques», ces scientifiques qui s'opposent à la majorité des spécialistes du climat?

Transports


10 Adieu pétrole

Zoom sur le projet *NEMO*, qui vise à produire des biocarburants de deuxième génération, notamment à partir de déchets végétaux.

Image de science

18 Les prémices d'un geyser

Copenhague, dernière chance



Le GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) a dû attendre dix-sept ans avant de voir ses conclusions traduites en objectifs chiffrés, le fameux seuil d'augmentation de température de 2°C. Si, d'après son vice-président, le climatologue Jean-Pascal van Ypersele, ce chiffre reste sujet à caution, il ne faut pas minimiser l'étape que cela constitue. Aujourd'hui, les gouvernements du monde entier sont instamment priés d'agir et de revoir leurs objectifs, jugés trop timides.

Notre complaisance par rapport au pétrole – cette énergie fossile qu'il nous faudra quitter,

et pas seulement parce que ses réserves sont finies – commence tout doucement à prendre fin. Les recherches sur d'autres sources d'énergie se multiplient. Et après un faux départ – les agro-carburants de première génération – qui aura coûté cher, les biocarburants restent pleins de promesses.

Mais l'urgence est là, on le sait. Les constats des effets du réchauffement sur les écosystèmes se succèdent. Jusqu'à il y a peu, on ne se doutait pas, par exemple, que le dioxyde de carbone modifierait la composition de l'eau de mer au point de mettre en péril la biodiversité et les



Manchots (*Pygoscelis adeliae*) sur un petit iceberg dérivant en Terre d'Adélie (Antarctique).

© CNRS Photothèque/Erwan Amice

écosystèmes marins. Or c'est le cas, et l'acidification des océans s'est ajoutée à liste des problèmes environnementaux préoccupants.

Les chiffres s'affinent, les modèles climatiques se perfectionnent, les projections s'assortissent de degrés de probabilité plus précis et, en même temps, s'assombrissent. La science avance, sans certitude absolue, donc dans le débat, et c'est tant mieux. La preuve avec ces scientifiques que l'on a regroupés sous le terme «climato-sceptiques» et qui doutent toujours de l'origine anthropique du réchauffement et/ou du bien-fondé des mesures proposées pour le combattre.

Les injonctions pour plus de volontarisme politique et une révision totale de nos modes de consommation se sont multipliées, ces dernières années, sans vraiment produire les effets escomptés. Mais elles nous font définitivement quitter la berge où nous nous trouvions, quand on ne savait rien et qu'on gaspillait tout. Il reste maintenant à atteindre l'autre rive. Si Copenhague ne nous laisse pas au milieu du gué.

« Nous avons fait terriblement peu par rapport à l'immensité du problème »

Jean-Pascal van Ypersele, vice-président du GIEC (1) nous dresse l'état des lieux scientifique du réchauffement climatique. Sans oublier la lecture politique, parfois étonnante, qui en est faite...



Jean-Pascal van Ypersele – «La physique du climat n'a rien à voir avec l'agenda politique...»

© Jacky Delorme (UCL)

à moins d'un mètre au dessus du niveau de la mer. Le niveau marin va monter presque certainement d'au moins 50 cm, et peut-être d'un mètre, au cours de ce siècle. Où vont-ils aller?

Que faut-il penser du « seuil de danger » à 2 °C de réchauffement?

Le GIEC n'a jamais dit qu'il ne fallait pas dépasser 2 °C de réchauffement, ni qu'il fallait stabiliser les concentrations de CO₂ atmosphérique à moins de 450 ppm (parties par million). Notre travail – la nuance est importante – est de dire que, pour tel ou tel scénario d'émission, on s'attend à tel ou tel réchauffement, et donc à tel ou tel type d'impact. C'est aux autorités politiques de définir les impacts acceptables, car cela suppose des jugements de valeur qui ne sont pas du ressort des scientifiques. Historiquement, le chiffre de 2 °C a émergé en 1996 lors d'une réunion du Conseil des ministres de l'Union. Il a ensuite été en quelque sorte validé dans le rapport 2001 du GIEC, où a été publié le célèbre diagramme «burning embers» (braises ardentes) qui synthétisait la gravité des impacts pour différentes températures. Son code couleur passait du blanc au rouge aux alentours de 2 °C pour la majorité des impacts, ce qui a contribué à installer le chiffre dans les esprits alors qu'il repose sur des données qui ont plus d'une décennie.

Vous voulez dire que les dernières informations scientifiques infirment ce seuil?

À la demande des politiques, les impacts ont été revisités en détail. Pour les auteurs du rapport de 2007, pratiquement les mêmes qu'en 2001, les seuils d'impact devaient être

L'existence d'un réchauffement semble désormais faire consensus, mais est-il certain que les activités humaines en sont responsables?

Le niveau de confiance sur l'attribution à l'homme du phénomène est très élevé et augmente chaque année. En 1995, le GIEC écrivait «un faisceau d'éléments suggère qu'il existe une influence perceptible des activités humaines sur le climat». En 2007, le constat était que la plus grande partie du réchauffement des 50 dernières années est «très probablement due» aux gaz à effet de serre d'origine humaine, ce qui traduit une probabilité supérieure à 90%.

Cette assurance se fonde sur de nombreux arguments. Il y a certes les modèles climatiques, qui ont beaucoup progressé. Mais aussi la forme particulière du réchauffement: il se traduit par un refroidissement de la haute atmosphère, car les gaz à effet de serre piègent une partie de la chaleur dans la basse atmosphère, qui, elle, se réchauffe vite. Si le réchauffement était dû à un regain d'activité solaire, par exemple, il serait uniforme, voire plus fort dans la stratosphère. De même, on observe que les pôles se réchauffent plus vite que les tropiques, ce qui, là encore, est conforme à l'explication par l'effet de serre.

Quels effets faut-il principalement redouter?

Le dernier rapport du GIEC consacre plusieurs centaines de pages à la synthèse des impacts, qui vont de la baisse des rendements agricoles à divers problèmes sanitaires. Je voudrais souligner l'importance des modifications hydrologiques: les modèles prédisent un assèchement significatif de plusieurs régions très peuplées, dont le bassin méditerranéen, où il y a déjà des problèmes significatifs d'accès à l'eau. Un autre aspect est la fonte des glaciers des Andes et de l'Himalaya, qui sont le réservoir d'eau de centaines de millions de personnes pour qui la saison pluvieuse ne dure que de quelques semaines à quelques mois. Le reste de l'année, ce sont ces glaciers qui alimentent les fleuves; leur disparition programmée est donc très préoccupante.

De même, l'élévation du niveau marin. Tous les littoraux européens sont concernés, surtout les côtes basses comme celles des Pays-Bas, de la Belgique, de l'Allemagne... On va avoir une accélération de l'érosion, une invasion par l'eau salée des nappes phréatiques, des dégâts accrus lors des tempêtes, etc. Et dans le delta du Nil, dix millions de personnes vivent

Le climat terrestre est influencé par les variations de l'énergie rayonnée par la couronne solaire

– bien visible ici lors d'une éclipse – ainsi que par la position de la Terre par rapport à son étoile. Si ces paramètres varient au cours de grandes échelles de temps, ils ne suffiraient pas à expliquer la forte augmentation des températures mise en évidence depuis la révolution industrielle.



© ESO

révisés à la baisse d'environ 0,5°C. Leur nouveau graphique [NDLR: voir l'article «*Les outils du diagnostic*» dans ce numéro] n'a pas été publié dans le rapport, mais il a fini par sortir dans la revue scientifique américaine *PNAS* (*Proceedings of the National Academy of Sciences*) en 2009. Je vous ai dit qu'il ne m'appartenait pas, en tant que vice-président du GIEC, de définir un seuil de danger. Ce que je peux dire, par contre, c'est que si les ministres réunis il y a 13 ans pour fixer le seuil de 2°C et 450 ppm se réunissaient aujourd'hui sur base des mêmes critères qu'alors, ils seraient très probablement amenés à fixer le seuil de danger à 1,5°C et 350 ppm.

Quelles seraient les incidences d'un tel changement du «seuil de danger»?

Pour l'instant, le GIEC ne répond pas à cette question, car le scénario le plus «vertueux» qu'il ait évalué en termes d'émissions génère de 2°C à 2,4°C de réchauffement. Nous sommes donc réduits à extrapoler pour avoir une idée des émissions qui permettraient de rester sous 1,5°C! Je pense que cette lacune sera comblée dans le prochain rapport – mais à l'évidence cela impliquera de rendre tous les objectifs de réduction plus contraignants encore.

Le GIEC a-t-il été mieux entendu des politiques depuis son dernier rapport?

Il y a eu une inflexion positive majeure – et cela ne contredit pas ce que je viens de vous dire – puisque l'objectif de 2°C a été récemment adopté d'abord au G8 puis au G20. C'est très important, en dépit des réserves que j'ai exprimées sur cette valeur, parce que jusque-là

il n'y avait pas du tout de chiffre qui soit adopté au plan international, ce qui est la pire des situations! La Convention Cadre des Nations unies sur les Changements Climatiques, adoptée en 1992 juste avant le sommet de Rio, se contentait de dire qu'il fallait stabiliser les concentrations de gaz à effet de serre «à un niveau qui empêche toute perturbation anthropique dangereuse du système climatique». Nous avons donc vécu 17 ans sans objectif quantifié reconnu internationalement. L'adoption d'un chiffre est un progrès énorme, car toute une série d'autres chiffres découlent de celui-là, principalement les objectifs de réduction d'émissions.

Les travaux du GIEC sont donc peu à peu traduits en décisions politiques?

À ceci près que les lectures qui sont faites de nos estimations sont souvent... sélectives. Ainsi, nous avons dit que pour être entre 2°C et 2,4°C de réchauffement – et pas, notons-le, *en-dessous* de 2°C! –, il faudrait, compte tenu des incertitudes scientifiques, que les émissions mondiales atteignent leur pic «entre 2000 et 2015». Pour certains, cette fourchette est déjà devenue «en 2015», et je déplore qu'il y a quelques semaines, pour le Conseil Européen, ce délai s'est même inexplicablement transformé en «avant 2020! Peut-être est-ce parce que le «paquet climat» européen a été conçu avec un horizon 2020, mais la physique du climat n'a rien à voir avec l'agenda politique...

Autre exemple: le récent G8, lorsqu'il a adopté l'objectif de 2°C, l'a traduit par «une baisse des émissions globales de 50%», mais sans donner d'année de référence, ce qui suggère

qu'on se réfère aux émissions actuelles. Or, dans son rapport, le GIEC disait qu'il fallait baisser les émissions mondiales de 50% à 85% par rapport à celles de 1990. Et depuis cette date, les émissions ont augmenté d'environ 40%! Pour résumer, indépendamment de toute considération sur notre capacité à les atteindre, les objectifs actuellement envisagés au niveau international sont en-deçà de ce qui serait nécessaire pour protéger les populations et les écosystèmes.

Que reste-t-il à accomplir en matière de réduction des émissions?

On a fait beaucoup – mais c'est encore terriblement peu par rapport à l'immensité du problème. Prenez le protocole de Kyoto: l'objectif était de réduire les émissions de 5% en 22 ans pour les pays développés (entre 1990 et 2012), et cet objectif sera probablement à peine atteint. Or, ce qu'il faut faire maintenant dans ces mêmes pays, c'est réduire les émissions de 80% à 95% en 40 ans, ce qui permettrait, pour l'ensemble de la planète, une réduction de 50% à 85%. Et à la fin du siècle, il faudrait avoir des émissions nulles. Cela suppose de revoir fondamentalement la manière dont nous consommons, dont nous produisons – pas seulement l'énergie mais tous les biens –, dont nous nous déplaçons, dont nous nous logeons, dont nous travaillons... Une vraie révolution!

Propos recueillis par Yves Sciama

(1) GIEC: Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. Jean-Pascal van Ypersele est physicien, climatologue et professeur à l'Institut d'astronomie et de géophysique de l'Université catholique de Louvain (BE).

Le Grand Bleu sous acide

Les émissions de CO₂ ne contribuent pas seulement à amplifier l'effet de serre, elles ont aussi un impact plus insidieux sur l'acidité des océans. Un phénomène qui pourrait déstabiliser les écosystèmes marins de la planète.

On le sait. L'océan joue un rôle déterminant dans la régulation du climat. Gigantesque réservoir de CO₂, il retient un quart des émissions de gaz carbonique relâchées par les activités humaines depuis 200 ans. Une capacité d'absorption qui s'explique essentiellement par un processus physique (voir encadré). La nature tend toujours vers l'équilibre, et vu que le CO₂ se dissout dans l'eau, il transite aisément de l'atmosphère aux océans. Sans cette réaction, le changement climatique serait beaucoup plus important. Mais il y a le revers de la médaille: l'acidification des océans.

«Jusqu'à une période récente, on ne pensait pas que la chimie de l'eau de mer serait bouleversée au point d'entraîner des répercussions sur la biologie des organismes et sur les écosystèmes marins», explique Jean-Pierre Gattuso, océanographe et coordinateur d'EPOCA, vaste programme de recherche européen lancé en 2008 pour déterminer l'impact de l'acidification des océans sur les biotopes marins.

Effet boule de neige

Le CO₂ est un gaz acide. Lorsqu'il se dissout dans les océans, il réagit avec l'eau et les ions carbonates pour former des ions bicarbonates. Cette réaction augmente la quantité d'ions H⁺ dans l'eau de mer, ce qui implique une augmentation de son acidité, mesurée par une diminution de son pH. Elle diminue aussi la concentration d'ions carbonates, un élément fondamental pour une partie de la faune marine. Coraux, coquillages et crustacés sont autant d'exemples d'organismes directement menacés par ce phénomène. Leur point commun? Produire leur coquille ou leur squelette en captant des ions calcium et des ions carbonates dans l'eau de mer. Ils obtiennent ainsi les éléments nécessaires pour fabriquer le carbonate de calcium, autrement dit, le calcaire.

Avec moins de carbonate dans l'eau de mer, les organismes calcaires doivent donc dépenser plus d'énergie pour se développer. «À l'origine, nous pensons que la calcification, c'est-à-dire

la capacité à produire du calcaire, serait tout simplement réduite. Mais la réalité est plus complexe. Alors que la calcification est effectivement ralentie chez certaines espèces, d'autres parviennent à maintenir une calcification normale mais au détriment d'autres fonctions vitales telles que la croissance ou la reproduction», explique Ulf Riebesell, océanographe du *Leibniz-Institut für Meereswissenschaften* de l'université de Kiel (DE) et coordinateur de *BIOACID*, projet de recherche allemand sur l'acidification des océans lancé en septembre 2009.

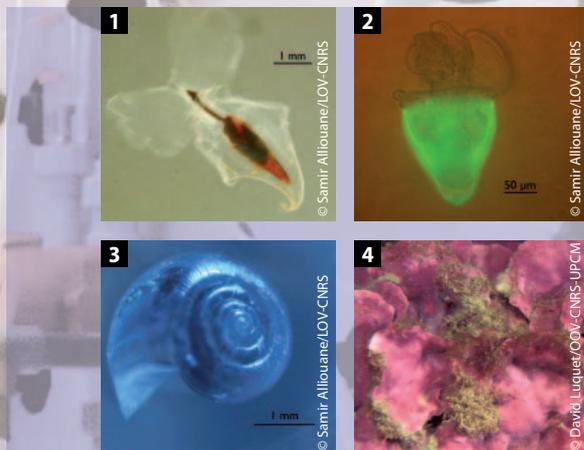
La réaction de certains organismes calcaires clés inquiète tout particulièrement les chercheurs. «Au sein des mers froides, les communautés coralliennes se trouvent à de grandes profondeurs où la concentration en carbonate est naturellement faible», explique Jean-Pierre Gattuso. «Les derniers résultats et modèles prédictifs démontrent que ces eaux pourraient devenir corrosives vis-à-vis du calcaire. L'augmentation de l'acidité limiterait donc non seulement la croissance des coraux d'eau froide, mais contribuerait aussi à dissoudre leur structure.» Tout comme les coraux tropicaux, ces coraux d'eau froide forment un habitat et un lieu de reproduction privilégiés pour la faune marine. «De nombreuses espèces cruciales pour l'industrie de la pêche sont menacées, tant au nord qu'au sud. Les impacts socio-économiques de la disparition des coraux pourraient être immenses. À ceci s'ajoutent des problèmes de sécurité car, dans les régions tropicales, les récifs coralliens constituent une barrière naturelle de protection des côtes contre les aléas de la mer», souligne Jean-Pierre Gattuso.

Autre source d'inquiétude, les ptéropodes, sorte de petits escargots nageurs. «La coquille des ptéropodes est formée d'aragonite, un type de calcaire moins stable et donc plus sensible à l'acidification», explique Ulf Riebesell. «Les ptéropodes jouent un rôle majeur dans la chaîne alimentaire marine. Le saumon du Pacifique Nord, par exemple, s'en nourrit presque exclusivement durant une étape de sa croissance. On ne sait si les espèces prédatrices pourront



© Jean-Louis Teysse/International Atomic Energy Agency

En laboratoire: mesures de la calcification et de la migration de traces métalliques par isotopes.



Ces espèces, ayant une coquille ou squelette calcaire, sont autant d'organismes à risque en raison de l'acidification des océans.

- 1** *Cavolinia inflexa* adulte collecté dans la baie de Villefranche (FR). Ce mollusque vivant en pleine eau et possédant une coquille calcaire est très sensible au pH.
- 2** Juvénile de ptéropode méditerranéen *Cavolinia inflexa*. La partie colorée en vert correspond à la coquille, teintée par de la calcéine fluorochromique.
- 3** *Limacina helicina*, escargot de mer nageur vivant dans l'Arctique, collecté dans le Kongsfjorden (Spitzberg).
- 4** Les algues corallines méditerranéennes représentent une flore sous-marine très affectée par l'acidification des océans.

se rabattre sur d'autres proies ou si la raréfaction des ptéropodes entraînera un effondrement des populations.»

Une certitude, des milliers d'inconnues

Outre les organismes calcaires, d'autres espèces marines pourraient subir un impact direct de l'acidification des océans. Mais la recherche en la matière n'en est qu'à ses premiers balbutiements. La diminution du pH réduit la capacité d'absorption des sons dans l'océan, ce qui pourrait perturber la capacité des mammifères marins à se repérer et à localiser leurs proies. De même, peu d'études ont examiné l'impact de l'acidification sur les poissons. «Une recherche américaine a pu mettre en évidence un lien entre acidification et accroissement des otolithes. Ces os de l'oreille interne jouent un rôle majeur pour l'équilibre des poissons mais on ne sait pas dans quelle mesure un développement anormal pourrait être néfaste», explique Jean-Pierre Gattuso.

Pour étudier les impacts de l'acidification, les chercheurs d'EPOCA examinent les écosystèmes marins où la concentration de CO₂ est naturellement élevée, comme au large de l'île d'Ischia, au Sud de l'Italie. Mais la majorité des recherches se concentre sur les zones polaires, qui captent plus de CO₂ car ce gaz se dissout mieux dans les eaux froides. «L'acidification est plus rapide aux pôles. Ses impacts sur les écosystèmes sont donc a priori plus facilement détectables», explique Jean-Pierre Gattuso.

Comprendre les répercussions du phénomène sur le biotope marin est un pré-requis fondamental pour pouvoir déterminer le seuil d'acidité à ne pas dépasser si l'on veut maintenir l'équilibre

actuel des océans. «Aucun seuil maximum de tolérance n'a encore pu être fixé. Nous disposons de très peu de recul. Les premières études de l'acidification des océans remontent à une quinzaine d'années tout au plus», précise Jean-Pierre Gattuso.

Une chose est sûre, l'acidification est en cours, elle est mesurable et augmente en même temps que les émissions de CO₂. Le pH des océans serait ainsi déjà passé de 8,2 à 8,1 depuis le début de l'ère industrielle. Pour contrer le problème, une seule solution: réduire les émissions de CO₂. Un impératif souligné par plus de 150 océanologues dans la Déclaration de Monaco, un texte publié en janvier 2009 qui exhorte les décideurs politiques à tenir compte de l'acidification des océans au cours du Sommet de Copenhague sur le climat.

Julie Van Rossom

Un océan qui sature

Un processus physique est à l'origine de l'essentiel de l'absorption du CO₂ par les océans. Ce mécanisme, communément désigné sous le nom de «pompe physique», est toutefois associé à un processus de «pompe biologique»⁽¹⁾ reposant notamment sur les algues calcaires. Celles-ci fixent le CO₂ par photosynthèse dans leur coquille et l'entraînent vers les fonds marins lorsqu'elles meurent. À l'heure actuelle, on ne sait pas dans quelle mesure la réponse de ces organismes à l'acidification des océans pourrait perturber le fonctionnement du puits à carbone océanique. En 2009, se clôturait CARBOOCEAN, vaste projet européen dont le but était de quantifier la capacité de stockage du carbone par les océans. Les résultats démontrent un ralentissement de la capacité d'absorption du CO₂ au sein de l'Atlantique Nord et de l'océan Austral. Reste à expliquer l'origine de ce ralentissement. «Ces variations peuvent être le résultat de phénomènes physiques, une augmentation des températures, par exemple, ou encore une différence de circulation des courants marins. Mais elles peuvent aussi s'expliquer de manière biologique», explique Ulf Riebesell. «Les mécanismes à la base de la pompe physique sont relativement bien connus. En revanche, ceux de la pompe biologique le sont beaucoup moins. Certains scientifiques affirment que l'acidification augmenterait son efficacité, d'autres prévoient le contraire. Il est essentiel de comprendre et de quantifier ces phénomènes pour accroître la fiabilité des modèles utilisés pour prévoir l'évolution future du climat.»

⁽¹⁾ Pour plus de précisions sur les pompes physique et biologique, voir «Le ciel entre CO₂ et mer», numéro spécial de *research*eu*, décembre 2007.

i EPOCA

27 partenaires, 9 pays (BE, CH, DE, FR, IS, NL, NO, SE, UK)

www.epoca-project.eu

BIOACID

19 partenaires (DE)

bioacid.ifm-geomar.de

CARBOOCEAN

47 partenaires, 14 pays (BE, CH, DE, DK, ES, FR, IS, MO, NL, NO, PO, SE, UK, US)

www.carboocean.org

Adieu pétrole

Afin de faire avancer la recherche sur les biocarburants de deuxième génération, l'Europe lance le projet NEMO, qui compte sur des enzymes et des micro-organismes pour faire des déchets agricoles et forestiers les carburants de demain.

En 2020, 10% des carburants consommés pour le transport en Europe devraient être d'origine renouvelable. Pour réaliser cette ambition, l'Union vient de se doter d'un nouvel outil, le projet *Novel high-performance enzymes and micro-organisms for conversion of lignocellulosic biomass to bioethanol (NEMO)* coordonné par Merja Penttilä, chercheur au *Valtion Teknillinen*

Tutkimuskeskus (VTT), le Centre de recherche technique de Finlande. Son but? Faciliter la fabrication de biocarburants de seconde génération à partir des déchets de l'agriculture et de l'industrie forestière. Au contraire des biocarburants de première génération qui, outre le fait de présenter un bilan écologique contestable, sont souvent fabriqués à partir de produits alimentaires comme les céréales et contribuent à faire grimper les prix de ces ressources, menaçant la stabilité sociale et politique des pays les plus pauvres⁽¹⁾. Si l'Union veut garantir sa place dans ce domaine de recherche stratégique, elle compte aussi sur les nouveaux projets de ce type pour améliorer sa future indépendance énergétique.

Le thème «Alimentation, agriculture et pêche, biotechnologie»

Doté de 1,9 milliard d'euros, il est l'un des thèmes du programme spécifique «Coopération» du 7^{ème} programme-cadre (PC7). Son objectif principal est de constituer une bio-économie européenne de la connaissance, fondée sur un modèle durable et une bonne gestion des ressources biologiques. Il s'agit, entre autres, d'optimiser la conversion de la biomasse en produits de haute valeur ajoutée.

Objectif écologie

NEMO fédère pas moins de dix-huit partenaires dans neuf pays européens (Allemagne, Belgique, Finlande, France, Italie, Pays-Bas, Slovénie, Suède et Suisse), alliant des universités, des centres de recherche mais aussi des entreprises privées comme *Green Sugar*, une petite société basée en Allemagne. «Grâce

à nos contacts à l'université de Frankfort (DE), nous avons été invités à une réunion du projet *NEMO*, où nous avons pu constater que nos intérêts convergeaient» raconte Frank Kose, chef de projet chez *Green Sugar*. Le budget de la recherche, prévu pour quatre ans, s'élève à 8,25 millions d'euros, 5,9 millions provenant du thème «Alimentation, agriculture et pêche, biotechnologie» du 7^{ème} programme cadre (PC7), centré sur le développement de la bio-économie.

Les biocarburants de seconde génération que *NEMO* vise à développer reposent sur l'utilisation de la lignocellulose des plantes. Celle-ci se retrouvant dans toutes les cellules végétales, il est donc possible d'utiliser l'intégralité de la plante: ses tiges ou ses feuilles, ses résidus (paille) ou les déchets verts provenant de la taille des végétaux. La partie comestible d'une plante n'est ainsi plus la seule à pouvoir être utilisée pour fabriquer du biocarburant. Exit l'alternative «manger ou conduire» qu'imposaient les biocarburants de la première génération. De plus, exploiter les déchets végétaux offre des avantages en termes de rentabilité économique.

Dispositif expérimental de biomasse sur le site de l'INRA à Estrée-Mons (FR).

Convertir des déchets verts

Les chercheurs s'attelleront à mettre au point de nouvelles manières de transformer la lignocellulose (constituée de lignine, de cellulose et d'hémicellulose) des déchets agricoles et forestiers en biocarburant liquide. Cette transformation se fait habituellement en quatre étapes: prétraitement, extraction, fermentation et distillation.

Le prétraitement de la lignocellulose vise à casser la lignine, très solide, pour y extraire des molécules de cellulose et d'hémicellulose et en tirer du glucose. La fermentation du glucose par des levures produit de l'éthanol, alcool qui, distillé, servira à la fabrication de biocarburant.

NEMO se concentrera essentiellement sur la première étape. «Son objectif principal sera de convertir les chaînes carbonées que sont la cellulose et l'hémicellulose en simples chaînons – c'est-à-dire en sucres comme le glucose – à l'aide de nouveaux types d'enzymes. C'est ce que l'on appelle la saccharification», explique Frank Kose. Les enzymes sont des protéines qui accélèrent les réactions chimiques et permettent de convertir des molécules en d'autres molécules. Autre avantage, elles sont peu toxiques pour les microbes en charge du processus de fermentation du glucose. «Pour chaque approche enzymatique, il est nécessaire d'exécuter un prétraitement préparant la biomasse à l'action des enzymes. La technologie développée chez *Green Sugar*, fondée sur l'utilisation d'acides inorganiques, pourrait augmenter leur efficacité» précise le chef de projet.

Outre ses objectifs scientifiques, *NEMO* aura aussi à cœur de vérifier que les enzymes qui sortiront des laboratoires seront suffisamment efficaces pour être employées dans des processus

industriels intéressant les entreprises. «Notre engagement est bien sûr motivé par des considérations économiques», explique Frank Kose. «Nous voulons développer une technologie de saccharification qui puisse être implantée dans le futur dans des usines capables de fabriquer 50 000 à 100 000 tonnes de sucres par an. Pour atteindre cet objectif, nous avons besoin de gros partenaires industriels. Si *NEMO* développe une nouvelle technologie pour transformer la cellulose à l'aide d'enzymes et que celle-ci inclut la technologie de *Green Sugar*, les industriels faisant partie du projet s'en serviront et cela équivaldra pour nous à leur vendre notre savoir-faire».

Ainsi *NEMO* intéresse-t-il tant les industriels que les chercheurs. Car au-delà de l'espoir de contribuer à la résolution du problème mondial de l'énergie, il s'agit de prendre part au marché des bioénergies, un secteur économique en plein développement. D'autant que, sans attendre les promesses de *NEMO*, une troisième génération de biocarburants montre déjà le bout de son nez. Fondée, entre autres, sur l'extraction d'huile à partir d'algues, elle tente, elle aussi, de sortir des laboratoires. ●

Stéphane Fay

(1) Voir l'article «Des promesses au doute» dans notre numéro spécial «S'extraire du pétrole» d'avril 2008.



NEMO

18 partenaires, 9 pays
(BE-CH-DE-FI-FR-IT-NL-SI-SE)
www.vtt.fi/news/2009/08192009.jsp?lang=en

L'Initiative technologique conjointe sur les piles à combustible et l'hydrogène

L'Europe explore d'autres pistes que les biocarburants pour se pourvoir d'énergie renouvelable. C'est le cas des piles à combustible et des technologies fournissant de l'énergie à partir de l'hydrogène, qui font l'objet de la nouvelle Initiative technologique conjointe (ITC) «Fuel Cells and Hydrogen» ou FCH – un partenariat entre la Commission européenne, des entreprises privées et quelques universités et instituts de recherche.

Il s'agit, ici encore, de combattre les émissions de dioxyde de carbone et de réduire la dépendance de l'Europe aux hydrocarbures tout en contribuant à la croissance économique. L'avantage de l'ITC est de regrouper tous les acteurs et leurs moyens en un effort commun. En effet, les technologies nécessaires à la diffusion des piles à combustible, par exemple, ne sont pas encore commercialement mûres et peuvent difficilement être développées par un acteur isolé. Le premier appel à propositions de l'ITC FCH a été lancé en 2008, et la Commission participe à concurrence de 28 millions d'euros. Un second appel à propositions s'est clôturé le 15 octobre 2009, pour un budget de 70 millions d'euros, et les évaluations des projets proposés sont en cours.

ec.europa.eu/research/fch/

Petit lexique

Biocarburant: carburant de substitution produit à partir de matières vivantes végétales.

Bioéthanol: éthanol provenant de la fermentation de matières vivantes végétales. On retrouve de l'éthanol dans toutes les boissons alcoolisées.

Acide inorganique: acide qui ne contient pas de carbone.

Les outils du diagnostic

Alors que les scénarios catastrophe les plus fous circulent, il nous faut des techniques de prévisions climatiques de pointe si nous voulons prendre les bonnes décisions. Un nouveau modèle climatique majeur permet aujourd'hui de dissiper certaines incertitudes sur le climat de l'Europe au 21^{ème} siècle, et fournit l'image la plus précise à ce jour de ce qui nous affectera probablement.

Dans *«L'Âge de la stupidité»*, film environnemental sorti en 2009, Pete Postlethwaite joue le rôle du dernier survivant d'une catastrophe climatique arrivée en 2055. Assis au dernier étage d'un gratte-ciel, il contemple le monde dévasté, entouré de sculptures classiques et de trésors culturels rescapés de gigantesques inondations, se demandant pourquoi les hommes ne se sont pas repris en main un demi-siècle plus tôt pour empêcher la catastrophe. Si le film se montre très efficace pour amener les spectateurs à imaginer les éventuels futurs événements climatiques, de nombreux scientifiques critiqueraient certainement la date choisie pour l'Armageddon.

La fin du monde en 2055?

Les dernières prévisions du *Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC)* – le quatrième rapport publié en 2007 – fournissent des modèles climatiques qui auraient, en effet, embarrassé le réalisateur. Ceux-ci présentent un éventail d'augmentations de température en fonction de conditions d'émissions spécifiques, qui dépendent, parmi d'autres facteurs, du succès des politiques liées à l'environnement et aux énergies propres, et de la croissance démographique. Un modèle est un

Avis de tempête



Tempête Kyrill, début 2007.

Après-midi du 18 janvier 2007, une violente tempête balaya le continent européen. Le vent gagnait de la vitesse, atteignant jusqu'à 202 km/h en Allemagne, continuant d'augmenter jusqu'à ce que la tempête atteigne la République Tchèque. Plusieurs millions d'euros de dégâts furent déclarés aux assurances à cause des bâtiments endommagés et des arbres déracinés. Au Royaume-Uni et en Allemagne, il y eut des coupures de courant électrique touchant des milliers de maisons. La tempête, baptisée Kyrill, a débuté juste au-dessus de Terre-Neuve, au Canada, avant de traverser l'océan Atlantique, et d'atteindre les îles britanniques puis le nord et le centre de l'Europe. La trajectoire et la configuration de Kyrill sont typiques des cyclones hivernaux extratropicaux (qui se forment en dehors des tropiques).

Ces cyclones prennent naissance dans des régions où les écarts de températures sont très élevés, comme entre la Floride et le Groenland, et débutent généralement sur la côte est de l'Amérique du Nord. Les différences de températures génèrent des mouvements d'air et des vents puissants qui peuvent déboucher sur une violente tempête. On en observe environ cinq par décennie depuis 40 ans. Toute la question est de savoir si elles vont augmenter à cause des changements de températures, ce qui ne serait pas sans implication dans le monde des affaires et pour les gouvernements. D'après l'équipe d'ENSEMBLES, qui a utilisé le scénario d'émissions A1B, il y a 90 % de chances que les dégâts liés aux tempêtes en 2017-2100 augmentent de 13 % à 37 % par rapport à la période 1961-2000 dans le sud de l'Allemagne.

programme informatique qui simule l'évolution du climat à partir d'un point précis et d'une série de scénarios liés à ces conditions d'émissions. Plus les données sont complexes, plus les modèles le sont. Ils peuvent inclure jusqu'à 30 paramètres, tels que la vitesse de l'air, l'humidité, l'humidité du sol, la température ou le point de rosée. Un modèle peut être constitué d'un million de lignes de code informatique et demander plusieurs mois de développement, auxquels s'ajoute un temps d'analyse encore plus long, ce qui explique qu'il n'existe qu'environ 25 modèles au monde.

Dans son scénario le plus optimiste (faibles émissions de gaz à effet de serre), le GIEC table, selon les meilleures estimations, sur une augmentation de température de 1,8°C en 2090-2100 par rapport à 1990 (la température a augmenté de 0,7°C depuis le début de la révolution industrielle), avec une augmentation du niveau des mers de 18 cm à 38 cm. Le scénario le plus pessimiste (émissions élevées) prévoit, dans l'état actuel des connaissances, une augmentation de 4°C pour la température et de 26 cm à 59 cm pour le niveau des mers. Quel que soit le scénario qui se produira, le GIEC prédit une hausse des dégâts liés aux inondations et aux tempêtes. Une augmentation de 3°C engendrerait ainsi une perte de 30% des zones côtières humides. Mais, nulle part, il n'est question d'inondation globale en 2055...

Un méga-modèle européen

Ce genre de modélisation climatique est en constante amélioration, et sert tant à réfuter les discours alarmistes qu'à combattre le déni, afin que le public soit informé correctement. Les techniques de mesure et de modélisation se sont développées progressivement au cours des siècles derniers. Les données les plus anciennes proviennent d'un thermomètre climatique installé dans le centre de l'Angleterre à la fin du 17^{ème} siècle. Au 19^{ème} siècle, les observations météorologiques s'étaient répandues partout. Dans les années 1920, on envoyait des ballons remplis d'instruments de mesure dans l'air. Trente ans plus tard, on utilisait des avions pour mesurer l'atmosphère et des stations météorologiques étaient construites au Pôle Nord et au Pôle Sud. De nos jours, des données sont récoltées par satellite.

Le projet *ENSEMBLES*, financé à hauteur de 15 millions d'euros par le 6^{ème} programme-cadre

(PC6), englobe toute une série de nouveaux modèles climatiques d'envergure. Ses prévisions sont assorties d'un plus grand degré de certitude, cela moins grâce à la précision des observations qu'à la qualité et la profondeur de la modélisation. Les climatologues affirment ainsi avoir produit l'image la plus claire et la plus détaillée de l'Europe à la fin de ce siècle que tous les modèles précédents, qui étaient extraits des données fournies par des modèles climatiques globaux.

Les résultats médians d'une prévision d'*ENSEMBLES* basée sur le scénario d'émissions A1B (dans lequel nos économies équilibrent l'usage de carburants fossiles et d'autres sources d'énergie, y compris renouvelables), indiquent par exemple, une hausse de température de 6°C et une baisse de 50% des précipitations en été dans le sud-ouest de la France entre 2080 et 2099, par rapport à la période de référence 1961-1990. Le degré de détail atteint par les nouveaux modèles d'ensemble constitue l'une des contributions majeures du projet à la modélisation du changement climatique. «Nous tournons à une résolution bien plus élevée que tout ce qui se faisait auparavant. C'est un grand bond en avant», affirme Paul van der Linden, le directeur d'*ENSEMBLES*, basé au Centre Hadley sur le changement climatique à Exeter (UK). Des résultats qui sont l'aboutissement de cinq années de dur labeur, au cœur de cette obscure science qu'est la modélisation climatique.

Passer l'examen d'histoire

Six scénarios du GIEC (qui en compte 40) sont couramment utilisés dans les modèles. Ils décrivent une série de niveaux d'émissions futurs et sont formulés à partir d'hypothèses socio-économiques et de conjectures sur la gestion du problème climatique. Certains partent du principe «*business as usual*» et sont donc plutôt négatifs; d'autres se basent sur des politiques énergétiques plus fructueuses. Ils incluent également des estimations du rayonnement solaire et des aérosols, et leur étendue peut varier selon qu'ils intègrent les données relatives à un, deux ou dix à quinze polluants, par exemple.

Les modèles ont été développés durant plusieurs décennies dans 12 centres différents – les sept centres situés en Europe ont été inclus dans *ENSEMBLES*, qui compte par ailleurs des instituts extra-européens parmi ses

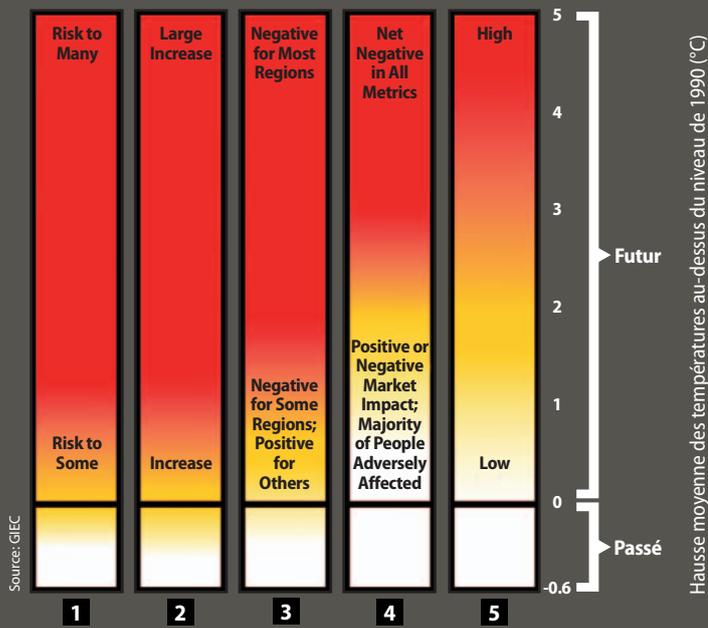
79 partenaires. Les chercheurs commencent par quadriller le globe terrestre, généralement selon une maille grossière d'environ trois à quatre degrés. Les modèles sont ensuite lancés à l'échelle planétaire et les valeurs de chaque bloc ou cellule sont restituées. Différents modèles sont utilisés selon le but recherché: ils peuvent être seulement atmosphériques, océaniques ou les deux. Au-delà des caractéristiques globales de changement climatique, les scientifiques peuvent aussi modéliser ses impacts.

Les données anciennes et actuelles sur les températures et les précipitations, par exemple, sont utilisées pour tester le modèle au regard de l'histoire climatique, selon une procédure connue sous le nom de «*hindcasting*» («simulation rétrospective»). «Nous voulons savoir à quel point le modèle est performant et l'évaluer par rapport aux observations climatiques comme les mesures historiques des gaz à effet de serre», explique Paul van der Linden. Si le test s'écarte significativement des données historiques, le modèle est réputé faible. Comme la création d'un modèle global prend énormément de temps, on peut n'en tester que certaines parties, sur une période plus réduite.

Simulations par milliers

Une seule prévision issue d'un modèle ne suffit pas. Pour améliorer la précision, les climatologues font tourner le même modèle des milliers de fois avec des données différentes, et peuvent aussi lancer plusieurs modèles à de nombreuses reprises avec les mêmes données. Cette technique, dite de «modèle d'ensemble», génère un résultat plus fiable, parce que les moyennes de plusieurs modèles sont plus précises que le résultat d'un seul. L'une des raisons pour lesquelles *ENSEMBLES* diffère des projets précédents réside dans son envergure même.

«C'est le plus grand projet de ce type», affirme Paul van der Linden. L'équipe de prévisionnistes, répandue à travers l'Europe, a conçu un énorme multi-modèle qui combine 7 modèles d'ensemble européens. Sa taille lui permet de fournir un niveau de détail supérieur à toute tentative précédente. Il diffère aussi de ses prédécesseurs parce qu'il produit un ensemble à partir de 15 modèles régionaux nichés dans 7 modèles globaux. Les chercheurs ont étudié les impacts que pourraient avoir les changements climatiques sur 14 sites en Europe. Ils peuvent également simuler les effets

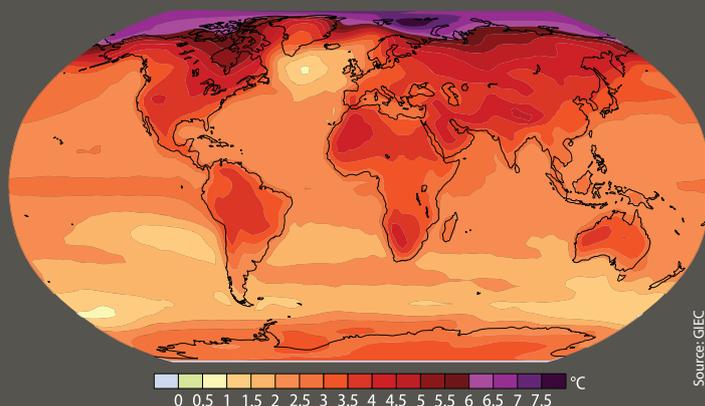


◀ **Burning embers (braises ardentes)**

Du jaune pâle au rouge vif, ce graphique conçu par le GIEC illustre la montée de cinq catégories de risques associés à différents niveaux de réchauffement de la planète. Publié pour la première fois en 2001, il a été mis à jour en 2007, avec un degré d'alarme en hausse considérable.

- 1 Risques encourus par certains écosystèmes (récifs coralliens, glaciers, espèces vivantes, etc.).
- 2 Risques météorologiques extrêmes (canicules, inondations, sécheresses, incendies, ouragans, etc.).
- 3 Extension des disparités et des vulnérabilités régionales des impacts (en jaune, certaines zones bénéficiaires du réchauffement peuvent contraster avec celles qui en souffrent; mais dans le rouge, l'impact négatif est généralisé).
- 4 Risques d'impact sur l'économie et les marchés (même remarque).
- 5 Risques de bouleversements à grande échelle (élévation accélérée du niveau des mers, acidification des océans, niveaux de chaleur extrêmes).

► **Hausse prévue des températures durant la dernière décennie du siècle (2090-2099)** dans l'hypothèse d'une poursuite de la croissance économique et le recours à un «mix» d'énergies fossiles et non fossiles, selon un des scénarios du GIEC.



d'une augmentation moyenne de 2°C en Europe sur l'agriculture, la santé, l'énergie, les ressources en eau et les assurances. «Nous avons plutôt une approche transversale que *top-down*», explique Paul van der Linden.

Autre innovation: le développement d'un nouveau scénario, baptisé E1, qui a été testé par un ensemble de modèles climatiques globaux. Il suppose que les politiques de réduction des émissions sont un succès et que les objectifs en matière d'émissions sont atteints. C'est une approche inverse des scénarios du GIEC dans le sens où on part des résultats obtenus en termes de températures pour recalculer le niveau des émissions. On arrive ainsi à un niveau d'équivalent CO₂ stabilisé à 450 parties par million en 2140 (les décideurs ont fixé ce chiffre comme seuil maximum pour que les températures n'augmentent pas de plus de 2°C). Les résultats impliquent que les émissions doivent retomber à zéro à la fin du siècle, après avoir atteint un pic d'environ 12 gigatonnes d'équivalent carbone en 2010. Le prochain rapport du GIEC devrait inclure un modèle fonctionnant avec le scénario E1.

Probabilités affinées

On ne peut toutefois ignorer le fait que, quelle que soit la fréquence avec laquelle on les fait tourner, les modèles restent des projections et ne seront jamais en mesure de fournir des certitudes avérées. Quoique, à cet égard aussi, l'équipe d'ENSEMBLES affirme avoir réalisé une première. Le projet produit une gamme de prévisions qui sont toutes évaluées de manière à décider quels résultats sont plus probables que les autres. Les chercheurs affirment pouvoir mesurer la probabilité de l'exactitude d'une projection particulière, et ce grâce à l'échelle multi-modèles du projet. «Avant, on pouvait dire, par exemple, que le nombre de tempêtes pourrait augmenter de 20% à une certaine date. Aujourd'hui, on peut dire que 95% des résultats montrent que l'augmentation des tempêtes sera de 5% à 20%» explique Gregor Leckebusch, climatologue à l'Institut de météorologie de Berlin.

Selon Paul van der Linden, la création de ce modèle constitue un grand pas en avant pour la communauté des modélisateurs climatiques. «Pour la première fois, nous disposons

de probabilités, et les chercheurs peuvent désormais recourir à cette base de données pour faire tourner leurs propres modèles».

Reste qu'il n'y a rien de tel que la réalité pour mettre à mal les meilleurs modèles. La diminution estivale de la banquise arctique constatée ces dernières années, par exemple, n'intervenait qu'à la toute fin des scénarios des modèles précédents. Ce qui fait craindre que l'allure à laquelle le climat évolue soit sous-estimée, et que nous devions encore revoir les prévisions.

Elisabeth Jeffries

(1) Voir l'article «Des promesses au doute» dans notre numéro spécial «S'extraire du pétrole» d'avril 2008.

i ENSEMBLES
 79 partenaires – 18 pays
 (AT-BE-CH-CZ-DE-DK-ES-FI-FR-GR-IE-IT-NL-NO-PL-RO-SE-UK)
 2 pays non-européens (AU-US)
www.ensembles-eu.org

« Tout scientifique se doit d'être sceptique »

Alors que les scientifiques du GIEC rassemblent, évaluent et synthétisent les études permettant d'affiner les connaissances au sujet de l'évolution du climat, des voix s'élèvent et mettent en doute leurs conclusions.

En science, une majorité ne forme pas une vérité. Si la plupart des experts en climatologie souscrivent à la thèse générale du *GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat)* selon laquelle les activités humaines sont très probablement à la base d'un réchauffement climatique dangereux, cette thèse est régulièrement réfutée par ceux que l'on appelle les «climato-sceptiques». Sans bonnes connaissances en climatologie, le commun des mortels est souvent démuné face aux arguments contradictoires des uns et des autres. Et certains médias, plus friands de polémique que de véritable information, ajoutent à la confusion.

Si l'on écarte ceux qui défendent des intérêts particuliers – à l'aide de stratégies de désinformation qui rappellent celles des cigarettiers dans les années '80 – et ceux qui ne voient dans le GIEC que le bras armé d'un complot politico-écologiste planétaire, il reste des sceptiques sans doute sincères dont le propos se fonde sur des arguments scientifiques.

Bien que les arguments fusent dans toutes les directions, on peut grossièrement classer les sceptiques en deux grandes catégories: ceux qui nient ou minimisent l'origine anthropique du réchauffement, et ceux qui en contestent la gravité. Les premiers avancent des

éléments tendant à démontrer que les émissions de gaz à effet de serre découlant de l'activité humaine ne sont que peu – voire pas du tout – responsables de la hausse des températures observée depuis le milieu du 20^{ème} siècle. Celle-ci serait surtout liée à des facteurs naturels. Les seconds, pas nécessairement distincts des premiers, contestent les bases scientifiques des scénarios prédictifs projetant les conséquences que l'on peut attendre du réchauffement.

Quels sont leurs arguments pour s'opposer ainsi à l'avis de la grande majorité des spécialistes du climat? La complexité du système terrestre et ses relations avec l'Univers sont le point de départ de la plupart des questions et incertitudes pouvant encore planer autour de l'origine et des conséquences du réchauffement climatique actuel.

Le soleil, moteur du réchauffement

L'argument le plus souvent avancé pour réfuter la thèse de l'origine humaine du réchauffement est relatif à la position de la Terre par rapport au Soleil et l'activité de celui-ci. De tout temps, ce serait l'intensité de l'activité solaire, la forme de l'orbite de la Terre autour du Soleil et l'inclinaison de notre planète sur cette orbite qui auraient régi les températures. «Sur 800 000 ans, si on met de côté ces 200 dernières années, on voit effectivement que ce sont les facteurs naturels, tels que les très lents changements de l'orbite terrestre et la position de la Terre sur celle-ci, qui ont déclenché les changements climatiques passés», concède Jean-Pascal van Ypersele, vice-président du GIEC et climatologue de l'Université catholique de Louvain (BE). Mais si ces paramètres varient bien au cours de grandes échelles de temps, ils ne suffisent pas à expliquer la forte augmentation des températures mise en évidence depuis la révolution industrielle. «Ne mélangeons pas des échelles de temps très différentes (!).»

Les activités humaines premières responsables du réchauffement? Le débat est loin d'être clos.

Des mesures sur les quantités de CO₂ s'échappant dans l'atmosphère sont réalisées un peu partout dans le monde, avec des méthodes différentes.



Tour de 35 mètres installée dans la forêt de Barbeau (FR) pour la mesure des flux de carbone et d'eau entre un écosystème forestier et l'atmosphère.



Prélèvements d'eau de mer en Méditerranée effectués dans le cadre du projet EPOCA visant à mieux comprendre l'acidification des océans. Ceux-ci absorbent les émissions de gaz carbonique dues aux activités humaines ce qui entraîne l'acidification des eaux.



Instruments portés par un cerf-volant mesurant la température, le vent et les quantités de CO₂ entre 100 et 200 mètres. Cette expérience, réalisée au Bénin, s'inscrit dans le cadre de la campagne Amma (Analyses multidisciplinaires de la mousson africaine).

Et si le CO₂ n'était certainement pas le seul facteur de causalité aux origines, ce gaz aurait été un facteur d'amplification des effets des changements de la distribution et de la quantité totale d'énergie solaire disponible à la surface de la Terre. «Le point de départ, ce sont les facteurs astronomiques, et il est tout à fait probable que les petits changements climatiques causés par ces fluctuations aient affecté le cycle du carbone qui aurait à son tour influencé les climats passés».

L'œuf ou la poule?

On touche là un autre point sensible du débat: la relation entre la concentration en CO₂ de l'atmosphère et les variations de température. Alors que la plupart des climatologues affirment que la hausse de la concentration en CO₂ dans l'atmosphère induit une hausse des températures sur Terre, certains scientifiques, graphes à l'appui, soulignent qu'au cours des temps géologiques, c'est plutôt l'augmentation des températures qui engendre des concentrations accrues de CO₂, et non l'inverse. «De fait, après une augmentation de température causée par des facteurs astronomiques, les océans chauffent et sont moins aptes à dissoudre le CO₂ atmosphérique. C'est une loi de la chimie: le CO₂ se dissout mieux dans l'eau froide que dans l'eau chaude. Alors, une part plus grande de ce gaz va rester dans l'atmosphère.»

La température influe donc bien sur la concentration en CO₂. «Les sceptiques ont raison de dire que le CO₂, aux échelles du passé, suit l'augmentation de la température. Mais une fois qu'il s'accumule, il vient renforcer l'effet de serre naturel et amplifie le réchauffement. Si vous épaissez la couche de CO₂ dans l'atmosphère, c'est comme si vous rajoutiez une couverture sur votre lit, vous avez encore plus chaud!»

Une poussière qui pèse lourd

Ainsi donc les relations entre facteurs astronomiques, température et concentration en CO₂ atmosphérique exposées par les «climato-sceptiques» d'une part, et par les «climato-convaincus» d'autre part, une fois démêlées, ne semblent pas être diamétralement opposées. Toute la question reposerait alors sur le poids des gaz à effet de serre émis par l'homme sur ce système terrestre complexe. Et là aussi les opinions divergent. Pour les uns, il s'agit d'un poids plume alors que pour les autres, c'est du poids lourd.

«La concentration en CO₂ dans l'atmosphère est ridicule par rapport à celle de la vapeur d'eau, qui est le principal gaz à effet de serre (GES), et les émissions naturelles de CO₂ sont nettement plus importantes que celles de l'homme», argumentent régulièrement les sceptiques. L'effet de serre est effectivement un

phénomène naturel qui rend la vie possible sur Terre. Sans lui, il ferait -18°C au lieu de 15°C en moyenne à la surface du globe. «Et la vapeur d'eau est, en effet, le premier gaz à effet de serre. Mais le problème n'est pas l'effet de serre en lui-même, c'est son intensification, bien documentée, mesurée par satellite depuis 40 ans, qui est bien due aux activités humaines. Les analyses de la composition isotopique du CO₂ atmosphérique prouvent que l'origine de l'augmentation de CO₂ dans l'atmosphère découle bien des combustibles fossiles.»

Il reste vrai que les émissions naturelles de CO₂ sont bien plus importantes que celles qui découlent des activités humaines. «Lors d'un exposé sur le cycle du carbone à la fédération pétrolière de Belgique, en 1997, un climatologue mentionnait que les flux de carbone d'origine naturelle sont d'environ 200 milliards de tonnes par an, contre 8 milliards de tonnes d'origine humaine. Il estimait donc ridicule de vouloir s'attaquer aux quatre malheureux pourcent que représentent les émissions anthropiques.» Mais tout est une question d'équilibre. «Ce qu'il n'a pas dit, c'est que les systèmes naturels recyclent leurs émissions, notamment grâce à la photosynthèse.» Ces systèmes absorberaient ainsi autant de dioxyde de carbone qu'ils en émettent. «C'est une balance en équilibre: si on ajoute une poussière – ici le CO₂

anthropique – d'un côté, elle se déséquilibre complètement. Sans compter la déforestation de masse que connaît notre planète et qui vient alléger le poids de l'autre côté de la balance...

Quand la porte du GIEC claque

Les modèles climatiques⁽²⁾ sur lesquels s'appuie le GIEC pour faire ses prévisions font également débat. Sont-ils fiables? Les plus sceptiques estiment que la connaissance des paramètres qui influent sur le climat terrestre est insuffisante pour tirer des conclusions. «Il n'y a jamais de certitude en science, mais les modèles climatiques ne sont pas de simples extrapolations statistiques, contrairement à ce que certains prétendent.» Fondés sur des lois physiques, chimiques et biologiques bien établies, les modèles doivent d'abord pouvoir simuler le climat actuel. L'étape suivante consiste à vérifier qu'ils sont également capables de reproduire les climats du passé. «Cela permet de valider l'outil sur les observations du climat de centaines, milliers, voire centaines de milliers d'années, effectuées notamment grâce aux carottes glaciaires. On peut ensuite utiliser les modèles, non pas pour prédire le climat futur car ce n'est pas possible, mais pour effectuer des projections.» Et si l'on en croit les modèles, ces projections varient fortement en fonction des scénarios futurs d'émissions de GES...

Dans le film documentaire de Martin Durkin, «*The Great Global Warming Swindle*», on voit apparaître des scientifiques qui ont quitté le GIEC pour cause de désaccord avec les projections des rapports destinés aux décideurs politiques. Des experts en climatologie, donc, qui tournent le dos à leurs collègues: de quoi semer le doute dans les esprits. «Malgré que ce soit un groupe d'experts intergouvernemental, le processus de rédaction des rapports est très indépendant. Les auteurs écrivent les textes sur base de la littérature scientifique et ces textes sont soumis à trois cycles de lecture, par les experts et par les gouvernements.» Chaque commentaire associé à une ligne ou à un paragraphe est inscrit dans un tableau, les auteurs indiquant ensuite comment ils en tiennent compte. Des relecteurs sont chargés de veiller à ce que chaque commentaire soit honnêtement évalué par les auteurs. Et, par souci de transparence, les tableaux sont accessibles à tous sur le site du GIEC.



© CNRS Photothèque/PEV/Claude Delhay
Extraction d'une carotte de glace
 réalisée en Antarctique dans le cadre du programme EPOCA.

approches telles que l'analyse d'archives historiques, de cernes d'arbres, de sédiments des lacs, de carottes glaciaires, ainsi que la modélisation», indique Rob Wilson, paléoclimatologue de l'université de Saint Andrews en Écosse (UK). «Chaque approche montre ses forces et ses faiblesses, et nous utilisons les forces de chaque type de données pour établir un historique du climat de l'Europe au cours de ces 1000 dernières années», poursuit-il.

Une fois les données récoltées et analysées, elles sont comparées aux résultats obtenus par modélisation. «Si ces deux sources d'information indépendantes concordent, cela permet non seulement une meilleure compréhension des changements climatiques passés, mais également l'identification des facteurs dominant ces changements pour les différentes périodes», explique le chercheur. Le projet *Millennium European Climate* devant s'achever en juin 2010, les résultats finaux ne sont pas encore disponibles mais les analyses préliminaires effectuées jusqu'ici à l'échelle européenne «sont globalement en ligne avec les conclusions du GIEC», précise Rob Wilson.

137.44.8.181/millennium

«Un rapport, cela représente des centaines d'auteurs, et au total 2 500 experts qui participent aux relectures. Que certains, à un moment donné, soient mal à l'aise – et cela n'enlève rien au fait que ce sont de bons scientifiques – parce qu'ils ne peuvent pas faire passer leurs idées sans qu'elles soient confrontées à d'autres aspects de la littérature ou à des commentaires, c'est inévitable.»

À sceptique, sceptique et demi...

Simple querelle d'experts? Le débat, en tout cas, atteint parfois une virulence étonnante. Certains sceptiques n'hésitent pas à évoquer la «pensée unique» du GIEC. Et se voient eux-mêmes qualifiés, à l'occasion, de «négalionnistes» ou de «révisionnistes». La dramatisation de la controverse dans certains médias et sur de nombreux blogs contribue par ailleurs à installer une vision manichéenne de la question, comme si elle se réduisait à une question de foi. Face à ces voix discordantes et amplifiées, le grand public ne sait plus à quelle sauce consommer le chaud-froid climatologique actuel. Et oublie peut-être que le doute est indissociable de la recherche de la vérité. «Tous les scientifiques ont le devoir d'être sceptiques.

Mille ans de climat en Europe

Déterminer si les changements climatiques actuels dépassent la variabilité naturelle du climat européen, observée au cours de ce dernier millénaire, c'est l'objectif du projet européen du 6^{ème} programme-cadre *Millennium European Climate*. Les chercheurs des 40 universités et instituts de recherche participant à celui-ci ont rassemblé leurs compétences dans divers domaines pour tenter de reconstruire les climats passés du Vieux Continent. «C'est un projet pluridisciplinaire qui utilise différentes

Je ne vois pas pourquoi certains devraient avoir le monopole du scepticisme.»

Les enjeux économiques, politiques et sociaux sont, bien sûr, monumentaux. Si l'influence des activités humaines sur le climat est négligeable, beaucoup d'efforts risquent d'être produits pour rien – encore que ceux qui visent à pallier l'épuisement programmé des ressources fossiles restent vitaux pour notre avenir énergétique. Si, au contraire, le facteur anthropique vient peser sur un équilibre naturel fragile au point de le perturber durablement, ne rien faire pour l'alléger et se préparer aux conséquences de son impact, relève, en regard des générations qui nous suivent, de la négligence coupable. ●

Audrey Binet, Jean-Pierre Geets

(1) Toutes les citations non attribuées sont de Jean-Pascal van Ypersele.

(2) Voir l'article «*Les outils du diagnostic*» dans ce numéro.

 GIEC

www.ipcc.ch

**Actualité scientifique du
 changement climatique**

www.realclimate.org

Les prémices d'un geyser

Ces bulles de gaz annoncent le jaillissement du célèbre geyser de Strokkur, en Islande. L'image a été prise quelques millièmes de seconde avant l'éruption. Elle a valu à son auteur danois de 17 ans, Ela Ugur, un «Gold Award» au concours de photos organisé par le Milset (Mouvement international pour le loisir scientifique et technique) en 2009. Pour les initiateurs de cette compétition annuelle, ouverte aux moins de 25 ans, l'objectif est de proposer «un espace pour que les jeunes puissent exprimer de façon créative, en images, ce qu'ils observent dans les sciences. Y participer est aussi facile que d'appuyer sur le déclencheur».