

# cnrs

le journal

Tiré à part du  
n° 274  
septembre-octobre 2013

## LES EXPERTS DU CLIMAT

- Comment les scientifiques ont bâti le 5<sup>e</sup> rapport du Giec
- Leurs méthodes pour étudier le changement climatique
- Leurs incertitudes

cnrs

dépasser les frontières

Du 23 au 26 septembre, scientifiques et délégations gouvernementales venant du monde entier se réunissent à Stockholm, en Suède. Ils doivent approuver le premier volet du 5<sup>e</sup> rapport du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (Giec), état de l'art des connaissances scientifiques sur le climat de la Terre. Comment ce document est-il élaboré? Comment les scientifiques mènent-ils leurs recherches sur le changement climatique? Que savent-ils réellement et que leur reste-t-il à découvrir? *CNRS Le journal* vous dévoile les dessous de la climatologie.

UNE ENQUÊTE D'ÉMILIE BADIN, DENIS DELBECQ ET FABRICE DEMARTHON



# LES EXPERTS DU CLIMAT

- **Comment les scientifiques ont bâti le 5<sup>e</sup> rapport du Giec**
- **Leurs méthodes pour étudier le changement climatique**
- **Leurs incertitudes**



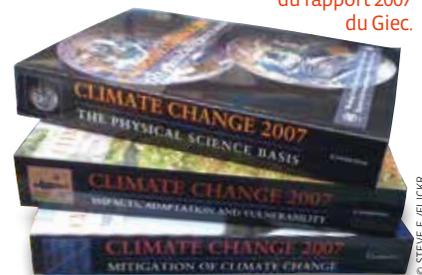
© J. E. ROSS/CORBIS

« **Notre tâche première est d'informer sur le changement climatique, de présenter en toute objectivité les dernières données sur de nombreux aspects du phénomène, dont certains sont encore mal compris.** » C'est ainsi que Rajendra Pachauri définit le travail du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (Giec), dont il est le directeur. « *Le 5<sup>e</sup> rapport est établi d'après l'expertise de 830 scientifiques travaillant bénévolement à travers le monde et issus de nombreuses disciplines différentes* », nous précise-t-il.

#### UNE SOMME EN TROIS TOMES

Afin d'établir ce rapport d'évaluation, « *les auteurs étudient l'ensemble de la littérature scientifique disponible pour transcrire ce que l'on sait à un moment donné* », explique le climatologue Jean Jouzel<sup>1</sup>, membre du bureau du Giec. Le Giec n'est donc pas un producteur de science. Ses rapports, élaborés tous les six ou sept ans (le précédent a été achevé en 2007), se présentent en trois volets : le premier sur la science du changement climatique, qui doit être rendu public ces jours-ci, le deuxième sur ses conséquences et les moyens de s'y adapter, et

Les trois volumes  
du rapport 2007  
du Giec.



© STEVE E. JELICKER

le troisième sur la manière d'inverser la tendance. Pour le 5<sup>e</sup> rapport, ces deux dernières parties seront dévoilées respectivement en mars et en avril 2014, avant le document de synthèse en octobre 2014.

Comme l'ont souligné Jean Jouzel et de nombreux autres scientifiques, le rapport du Giec n'est qu'un instantané des savoirs sur le changement climatique. Il ne s'agit nullement d'une bible figée qui transmettrait une sorte de pensée unique des scientifiques sur le climat. « *Notre position, qui réaffirme la réalité du changement climatique, pourrait faire penser que nous refusons le débat*, indique Hervé Le Treut, directeur de l'Institut Pierre-Simon-Laplace (IPSL)<sup>2</sup>. *Or ce débat existe bel et bien : sur l'ampleur du changement, sur les stratégies d'adaptation, sur les manières de lutter contre le phénomène...* » Et, malgré un processus de révision strict (lire pp. 4-5), des erreurs sont toujours possibles. Ainsi, le 4<sup>e</sup> rapport faisait état d'une fonte des glaciers de l'Himalaya plus rapide que dans la réalité.



01 Au centre, Rajendra Pachauri ouvrant une session de travail du Giec, à Bangkok, en avril 2007.

© S. KHAN/WFP

# Le Giec



© UNIFCCC

Pour autant, la finalité du travail du Giec reste de « fournir un document de référence indiscutable – car approuvé à l'unanimité – lors des négociations climatiques internationales par les gouvernements », rappelle Nicolas Bériot, secrétaire général de l'Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique (Onerc), l'organisme qui pilote la délégation gouvernementale française au Giec. Les prochaines négociations auront justement lieu en novembre 2013 à Varsovie, en Pologne, puis en 2014 au Pérou et en 2015 en France.

## DES ENGAGEMENTS FORTS NÉCESSAIRES

« Le rôle des scientifiques s'arrête là, estime Hervé Le Treut. Nous pouvons et devons alerter, mais nous ne pouvons pas être les prescripteurs de telle ou telle mesure. » D'autant que la lutte contre le changement climatique est un vrai casse-tête. Il faut composer avec ce que la science nous apprend des modifications physiques de notre Terre, des implications sur la faune et la flore, donc sur nous et nos moyens de subsistance, mais aussi avec les réalités économiques et sociales des pays. « Prenez les mesures de diminution des gaz à effet de serre (lire pp. 10-11), observe Hervé Le Treut. Il y a désormais un accord très large sur la nécessité d'engagements forts, mais il n'existe pas de bouton on/off pour y parvenir. Cela passe par une volonté politique, mais aussi par des mesures complexes à intégrer à l'économie ou à un tissu social qui peut les rejeter. »

1. Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement (CNRS/CEA/UVSQ)-IPSL.  
2. L'IPSL regroupe six laboratoires sous dix tutelles : CNRS/UPMC/UVSQ/Cnes/CEA/IRD/ENS/Ecole polytechnique/Université Paris-Diderot/Upec.

**CONTACTS :**  
**Nicolas Bériot**  
 > nicolas.beriot@developpement-durable.gouv.fr  
**Jean Jouzel**  
 > jean.jouzel@lsce.ipsl.fr  
**Hervé Le Treut**  
 > letreut@lmd.jussieu.fr  
**Rajendra Pachauri**  
 > ipcc-sec@wmo.int

02 Le rapport d'évaluation du Giec sert de base de réflexion lors des négociations climatiques, comme ici à Doha en 2012.



A voir sur le journal en ligne : le film *La Fin du monde?*

**EN LIGNE**  
 Le site Internet du Giec :  
 > [www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch)

## GENÈSE D'UN RAPPORT

**Le Giec**  
 approuve les  
 grandes lignes

Les gouvernements  
 et les organisations  
 désignent  
 des **spécialistes**



Les bureaux  
 choisissent  
 les **auteurs**



Les auteurs rédigent  
 un **premier projet de texte**  
 à partir de la  
 littérature scientifique



**Examen**  
 par les spécialistes



# en quatre questions

## QU'EST-CE QUE LE GIEC ?

Créé en 1988 sous l'égide du Programme des Nations unies pour l'environnement et de l'Organisation météorologique mondiale, et ouvert à tous les États membres de l'ONU, le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (Giec) associe une assemblée plénière de représentants des États et la communauté scientifique. Sa mission : établir régulièrement une expertise collective scientifique sur le changement climatique. Il ne compte qu'une douzaine de salariés, installés en Suisse, à Genève. « Il fonctionne avec un budget propre d'environ 6 millions d'euros par an, explique Nicolas Bériot. Ce budget finance les déplacements des chercheurs des pays en développement, le secrétariat central et l'édition des rapports. » Le secrétariat des trois groupes de travail est pris en charge par trois pays hôtes : pour ce 5<sup>e</sup> rapport, ce sont la Suisse, les États-Unis et l'Allemagne. Il existe également un bureau composé de 30 scientifiques élus par les délégations gouvernementales.

## QUI RÉDIGE LES RAPPORTS ?

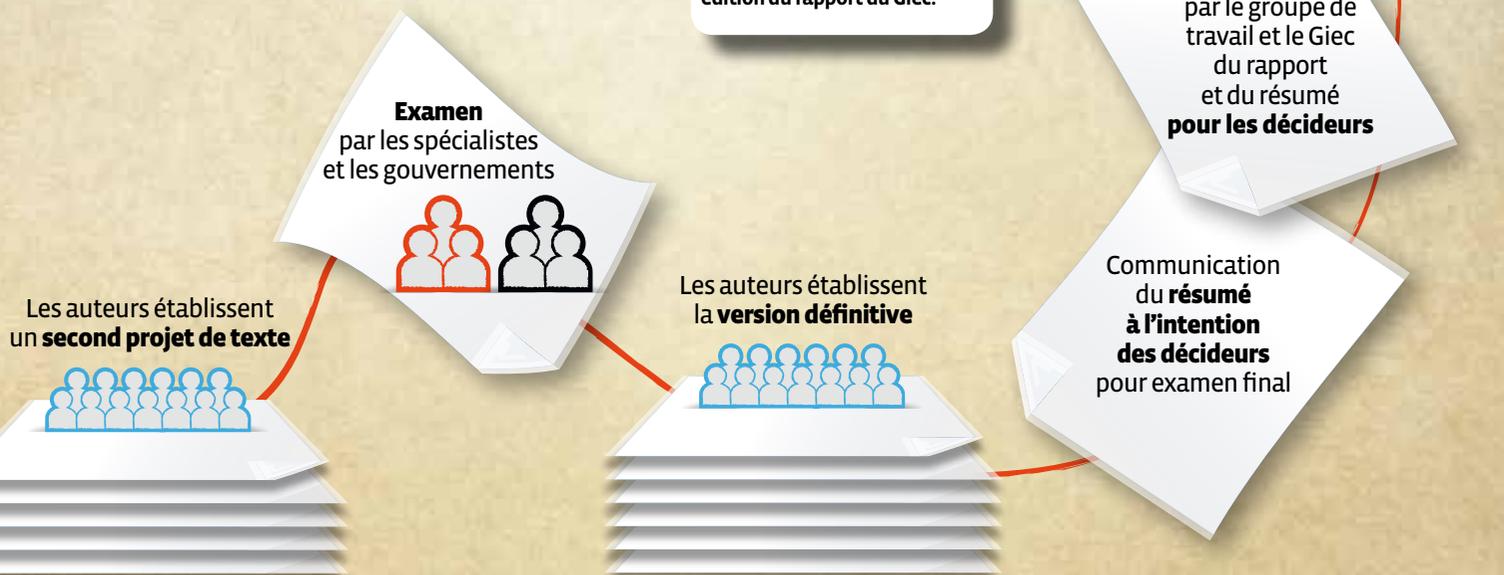
Parmi les 830 scientifiques auteurs du 5<sup>e</sup> rapport, 34 travaillent en France. En début de cycle, le bureau propose le sommaire du rapport, puis choisit les auteurs parmi les candidats proposés par les États qui composeront les trois groupes de travail : le groupe I sur la science du changement climatique ; le groupe II sur les impacts et l'adaptation ; le groupe III sur la lutte contre le réchauffement. « Les auteurs ne sont pas rémunérés par le Giec pour leur participation, insiste Nicolas Bériot. Ils ne touchent que le salaire versé par leur institution d'appartenance. » « Pour le premier groupe de travail, nous avons reçu 1 000 candidatures et en avons sélectionné environ 250 », explique Jean Jouzel. Le choix repose d'abord sur l'excellence scientifique et vise la parité hommes/femmes, une bonne répartition géographique et la meilleure participation possible des scientifiques de pays en développement.

## COMMENT LES RAPPORTS SONT-ILS ÉLABORÉS ?

« Le travail de rédaction proprement dit dure environ deux ans et demi », observe Jean Jouzel. Chaque chapitre, écrit par une vingtaine d'auteurs, est une analyse critique des connaissances issues des publications scientifiques sur un sujet donné. Pour le premier volet du 5<sup>e</sup> rapport, les derniers résultats à pouvoir être pris en compte devaient avoir été acceptés pour publication au plus tard en mars 2013. La première version du document est diffusée auprès des scientifiques du Giec qui font leurs commentaires. La seconde est ouverte à un public plus large : n'importe quel scientifique qui peut justifier d'une compétence sur le sujet peut participer à ce processus de révision. À chaque fois, des milliers de commentaires doivent être traités par les auteurs. Parallèlement, un groupe rédige deux résumés du millier de pages que compte chaque volet du rapport. Le premier est une synthèse technique, tandis que le second est un résumé pour décideurs, le document le plus médiatisé de chaque édition du rapport du Giec.

## LES ÉTATS ONT-ILS LEUR MOT À DIRE ?

Les gouvernements peuvent participer à l'élaboration du sommaire en demandant que soient détaillés certains sujets, le niveau des mers par exemple. À la fin de la rédaction, tous les textes leur sont soumis en vue de l'approbation finale et unanime lors de l'assemblée plénière du Giec. « En France, cette révision est faite par quelques dizaines d'experts et de scientifiques », indique Nicolas Bériot, qui centralise leurs remarques pour donner l'appréciation officielle de la France. Une révision qui n'a rien d'une censure. « On critique souvent cette intervention des politiques, explique Jean Jouzel. Mais, quand un pays souhaite réviser un point donné du résumé, il doit le justifier à partir d'informations contenues dans le rapport lui-même. Il s'agit donc, pour l'essentiel, de corrections de forme. »



# Dans les coulisses de la recherche

**Pour étudier le climat, les scientifiques combinent mesures satellites, prélèvements, observations sur le terrain et simulations numériques.**



## PLONGÉE DANS LES ARCHIVES DU PASSÉ

→ **Depuis 1850, les stations météorologiques, renforcées depuis une trentaine d'années par les satellites, fournissent des données de plus en plus précises sur le climat.** Mais, faute d'informations sur des époques reculées, difficile d'appréhender la complexité de la machine climatique terrestre. «*Fort heureusement, la nature nous a légué toute une série d'archives naturelles qui témoignent des climats passés,* explique Valérie Masson-Delmotte, paléoclimatologue au Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement (LSCE), l'un des six laboratoires de l'IPSL. Ce sont, par exemple, les coraux, les sédiments, les calottes glaciaires, les glaciers, les stalagmites, les sols et les coquillages anciens ou les arbres, qui conservent une mémoire des conditions qui régnaient quand ils se sont formés. »

Les carottes de glace extraites jusqu'à 3270 mètres de profondeur près du pôle Sud par la collaboration européenne Epica, à laquelle le CNRS a participé, ont ainsi permis de décrire 800 000 ans de composition atmosphérique et de climat antarctique, et contribuent à faire connaître l'histoire des huit derniers cycles climatiques terrestres qui alternent entre périodes froides (glaciaires) et chaudes (interglaciaires) suivant les paramètres de l'orbite terrestre.

«*Pour pouvoir interpréter ces informations, il faut, aussi précisément que possible, comprendre comment le signal climatique s'imprime dans les paramètres biologiques, chimiques ou physiques des milieux,* détaille Valérie Masson-Delmotte. Cela repose sur des observations in situ, comme celles que

03 Le carottage de la glace en Antarctique permet de reconstituer la composition passée de l'atmosphère de la Terre. 04 Section d'une stalagmite de la grotte de Villars, en Dordogne, ayant enregistré les variations du climat entre -82000 et -30000 ans.

conduit mon collègue Dominique Genty sur des grottes du Sud-Ouest de la France, pour comprendre les processus qui relient climat de surface, infiltration d'eau, formation de la calcite et composition des stalagmites. » Les paléoclimatologues disposent pour ces analyses de méthodes toujours plus sophistiquées et applicables à des échantillons de plus en plus petits. «*Il y a aussi un travail délicat de datation de ces archives pour pouvoir combiner les différents enregistrements climatiques obtenus pour une période donnée,* précise Valérie Masson-Delmotte.

Ces observations sont confrontées aux résultats des simulations conduites avec les mêmes modèles numériques que ceux utilisés pour comprendre les changements climatiques récents et à venir. «*C'est important, par exemple, pour évaluer la sensibilité du climat, autrement dit le changement de température de surface induit par une perturbation de l'équilibre énergétique de la Terre,* résume Valérie Masson-Delmotte. Sans oublier que les variations du climat intéressent aussi les historiens : ainsi, la dernière période glaciaire a été le point de départ d'une colonisation de nombreux territoires par nos ancêtres.

CONTACT :

**Valérie Masson-Delmotte**  
> [valerie.masson@lsce.ipsl.fr](mailto:valerie.masson@lsce.ipsl.fr)

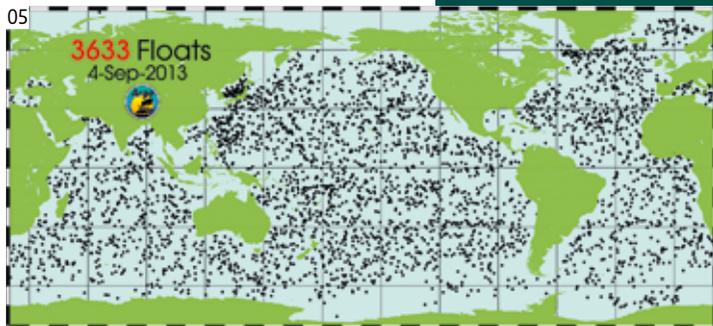


Avoir sur le journal en ligne :  
le film *Mais où sont les neiges d'antan ?*



→ **L'étude du climat repose aussi sur un arsenal d'observations en continu à terre, dans les océans et depuis l'espace.** Elles permettent à la fois de quantifier le réchauffement, mais aussi d'en mesurer les conséquences. « Dans notre laboratoire, nous nous concentrons sur la mesure du niveau des océans, raconte Anny Cazenave, du Laboratoire d'études en géophysique et océanographie spatiales<sup>1</sup>. À partir des informations des satellites, nous pouvons déterminer la vitesse à laquelle le niveau moyen des océans augmente et observer les variations d'une région du globe à une autre. »

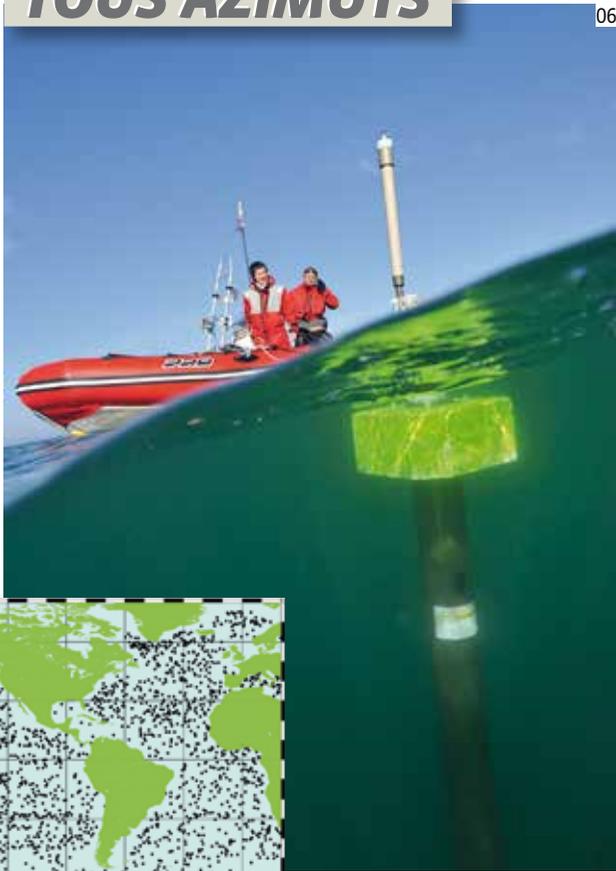
En moyenne, depuis vingt ans, le niveau moyen des mers a grimpé de 3 millimètres par an. « Une grande partie de notre travail consiste à comprendre les raisons de cette hausse et à évaluer leur importance », signale la chercheuse. Environ 30% de l'élévation s'explique par le réchauffement des eaux : l'eau occupe



d'autant plus de volume qu'elle est chaude. « Ensuite, 30% de la hausse vient de l'eau apportée par la fonte des glaciers, et entre 20 et 25% proviennent du déversement de la glace des calottes glaciaires dans l'océan », poursuit Anny Cazenave. Il reste encore des phénomènes mal évalués, comme l'évolution des eaux pluviales des continents, la fonte des sols gelés aux hautes latitudes (pergélisol), etc. « Nous essayons aussi d'expliquer la variabilité naturelle. El Niño, le phénomène de réchauffement des eaux du Pacifique, fait grimper la hauteur des océans de 1 centimètre. Le mécanisme inverse, La Niña, la fait baisser », précise la chercheuse.

Avant les premières mesures altimétriques depuis l'espace, au début des années 1990, l'essentiel des données était collecté par les bateaux de commerce

## DES OBSERVATIONS TOUS AZIMUTS



05 06 Plus de 3000 bouées Argo mesurent les caractéristiques des océans. 07 L'air est capté et analysé pour évaluer la quantité de gaz à effet de serre, notamment par le réseau de stations Ramces du LSCE.

volontaires et les navires océanographiques. Depuis, plusieurs satellites sont venus renforcer l'arsenal. De même, à partir de 2000, la communauté internationale a déployé le réseau international Argo : plus de 3000 bouées dérivent sur les océans du globe et mesurent en continu la température et la salinité de l'eau, de la surface jusqu'à 2000 mètres de profondeur. « Cela permet de mesurer la chaleur stockée dans les océans. Ce sont les écarts liés aux courants qui expliquent que l'eau s'élève beaucoup plus vite par endroits, comme à l'ouest du Pacifique ou au sud du Groenland », résume Anny Cazenave.

Bien évidemment, les observations climatiques ne portent pas que sur l'océan. Les scientifiques scrutent aussi les conditions qui règnent au-dessus des terres émergées : température, pression

atmosphérique, humidité de l'air, nébulosités, etc. « L'ensemble des données observées sont utilisées de plusieurs manières, explique Serge Planton<sup>2</sup>, le responsable de la recherche climatique à Météo France. Elles permettent notamment d'étudier le climat du xx<sup>e</sup> siècle de manière très fine. Cela sert à vérifier que nos modèles décrivent correctement les phénomènes et cela fournit un état de l'océan et de l'atmosphère très précis qui sert de point de départ aux modélisations du climat futur. »

Depuis les années 1960, les climatologues disposent avec les satellites de données beaucoup plus complètes, en particulier dans les régions désertes du globe et les océans. « Mais cela introduit une hétérogénéité dans les données qui peut fausser nos analyses si on n'y prend pas garde, constate Serge Planton. Ainsi, l'augmentation constatée du nombre de cyclones dans l'hémisphère Sud au cours du xx<sup>e</sup> siècle est surtout liée au nombre croissant d'observations par satellite. » Et celui-ci d'ajouter : « Ce problème se pose avec chaque nouvelle génération de capteur embarqué sur un satellite. L'homogénéisation des données est essentielle afin qu'elles puissent ensuite être utilisées pour évaluer les tendances climatiques et interpréter les évolutions constatées à partir des modèles. »

1. Unité CNRS/Cnes/IRD/UPS.
2. Groupe d'étude de l'atmosphère météorologique (Unité CNRS/Météo France).

#### CONTACTS :

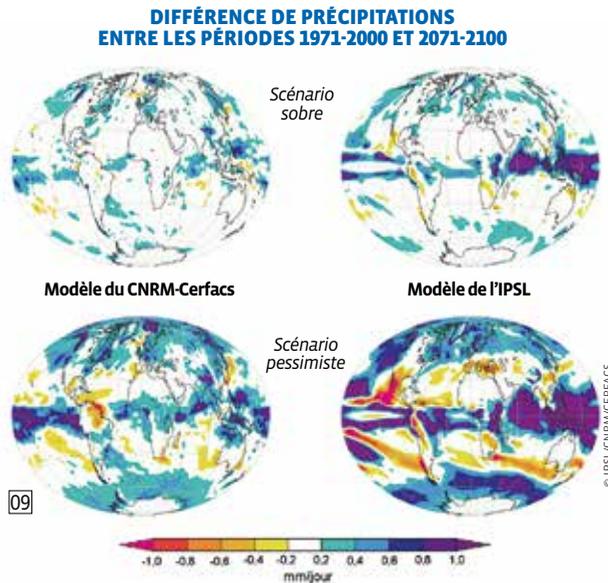
**Anny Cazenave**  
> [anny.cazenave@legos.obs-mip.fr](mailto:anny.cazenave@legos.obs-mip.fr)  
**Serge Planton**  
> [serge.planton@meteo.fr](mailto:serge.planton@meteo.fr)



# D'INDISPENSABLES MODÉLISATIONS

→ **Les modèles climatiques sont des programmes informatiques qui décrivent la planète et ses différents éléments** : les terres émergées, le relief, la végétation, les volcans, l'atmosphère, les océans, la banquise, etc. L'océan et l'atmosphère sont découpés en centaines de milliers de petits éléments dans lesquels s'appliquent les équations de la physique et de la chimie, chaque élément interagissant avec ses voisins. À partir des données d'observation à un instant donné, le modèle calcule ce qu'il advient de chacun des éléments vingt ou trente minutes plus tard ; et ainsi de suite, pour reproduire le climat sur des décennies, voire des siècles. La modélisation demande donc une puissance de calcul extraordinaire. Bien évidemment, ces modèles prennent en compte les émissions de gaz à effet de serre liées aux activités humaines.

Pour préparer le 5<sup>e</sup> rapport du Giec, les groupes de modélisation se sont mis d'accord sur un cadre de travail baptisé CMIP5, qui définit un ensemble de simulations à conduire sur les climats passé, présent et à venir. « Nous vérifions, par exemple, que nos modèles sont capables de reproduire la variabilité naturelle du climat telle qu'elle existait avant le milieu du XIX<sup>e</sup> siècle », explique Pascale Braconnot, du Pôle de modélisation climatique de l'IPSL, qui conçoit l'un des deux modèles climatiques français, l'autre étant réalisé



08 Les modélisateurs, comme ici au LSCE, prévoient le climat futur grâce à des programmes complexes.

09 Ils évaluent, par exemple, l'évolution des précipitations moyennes selon divers scénarios.

10 Pour la simulation du climat, l'océan et l'atmosphère sont découpés en mailles élémentaires.

par Météo France. Un modèle doit en effet pouvoir reproduire l'alternance des saisons et des phénomènes océaniques cycliques comme El Niño ou l'oscillation Nord-Atlantique. « Ensuite, poursuit Pascale Braconnot, nous simulons la période 1860-2005 pour quantifier le rôle des différents phénomènes – naturels et résultants de l'activité humaine – susceptibles de modifier le climat : les variations de la quantité d'énergie solaire, les éruptions volcaniques et les aérosols naturels, mais aussi les gaz à effet de serre, les particules rejetées par les activités humaines, les changements d'utilisation des sols (déforestation), etc. » Ce sont ces études qui permettent d'attribuer, de manière certaine, le réchauffement récent aux activités humaines.

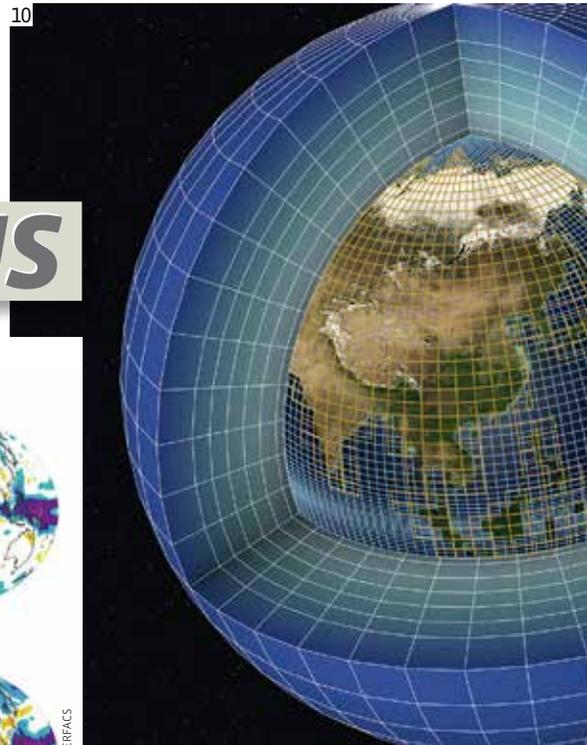
Les modèles prédictifs reposent sur quatre hypothèses, quatre scénarios physiques qui portent sur une évolution possible de la quantité d'énergie captée par la Terre. Au cours du XX<sup>e</sup> siècle, la température a grimpé d'environ 0,9°C en raison d'un surplus d'énergie – le forçage radiatif – de 1,8 W/m<sup>2</sup>. « Cela peut paraître peu, puisque la surface de la Terre reçoit en moyenne 200 W/m<sup>2</sup>. Mais il faut savoir

que la différence entre la dernière période glaciaire et notre époque n'est que de 3 à 6 W/m<sup>2</sup> », précise Pascale Braconnot. Les quatre évolutions possibles de ce forçage radiatif ont été définies avec une valeur comprise, à l'horizon 2100, entre 2,6 et 8 W/m<sup>2</sup>. Une manière de tenir compte de l'ensemble des évolutions possibles de nos émissions de gaz à effet de serre.

Suivant le scénario choisi, l'augmentation de température au cours du XXI<sup>e</sup> siècle serait de 2 à 5°C, annoncent les travaux déjà publiés qui servent de base scientifique au rapport du Giec à paraître. La tendance actuelle des émissions de gaz à effet de serre place la Terre sur une trajectoire de fort réchauffement global, et donc d'une hausse de température prévisible proche de 5°C, à moins que des décisions énergiques soient prises très rapidement : le scénario qui conduit à une hausse de 2°C suppose qu'on nettoie l'atmosphère d'une partie de son gaz carbonique dès 2070. Autrement dit, nous aurons probablement, en un seul siècle, un réchauffement global dont l'ampleur est équivalente à une déglaciation qui s'étale d'ordinaire sur des millénaires !

**CONTACT :**  
Pascale Braconnot  
> [pascale.braconnot@lsce.ipsl.fr](mailto:pascale.braconnot@lsce.ipsl.fr)

▶ Voir sur le journal en ligne :  
le film *Quel climat dans le futur ?*





© IPS/CEA



À voir sur le journal  
en ligne : le film  
*Métatron, une nature  
en cage.*

le Bassin nord-occidental de la Méditerranée, profitant de températures plus clémentes. « *Le mérou se reproduisait sur les côtes d'Afrique du Nord. Désormais, il se reproduit aussi sur nos côtes* », remarque Jean-Pierre Féral. Le réchauffement et les canicules qu'il provoque ont parfois des conséquences dramatiques. « *En 1999, 2003, 2006 et 2009, la mortalité a été catastrophique pour certaines espèces d'éponges, d'algues et d'invertébrés*, poursuit le chercheur. *Pendant plus d'un mois, les eaux chaudes de surface sont venues remplacer l'eau à 12-13 °C des profondeurs, touchant des espèces qui ne peuvent se déplacer.* »



© S. BEC/CNRS PHOTO THÈQUE

Pour distinguer l'effet du climat de celui des autres perturbations dans les observations de la vie marine, les chercheurs étudient de manière comparée des zones touchées et des aires marines protégées de la pollution, comme la réserve corse de Scandola. « *L'impact du réchauffement sur la vie marine est rarement pris en compte dans les rapports comme celui du Giec*, regrette Jean-Pierre Féral. *Mais les choses évoluent, car la raréfaction des ressources marines, en particulier halieutiques, et son impact sur nos besoins alimentaires commencent à inquiéter.* »

1. Unité CNRS/Aix-Marseille Université/IRD/Université d'Avignon.

CONTACT :

**Jean-Pierre Féral**  
> [jean-pierre.feral@imbe.fr](mailto:jean-pierre.feral@imbe.fr)



© S. RUITTON/AMU

## DES EFFETS DÉJÀ BIEN VISIBLES

→ **Bien souvent, les débats sur l'évolution climatique se focalisent principalement sur la température de la Terre ou la hausse du niveau des mers.**

Mais de nombreux effets sont déjà très visibles, en particulier sur la faune et la flore. « *Comme pour les écosystèmes continentaux, l'évolution climatique est un facteur qui s'ajoute à d'autres perturbations des milieux marins, telles la pollution ou la fragmentation des habitats, et l'arrivée d'espèces exotiques*, résume Jean-Pierre Féral, de l'Institut méditerranéen de biodiversité et d'écologie marine et continentale<sup>1</sup> de la station maritime d'Endoume, à Marseille. *On en observe nettement les conséquences. La température de la Méditerranée a grimpé de 1 °C en seulement trente ans. C'est considérable!* »

Des centaines d'espèces de poissons, d'algues et d'invertébrés venues de la mer Rouge depuis le percement du canal de Suez, ou qui étaient à l'origine localisées au large du Maghreb, atteignent

11 Ce chardon *Berardia subacaulis*, dans les Hautes Alpes, devrait voir son aire de répartition diminuer fortement du fait des changements climatiques.

12 Ce poisson *Thalassoma pavo* a migré vers les côtes nord de la Méditerranée.

13 La mortalité de masse des gorgones rouges pourrait s'accroître avec le réchauffement de la Méditerranée.



© F. ZUBERER/CNRS

13



14 L'archipel des Maldives pourrait disparaître sous la montée des eaux océaniques.

# Changement climatique : évidences et incertitudes

**L**e climat de la Terre change, c'est une certitude. Celui d'aujourd'hui n'est pas celui d'hier – voyez les longues périodes glaciaires – et ne sera pas celui de demain. Machine complexe et dynamique en constante évolution, il subit en effet de très nombreuses influences : la course de la planète autour du Soleil, l'activité de notre étoile, les mouvements de l'atmosphère, le cycle de l'eau... La liste est longue et, par conséquent, les prédictions sur son avenir particulièrement difficiles tant le nombre de paramètres à prendre en compte apparaît vertigineux. Malgré tout, les scientifiques sont sûrs d'une chose : les activités humaines perturbent la belle mécanique climatique. Rappel des faits.

## UNE PART D'IMPRÉVISIBLE

Dans l'atmosphère, il existe des gaz dits à effet de serre, la vapeur d'eau et le dioxyde de carbone au premier chef, qui empêchent l'énergie de la Terre de s'échapper dans l'espace et maintiennent ainsi une température clémente à sa surface. Sans eux, il ferait en moyenne  $-18\text{ °C}$  sur notre Terre, contre  $15\text{ °C}$  aujourd'hui. Or, comme le résume Jean-Louis Dufresne, du Laboratoire de météorologie dynamique<sup>1</sup>-IPSL « si les teneurs en vapeur d'eau et en dioxyde de carbone se modifient, l'effet de serre change, et c'est tout l'équilibre énergétique de la planète, et donc son climat, qui se modifient. Nier ce fait est un non-sens scientifique ».

Justement, la quantité de dioxyde de carbone dans l'atmosphère a fortement augmenté au cours du siècle dernier, ce qui coïncide avec l'avènement de notre société industrielle basée sur les énergies fossiles. Quant à la vapeur d'eau, si les activités humaines ne la perturbent quasiment pas directement à grande échelle, elle dépend fortement du climat tout en agissant sur lui, par un jeu subtil d'actions et de rétroactions.

Pour autant, les scientifiques sont loin d'avoir tout saisi du changement climatique. Quelle ampleur aura-t-il ? Quelles en seront les conséquences ? Sur ces questions, l'incertitude est encore de mise. Et pas seulement dans les modèles numériques qui simulent les climats passés ou futurs ou dans les marges d'erreur dans l'interprétation des traces des climats passés. « C'est surtout que la nature n'a tout simplement pas décidé ce qu'elle allait faire, souligne Hervé Le Treut, directeur de l'IPSL. Il y a une part imprévisible dans le climat que la science ne pourra jamais appréhender. » Sans même les perturbations d'origine humaine, le climat fluctue, à toutes les échelles, et ce de manière aléatoire. « C'est un système chaotique, précise Jean-Louis Dufresne. Or, à l'échelle d'une dizaine d'années, les perturbations anthropiques ou naturelles sont inséparables de l'évolution purement aléatoire. On ne peut pas les distinguer. »

L'exemple des températures est flagrant. Sur une échelle d'une centaine d'années, l'augmentation est facilement observable ( $+0,9$  à  $0,2\text{ °C}$  près depuis 1900). Les activités humaines et l'augmentation de l'effet de serre qui en découle expliquent bien cette hausse. Sur dix ou vingt ans,

c'est une autre histoire. Les analyses les plus récentes montrent un ralentissement de la montée des températures. Or, à cette échelle de temps, le caractère chaotique du climat rend difficile toute interprétation. « Ce genre d'observations ne remet pas en cause la réalité du réchauffement global, assure Jean-Louis Dufresne. Mais, plus on veut observer les choses précisément, plus on est limité dans le temps et dans l'espace du fait de la rareté des observations disponibles, et plus la variabilité naturelle du climat prend de l'importance. » Et il n'existe à ce jour aucun moyen direct pour résoudre ce problème.

## DES QUESTIONS EN SUSPENS

L'analyse des grandes évolutions du climat passé peut évidemment fournir de précieux renseignements sur cette variabilité, mais les méthodes d'étude sont indirectes et possèdent elles aussi leur lot d'incertitudes. « Prenez l'exemple du Soleil, indique Jean-Louis Dufresne. Nous savons que son activité influence le climat de la Terre et que cette activité se traduit par le nombre de taches sombres à sa surface. Mais comment traduire la présence ou non de taches solaires observée par les astronomes du passé en flux ou en spectre de lumière ? »



15



16

Les volcans, eux, projettent des cendres qui refroidissent l'atmosphère. Or, si les éruptions récentes sont bien documentées, les chercheurs n'ont que peu d'informations sur les plus anciennes. Quelle était la taille des poussières? Quelle en était la quantité? « Nous n'avons pas non plus assez de recul sur les événements extrêmes comme les tempêtes, note Hervé Le Treut. Autrefois, ceux qui pouvaient acquérir des informations, marins ou aviateurs, avaient évidemment plutôt tendance à les éviter. Et, sur certains continents, ces événements faisaient uniquement partie de traditions orales. »

**15 Les phénomènes extrêmes comme les tempêtes, ici à Nice en 2011, font courir des risques accrus aux populations.**  
**16 Diminuer les rejets des gaz à effet de serre pour limiter le changement climatique est une nécessité, mais les mesures sont difficiles à prendre.**

qui seront mal positionnées, indique Jean-Louis Dufresne. Rien ne les corrige. »

La difficulté est encore plus grande à l'échelle régionale (une région correspondant dans ce cas à un sous-continent). Le climat régional dépendant fortement du climat global. Il faut que ce dernier soit déjà très bien simulé pour que les modèles parviennent à faire de bonnes prévisions sur le premier. Et, comme il n'y a pas de climat sans rétroactions, les effets régionaux vont à leur tour influencer sur la circulation globale. « Nous savons, par exemple, que l'évolution des pluies sera très hétérogène sur la planète, remarque Jean-Louis Dufresne. Elles vont augmenter à l'équateur et aux hautes latitudes, diminuer dans les régions subtropicales et augmenter ou diminuer selon les saisons aux moyennes latitudes. Or les frontières exactes entre toutes ces zones dépendent de la circulation globale et de sa variation, sur laquelle, il y a encore beaucoup d'incertitudes. »

### UN RISQUE CLIMATIQUE BIEN RÉEL

Pour Hervé Le Treut, ce problème de l'incertitude est capital pour les recherches sur l'adaptation au changement climatique. « Il ne faut pas croire aveuglément les modèles, prévient-il. Ce n'est pas parce qu'ils prédisent en moyenne plus de sécheresse dans une région qu'il ne faudra y semer que des plantes résistantes à la sécheresse. Les prévisions ne se traduisent pas par des risques permanents. Des pluies pourraient aussi augmenter localement, et les plantes trop spécialisées n'y résisteraient pas. »

Malgré tout, l'urgence est là, car le risque climatique est bel et bien réel. « C'est notre rôle, en tant que climatologues, de réaffirmer sans cesse ce fait et de dénoncer toutes les contre-vérités qui sont dites dans ce domaine, estime Hervé Le Treut. Il est probable que nous ne sachions jamais avec exactitude ce qui va advenir. Mais cela ne doit pas empêcher d'agir. Nous ne savons pas prédire où et quand un tremblement de terre va survenir, mais nous connaissons les zones à risque et nous y construisons des bâtiments résistants. Nier le changement climatique serait donc un peu comme dire que, puisque nous ne savons pas les prévoir, les tremblements de terre n'existent pas. »

1. Unité CNRS/École polytechnique/UPMC/ENS.

#### CONTACTS :

**Jean-Louis Dufresne**  
 > [jean-louis.dufresne@lmd.jussieu.fr](mailto:jean-louis.dufresne@lmd.jussieu.fr)  
**Hervé Le Treut**  
 > [letreut@lmd.jussieu.fr](mailto:letreut@lmd.jussieu.fr)



Avoir sur le journal en ligne : le film *L'homme responsable du réchauffement.*

### LES LIMITES DES MODÈLES

Le caractère chaotique du climat et sa variabilité naturelle ne sont pas les seules difficultés auxquelles les climatologues doivent faire face. Les prévisions sur le climat futur sont réalisées à l'aide de modèles numériques qui s'appuient sur les lois de la physique atmosphérique et océanique. Ces modèles sont à peu de chose près les mêmes que ceux utilisés en météorologie pour prévoir le temps à une échéance de quelques jours. « Mais, contrairement aux modèles de prévisions météorologiques, les modèles climatiques n'utilisent pas d'observations directes pour corriger les trajectoires, explique Jean-Louis Dufresne. Par exemple, lorsque des basses pressions sont observées au-dessus de l'Atlantique, les données sont enregistrées dans les modèles météo qui simulent une dépression et son évolution. Au fil du temps, si le modèle dérive, la trajectoire de la dépression peut être corrigée par les observations suivantes pour aboutir à des prévisions fiables à quelques jours. »

En climatologie, la page est blanche. Le modèle doit lui-même créer les conditions initiales, faire évoluer les grandes structures atmosphériques comme les dépressions ou les anticyclones sur des dizaines d'années, sans aucune observation pour le corriger. « Si les dépressions et les grandes structures associées sont systématiquement placées trop au sud, ce sont toutes les structures climatiques

## Pour en savoir +

### À LIRE |

#### Le Climat à découvrir

Outils et méthodes en recherche climatique

Catherine Jeandel et Rémy Mosseri (dir.), CNRS Éditions, 2011, 288 p.

#### Gestion des risques naturels

Leçons de la tempête Xynthia

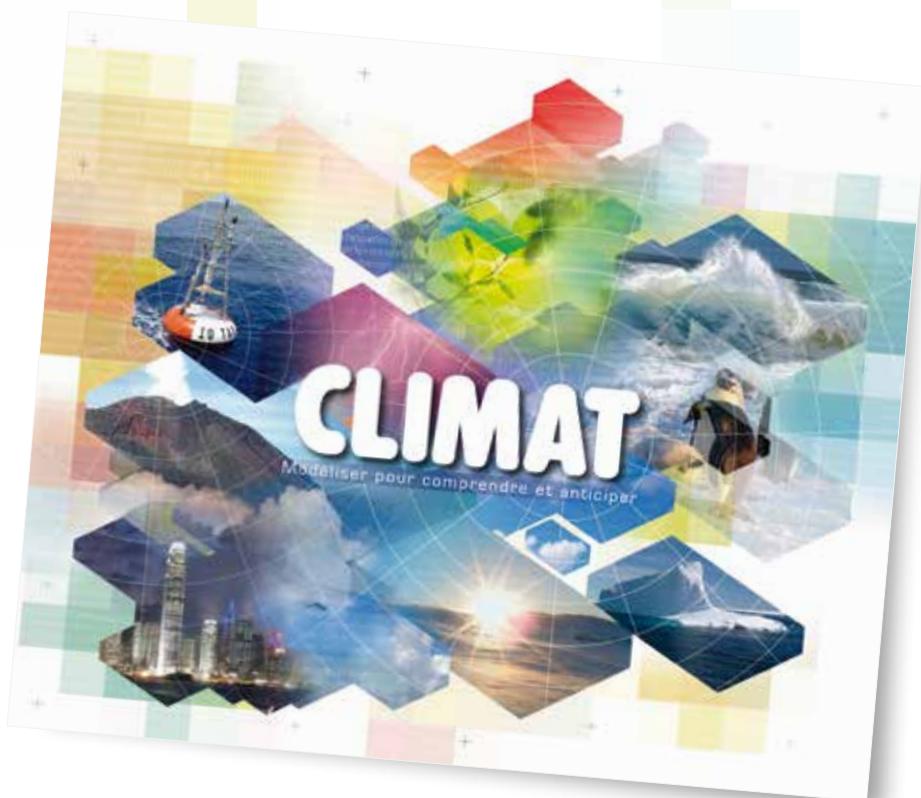
Valentin Przyluski, Stéphane Hallegatte (coord.), Éditions Quæ, coll. « Matière à débattre et à décider », 2012, 264 p.

#### Changement climatique : les savoirs et les possibles

Jérôme Chappellaz, Olivier Godard, Sylvestre Huet et Hervé Le Treut, La Ville Brûle, coll. « 360 », 2010, 240 p.

# LA MODÉLISATION A RÉVOLUTIONNÉ LA RECHERCHE SUR LE CLIMAT, LA PROPULSANT D'UNE APPROCHE ESSENTIELLEMENT DESCRIPTIVE ET THÉORIQUE VERS UNE APPROCHE QUI PERMET DE REJOUER LE PASSÉ POUR MIEUX LE COMPRENDRE ET D'ANTICIPER LE FUTUR.

Écrit par une quarantaine de chercheurs et réalisé dans le cadre du projet national MISSTERRE, qui rassemble les laboratoires français de modélisation climatique, cet ouvrage expose de manière accessible les fondamentaux de la modélisation climatique sous la forme d'une vingtaine de sujets courts. Il insiste sur les principales conclusions issues des plus récentes simulations. Il traite également de l'évaluation des modèles et des incertitudes associées à leurs résultats, tout en commentant des « erreurs classiques » que l'on peut entendre ou lire à leur propos.



**CET OUVRAGE PEUT ÊTRE TÉLÉCHARGÉ  
À L'ADRESSE SUIVANTE :**

[www.insu.cnrs.fr/node/4501](http://www.insu.cnrs.fr/node/4501)

