

# LES EFFETS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE CONSTATÉS ET PRÉVISIBLES

JULIEN DESPLAT, RESPONSABLE BUREAU D'ETUDES ET DE CLIMATOLOGIE METEO  
DIRECTION INTERREGIONALE ILE DE FRANCE—CENTRE

La contribution du Groupe de travail I au quatrième rapport d'évaluation du GIEC (Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat) décrit les progrès accomplis dans la compréhension scientifique des observations, des causes humaines et naturelles des changements climatiques et des estimations du changement climatique futur résultant de simulations. L'objet de ce document est de faire un état des lieux des conclusions les plus communément admises par la communauté scientifique des experts du climat, sur la base de l'observation et de la prévision, à l'échelle globale et régionale.

## 1. Le réchauffement climatique : un constat sans équivoque

Depuis le rapport de 2001, des progrès ont été faits dans la compréhension de la manière dont le climat change dans l'espace et le temps, ceci grâce aux améliorations et aux extensions de nombreuses séries de données et des analyses de données, à une meilleure compréhension des incertitudes et à une plus grande variété de mesures.

Les travaux du GIEC de 2007 sont construits à partir du rapport de 2001 et incorporent les nouveaux résultats de ces six dernières années de recherche. En matière d'observation directe des changements climatiques, le GIEC affirme que *le réchauffement du système climatique est sans équivoque, car il est maintenant évident dans les observations de l'accroissement des températures moyennes mondiales de l'atmosphère et de l'océan, la fonte généralisée de la neige et de la glace, et l'élévation du niveau moyen mondial de la mer.*

### a. La température

Indéniable que le climat se réchauffe. Les informations paléoclimatiques confirment que le réchauffement du dernier demi-siècle est atypique sur au moins les 1300 dernières années. À l'aide de reconstitutions à partir de carottages glaciaires et de cernes d'arbre, il a été mis en évidence que l'augmentation de la température au cours du dernier siècle est spectaculaire (+ 0,6°C) par rapport à sa variation durant ce dernier millénaire. À l'échelle de la France, l'augmentation constatée au cours du dernier siècle est même plus forte car elle atteint 1°C.

Sur une période plus proche de nous, il a été constaté que onze des douze dernières années figurent au palmarès des douze années les plus chaudes depuis que l'on dispose d'enregistrements de la température de surfaces, autrement dit depuis 1850. La nouvelle valeur de la vitesse moyenne du réchauffement au cours

des cent dernières années (1906-2005) de 0,74°C est donc plus grande que la valeur analogue calculée dans le rapport de 2001, qui était de 0,6°C sur la période de 1901-2000. La vitesse moyenne du réchauffement au cours des cinquante dernières années est de 0,13°C/décennie.

Par ailleurs de nouvelles analyses des mesures en altitude (ballons et satellites) de la température de la basse et moyenne atmosphère ont conduit à des résultats similaires à ceux obtenus en surface.

### b. L'évolution des glaciers et du manteau neigeux

D'autres signes permettent de voir que le climat s'est réchauffé au cours du siècle dernier. La grande majorité des glaciers reculent avec une longueur qui a nettement diminué au cours de ces 100 dernières années. En guise d'illustration, le glacier d'Argentière a connu une diminution de 1000m de dénivelé. Les glaciers de montagne et de couverture neigeuse ont également décliné en moyenne dans les deux hémisphères et leurs décroissances généralisées ont contribué à l'augmentation du niveau de la mer. Les données satellitaires depuis 1978 montrent que l'étendue annuelle moyenne de la glace arctique a rétréci de 2,7% par décennie, avec une décroissance plus forte en été (7,4% par décennie).

### c. Le niveau des océans

Les observations depuis 1961 montrent que la température moyenne de l'océan mondial a crû jusqu'à des profondeurs d'au moins 3000m et que l'océan a absorbé plus de 80% de la chaleur ajoutée au système climatique. Un tel réchauffement provoque une expansion de l'eau de mer, contribuant à l'augmentation du niveau de la mer. Mais il existe d'autres facteurs contribuant à l'élévation du niveau de la mer, comme la fonte des glaciers et des calottes glaciaires du Groenland et de l'Antarctique.

Le niveau moyen de la mer a crû à une vitesse de 1,8 mm/an de 1961 à 2003. De 1993 à 2003, on évalue à 3,1 mm/an. Il y a une grande confiance dans le fait que la

vitesse d'augmentation du niveau de la mer a crû du 19 au 20<sup>ème</sup> siècle, avec une augmentation totale à 0,17 m. Les mesures marégraphiques montrent également une élévation en moyenne comprise entre 10 et 20 cm en un siècle. Les mesures désormais faites par satellite avec Topex montrent depuis 10 ans une accélération de cette élévation, de l'ordre de 3 cm en 10 ans.

#### d. L'évolution de la végétation

Dans le secteur agronomique, les conséquences du changement climatique sont variées et déjà visibles. L'Institut National de la Recherche Agronomique (INRA) a identifié des évolutions remarquables du rendement du blé et du maïs en Europe, de la productivité forestière et des dates de floraison du pommier dans le sud de la France. A titre d'exemple, les dates de vendanges deviennent de plus en plus précoces et celles de 2005 ont été avancées d'un mois par rapport à celles de 1945. En outre, une étude (Duchêne, 2004) a révélé pour le Riesling que le réchauffement climatique a aussi des répercussions sur la qualité du vin avec une augmentation de la teneur en alcool.

#### e. Les phénomènes météorologiques

Parmi les autres manifestations météorologiques d'évolution du climat, les chercheurs ont mis en évidence une augmentation des vagues de chaleur, une diminution du nombre de jours de gel et une augmentation des périodes pluvieuses en hiver. En effet, des sécheresses plus sévères et plus longues ont été observées sur de larges étendues depuis 1970, particulièrement dans les régions tropicales et subtropicales. La fréquence des événements de fortes précipitations a crû sur la plupart des zones terrestres.

Les observations mettent également en évidence une augmentation de l'activité des cyclones tropicaux intenses dans l'Atlantique Nord depuis 1970 environ, corrélée avec des augmentations de températures de surface de la mer sous les tropiques. Néanmoins, en région métropolitaine, nous ne détectons pas de tendance depuis 1950 sur l'augmentation d'événements extrêmes comme les tempêtes et les épisodes pluvieux de type cévenol.

## 2. Les causes du changement climatique

Dans le rapport de 2007, il est écrit que *l'essentiel de l'accroissement observé sur la température moyenne globale depuis le milieu du 20<sup>e</sup> siècle est très probablement dû à l'augmentation observée des concentrations*

*des gaz à effet de serre d'origine humaine.* La compréhension des influences humaines sur le réchauffement et le refroidissement du climat a été améliorée depuis le troisième rapport d'évaluation, ce qui conduit à une très grande confiance dans le fait que l'effet moyen global des activités humaines depuis 1750 a été un effet de réchauffement avec un forçage radiatif de +1,6 W.m<sup>-2</sup>. Il est vraisemblable qu'il y a eu un réchauffement anthropique significatif au cours des cinquante dernières années sur tous les continents, à l'exception de l'antarctique. Les structures observées du réchauffement, y compris un réchauffement plus grand sur les continents que sur les océans, et leurs variations dans le temps sont simulées par les modèles qui tiennent compte du forçage d'origine anthropique.

Les chercheurs du GIEC ont su mettre en évidence le rôle des gaz à effets de serre (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>,...) dans le changement climatique. Les simulations de l'évolution de la température sur les 150 dernières années, prenant en compte les forçages naturel et anthropique, sont plus proches des observations que celles ne prenant en compte que le forçage naturel.

Aux échelles plus fines, des difficultés subsistent pour la simulation et l'attribution des changements de température observés. La variabilité en l'absence de forçage devient plus importante à des échelles sous-contininentales ou plus fines. Les incertitudes dans les forçages locaux et les boucles de réaction rendent difficiles une estimation de la contribution des gaz à effet de serre aux changements de températures.

## 3. Les projections climatiques aux échelles globale et régionale

### a. Méthodologie

Un progrès majeur des projections analysées dans le rapport du GIEC 2007 est le plus grand nombre de simulations fournies par un ensemble plus large de modèles. En effet, le GIEC a retenu près d'une vingtaine de modèles numériques du climat, dont celui de Météo-France, ARPEGE-Climat. Pris ensemble, et compte tenue des informations additionnelles fournies par les observations, ces modèles fournissent une base quantitative pour estimer la vraisemblance de nombreux aspects du changement climatique futur. Les simulations des modèles couvrent une série de futurs possibles incluant des hypothèses idéalisées sur les émissions ou les

concentrations. Ces hypothèses comprennent les scénarios de référence du rapport Special Report on Emissions Scenarios (SRES) sur les émissions de gaz à effet de serre pour la période 2000-2100. Pour cela, le GIEC a produit 4 familles de scénarios, prenant en compte, sous différentes hypothèses, l'évolution de la démographie, de la technologie et de la croissance économique. La famille des « Axx » est plus tournée vers la croissance économique, pouvant être très rapide pour certains pays émergents et pouvant se faire au mépris de l'environnement. La famille des « Bxx » prend en compte des mesures plus environnementales, comme l'introduction de technologies propres. Ensuite, deux orientations sont envisagées suivant l'impact géographique de ces mesures : à des échelles mondiales pour les hypothèses A1 et B1, et régionales pour A2 et B2. Il est également habituel d'opposer les scénarios optimistes (B1, B2) aux scénarios pessimistes (A1, A2).

#### b. A l'échelle du globe

Le GIEC élabore des projections climatiques depuis son premier rapport en 1990. Cet historique relativement jeune permet de comparer les simulations de l'époque par rapport aux observations du début du XXIème siècle. Sur la période 1990-2005, il est intéressant de noter que la simulation du 1er rapport (FAR) prévoyait pour 2005 une augmentation de la température de l'ordre de +0,15°C à +0,3°C par décennie. Les observations durant cette période révèlent une augmentation moyenne de 0,2°C par décennie.

Cette forte similitude entre les simulations numériques et les observations conforte l'ensemble de la communauté scientifique dans la confiance à accorder dans les modèles numériques du climat. En matière de projections climatiques, pour les 25 ans à venir, tous les scénarios climatiques convergent vers une augmentation de la température de l'ordre de +0,2°C par décennie. Même si la concentration de CO<sub>2</sub> était restée stable à la valeur obtenue en 2000, l'augmentation de la température pour les 25 ans à venir aurait été de +0,1°C par décennie, du fait de la durée de vie du CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère qui est de 100-150 ans.

L'approche multi-modèles (23) et la multiplicité de scénarios (4) permettent d'obtenir une enveloppe de probables en matière de projections climatiques, et d'identifier les variabilités et les incertitudes liées à ces projections. Ainsi, les divers scénarios et incertitudes liées à l'utilisation de divers modèles permettent d'envisager des

conclusions vraisemblables, autrement dit celles partagées par le plus grand nombre, et des conclusions plus incertaines. Pour la fin du XXIème siècle, nous pouvons obtenir pour un seul modèle avec tous les scénarios une augmentation de la température variant de +0,5°C à +4°C. En prenant un seul scénario et tous les modèles, nous obtenons également une autre fourchette de cette augmentation, confirmant l'existence d'une forte variabilité des conclusions envisagées pour le climat futur. Ainsi, en combinant tous les modèles et tous les scénarios, nous obtenons pour 2100 une augmentation comprise entre +1,1°C et +6,4°C.

#### c. A l'échelle régionale

Les simulations climatiques sont obtenues à partir de modèles numériques dont la résolution spatiale est de l'ordre de 300 km en moyenne. A cette résolution, il est difficile de prendre en compte les particularités locales (le relief, les vents régionaux, le contraste terre-mer, les zones maritimes,...) et les processus atmosphériques associés. Par conséquent, une interprétation régionale de ces simulations climatiques est difficile et limitée. Afin de se rapprocher des préoccupations locales, il faut mettre en place des techniques permettant de descendre en échelle spatiale. Celle adoptée par Météo-France est de faire appel à des modèles de plus haute résolution (50km) que ceux travaillant à l'échelle planétaire (~300 km). Le modèle climatique global à maille variable ARPEGE-Climat de Météo-France a la caractéristique d'avoir une maille horizontale proche de 50km sur l'Europe occidentale et de 450km sur le Pacifique sud.

L'autre avantage de cette régionalisation est de mieux caractériser les phénomènes extrêmes et d'avoir une projection de leur fréquence dans le siècle à venir. Considérant la France métropolitaine, la conclusion la plus vraisemblable obtenue à partir des résultats du modèle ARPEGE-Climat est un réchauffement en toutes saisons, plus marqué l'été que l'hiver et une diminution des précipitations en hiver sur le sud et une augmentation sur le nord. En outre, nous obtenons des prévisions d'écart de température entre la fin du 21ème et du 20ème siècle très différentes suivant le scénario choisi. Par exemple, pour la saison estivale, des écarts de 5°C sur la France métropolitaine sont obtenus avec le scénario pessimiste A2 alors qu'ils sont de 3°C avec le scénario optimiste B2.

L'étude de l'évolution de la fréquence des événements météorologiques ou climatiques extrêmes est limitée

par une contrainte sévère, qui est d'avoir des séries de données longues et homogènes. Plus le phénomène est rare, plus la série de données doit être longue. Par exemple, pour estimer raisonnablement la fréquence d'un événement arrivant en moyenne une fois tous les cinq ans, il faut cent ans de données. C'est la raison pour laquelle il faut considérer des événements qui ne soient pas exceptionnels afin de tirer des conclusions en terme de statistique. En matière d'événements extrêmes, Météo-France s'est engagé avec de nombreux partenaires (CERFACS, CNRS, CSTB, EDF, IPSL et Médias-France) dans le projet IMFREX, IMPact des changements anthropiques sur la FRéquence des phénomènes EXtrêmes de vent, de température et de précipitations : <http://medias.cnrs.fr/imfrex/web/>.

Un des objectifs centraux de ce projet est de pouvoir fournir une évolution entre la période présente et une possible fin de siècle de la fréquence des extrêmes de vent, de température et de précipitations sur la France. Les conclusions les plus vraisemblables en terme d'extrêmes météorologiques sur la France concernent les canicules, caractérisées par le nombre de jours avec des températures maximales supérieures à 35°C, et les événements pluvieux, caractérisés par le nombre de jours avec des pluies supérieures au seuil de 20mm/jour. Dans les deux cas, il faut s'attendre à plus de canicules en été et plus d'événements pluviométriques intenses en hiver.

d. Les impacts régionaux du changement climatique : un nouvel axe de recherche

Outre les travaux menés au travers du GIEC, la communauté de recherche française travaillant sur les changements climatiques et leurs impacts est impliquée dans des programmes de recherche européens et nationaux. Mais la demande s'élargit aujourd'hui à d'autres secteurs institutionnels qui soutiennent des études se focalisant sur les impacts régionaux du changement climatique. Une amplification des sollicitations pour la contribution à des projets ou études relatives à cette problématique se fait ressentir. Météo-France est impliqué dans cette démarche et contribue au développement de techniques de descente d'échelles des simulations climatiques.

Une première solution est de perfectionner les outils numériques actuels en fonction de l'avancée des technologies, autrement dit des capacités de calcul numérique. Météo-France contribue fortement au développement de techniques de simulations numériques. En complément de son modèle climatique global, ARPEGE-

Climat, Météo-France développe actuellement un modèle à aire limitée (domaine de l'Europe occidentale) imbriqué dans le modèle ARPEGE-Climat et avec une résolution fine allant jusqu'à 25km. Ce nouveau modèle, nommé ALADIN-Climat, permettra à la fois de mieux prendre en compte les particularités géographiques locales et les simulations climatiques de grande échelle contenues dans le modèle ARPEGE-Climat.

En matière d'études d'impacts, Météo-France s'investit dans de nombreux projets de recherche avec de nombreux partenaires issus de différents secteurs. Par exemple, dans le secteur agricole, Météo-France s'investit dans le projet ACTA dont l'objectif est d'étudier la sensibilité des systèmes de grandes cultures et d'élevages herbivores aux changements climatiques. Météo-France a d'ailleurs été sollicité pour étudier l'impact du changement climatique sur la production du Cognac.

De nombreuses actions sont également menées dans le secteur hydrologique. A titre d'exemple, dans le cadre du projet fondation MAIF, Météo-France aura pour objectif d'élaborer une climatologie de l'état des sols sur la France et d'évaluer l'impact du changement climatique sur l'humidité des sols. Météo-France a également été sollicité par un service gestionnaire de l'eau pour une étude des effets du changement climatique sur la manière de gérer l'activité de distribution de l'eau. Quant au projet GARP-3C, il concerne la Gestion de l'Assainissement de la Région Parisienne dans le contexte du Changement Climatique et réunit de nombreux laboratoires de recherche et services publics.

Le milieu urbain est aussi sujet à des actions de recherche dans le but d'étudier la vulnérabilité d'une ville face au changement climatique. A titre d'exemple, Météo-France est engagé dans un projet sur Paris afin de quantifier les impacts du changement climatique sur la météorologie urbaine à l'échelle de l'agglomération parisienne.