



Evolution du climat : un témoignage sur la responsabilité de notre communauté scientifique

Jean Jouzel, Directeur émérite de recherche au CEA, chercheur au LSCE/IPSL

Le réchauffement climatique lié aux activités humaines est une réalité. Si rien n'était fait pour diminuer rapidement nos émissions de gaz à effet de serre, il serait difficile aux jeunes d'aujourd'hui de s'adapter aux conditions climatiques auxquelles ils auraient à faire face dans la seconde partie de notre siècle, voire impossible dans certaines régions particulièrement vulnérables. Ce constat est basé sur les travaux d'une communauté scientifique qui s'est mobilisée depuis les années 80 de façon à mieux appréhender les causes de ce réchauffement, ses conséquences et les solutions qui pourraient être mises en œuvre pour le limiter et s'y adapter, au moins pour l'essentiel. Consciente de sa responsabilité vis-à-vis des décideurs politiques et de l'ensemble des populations de notre Planète, cette communauté s'est organisée au sein du GIEC, le Groupe Intergouvernemental d'experts sur l'Evolution du climat. Climatologue, impliqué depuis les années 70 dans la reconstitution des climats passés à partir de l'analyse des glaces de l'Antarctique et du Groenland, j'ai rapidement perçu cette responsabilité que nous avons, collectivement, de porter les résultats de nos travaux à la connaissance du plus grand nombre, bien au-delà de cette communauté « climat », et de fournir aux « décideurs politiques » les arguments pour qu'ils puissent prendre des décisions.

Cette prise de conscience de notre responsabilité collective s'est, pour moi, largement construite autour des travaux de paléoclimatologie dans lesquels je me suis impliqué et de leur pertinence vis-à-vis de l'évolution future de notre climat. L'article de Jean-Claude Duplessy intitulé « Variabilité et histoire à long terme du climat », paru dans les Cahiers du M.U.R.S. en 1991, est un excellent point de départ qui permet déjà d'illustrer cet apport des données du passé et de mettre en valeur les aspects sur lesquels il s'est considérablement enrichi depuis le milieu des années 80. La connaissance que nous avons des grands cycles glaciaires-interglaciaires qui ont ponctué le quaternaire - période qui couvre les deux derniers millions d'années - repose alors essentiellement sur l'étude des sédiments marins. Grâce à eux, la théorie astronomique, qui stipule l'existence d'un lien entre les variations de l'insolation liées à l'évolution lente de l'orbite terrestre et ces grands cycles climatiques, est très largement acceptée. Dans son article, Jean-Claude Duplessy nous décrit comment les données publiées au cours des décennies 70 et 80 mettent en pleine lumière l'apport de ces sédiments marins à la connaissance des climats passés grâce, en particulier, au programme CLIMAP (*Climate/Long Range Investigation Mappings and Predictions Project*). Visant à cartographier les conditions climatiques qui régnaient sur l'ensemble des océans au Dernier Maximum Glaciaire, il y 20 000 ans, ces travaux montrent qu'entre cette période et aujourd'hui le réchauffement moyen de notre Planète n'aurait pas excédé 4°C.

Les décennies 70 et 80 sont aussi celles de la prise de conscience du risque que font peser les activités humaines sur notre climat à travers l'augmentation de l'effet de serre liée, en premier lieu, aux émissions de dioxyde de carbone qui résultent de l'utilisation croissante des combustibles fossiles et de la déforestation. Certes, dès la fin du 19^e siècle, le suédois Svante Arrhenius attirait l'attention sur le réchauffement qui pourrait résulter de l'utilisation du charbon, et la montée rapide de la concentration atmosphérique en CO₂ est confirmée grâce aux mesures initiées en 1958 par Charles Keeling dans une station située près du sommet du Mauna Loa dans la grande île d'Hawaï. Mais ce n'est qu'à partir des années 70 que les climatologues bénéficient de l'apparition des premiers supercalculateurs et s'intéressent à la capacité des modèles climatiques à simuler des climats différents de celui dans lequel nous vivons actuellement. Ces modèles confirment qu'une fois l'équilibre climatique atteint, un doublement de la teneur en CO₂ se traduirait par un réchauffement important. Un rapport de l'Académie des sciences américaine, rédigé en 1979 sous la direction de Jules Charney, estime que ce réchauffement, qui définit la sensibilité du climat, serait compris entre 1,5 et 4,5 °C. Ces valeurs sont significativement plus élevées que celle, proche de 1,2 °C, attendue en l'absence de rétroactions dans le système climatique ce qui témoigne de l'existence de mécanismes d'amplification au sein de la machine climatique.

Fort des résultats du projet CLIMAP, Jean-Claude Duplessy nous fait part de ses craintes en notant qu'un réchauffement de 4°C, envisageable d'ici la fin du 21^e siècle, serait aussi grand que celui qui a permis à la Terre de passer d'une période glaciaire à l'époque actuelle. Se basant sur le rapport Charney, André Berger est sur ce même registre de l'alerte dans un autre article « La santé de la Terre, un défi aux universités » paru dans ces mêmes Cahiers du M.U.R.S. Nous sommes en 1991 et l'un et l'autre sont très attentifs aux conclusions du GIEC, créé en 1988 et dont le premier rapport vient d'être publié en 1990.

Chercheur, depuis le début des années 70, dans le domaine de l'évolution passée de notre climat, je m'intéresse – comme Jean-Claude Duplessy, André Berger et beaucoup de nos collègues climatologues – aussi à son avenir. Une première raison est que je suis impliqué avec Claude Lorius et son équipe du LGGE Grenoble dans l'analyse des glaces du forage réalisé par des équipes soviétiques à Vostok au cœur de l'Antarctique ; à Saclay nous analysons la composition isotopique de la glace qui nous permet de reconstituer l'évolution de la température tandis qu'à Grenoble Dominique Raynaud, Jean-Marc Barnola et Jérôme Chappellaz reconstruisent les variations de la composition de l'atmosphère à partir des bulles d'air qui y sont piégées. Et en 1987, une série de publications montre que concentration en CO₂ et climat ont varié de concert sur l'ensemble du dernier cycle glaciaire-interglaciaire ; s'y ajoute le fait que les concentrations observées en 1990 n'ont jamais été aussi élevées depuis 160 000 ans. Ces travaux – mentionnés dans l'article de Jean-Claude Duplessy – ont indéniablement contribué à la prise de conscience de l'influence des activités humaines sur l'évolution récente et future de notre climat, y compris dans la sphère politique. J'y suis alors d'autant plus sensible que dans les années 80, j'ai séjourné aux Etats-Unis et travaillé à New-York au GISS alors dirigé par Jim Hansen dont les auditions devant le congrès américain ont marqué cette décennie (en juin 1988, année de canicule, il affirme que le réchauffement est avéré à plus de 99 chances sur cent et clame l'urgence des mesures à prendre) et à Columbia University avec Wally Broecker, un des premiers scientifiques à avoir tiré la sonnette d'alarme à partir d'un article « *Are we on the brink of a pronounced global warming* » paru en 1975.

C'est donc tout naturellement qu'à partir des années 90, je me suis impliqué dans les travaux du GIEC comme auteur principal des 2^e et 3^e rapports publiés en 1995 et 2001, puis membre de son bureau et vice-président du groupe 1, dédié aux aspects scientifiques, jusqu'en 2015. Une de mes motivations était de mettre en avant le fait que les climats passés nous apportent toute une série d'informations pertinentes vis-à-vis de son évolution future. Le lien entre climat et effet de serre, déjà évoqué, en fournit un premier exemple mais les recherches conduites depuis les années 90 nous en offrent d'autres. Dans le prolongement de l'article de Jean-Claude Duplessy, j'évoquerai dans la première partie de cet article, cet apport des données du passé.

A travers ma participation au GIEC, j'ai rapidement pris conscience de la responsabilité de notre communauté scientifique vis-à-vis des citoyens tant les décisions en matière de lutte contre le réchauffement climatique et d'adaptation sont de nature à modifier notre mode de vie et les trajectoires de développement de nos civilisations. Je me suis également intéressé aux prises de décision des politiques, en particulier à travers une participation, au titre de la délégation française, aux conférences climat – les COP – successives de 2001 à 2019. J'aborderai cette dualité entre communauté scientifique et décision politique dans une deuxième partie de cet article, que je conclurai en mentionnant certains de mes engagements largement motivés par cette idée de la responsabilité du scientifique.

1- Que nous ont appris les données du passé vis-à-vis de l'évolution future de notre climat?

Depuis que notre Planète s'est formée, il y a environ quatre milliards et demi d'années, son climat s'est constamment modifié et en reconstituer l'histoire est intéressant à beaucoup de titres. Le dernier million d'années marqué, par la succession de périodes glaciaires et interglaciaires aux caractéristiques très différentes, est particulièrement riche d'informations qui peuvent être extraites d'archives océaniques, continentales ou glaciaires et de leur intercomparaison, et être confrontées à celles fournies par les modèles climatiques. C'est cet aspect que Jean-Claude Duplessy évoque lorsqu'il met en parallèle les 4°C de réchauffement estimés depuis le Dernier Maximum Glaciaire à ceux envisageables d'ici la fin du siècle. Le développement, important au cours des trente dernières années, de modèles climatiques permettant de simuler les climats passés a enrichi cette comparaison d'autant que ce sont les mêmes modèles que ceux utilisés pour les projections vers le futur et pour simuler le climat de planètes comme Vénus ou Mars aux conditions différentes de celles de la Terre en terme de composition de l'atmosphère et de distance par rapport au soleil. Cette approche permet d'évaluer la capacité de ces modèles à rendre compte de conditions climatiques différentes de celles d'aujourd'hui et fournit une estimation de la sensibilité du climat, c'est-à-dire de sa réaction vis-à-vis d'une modification de l'effet de serre. Elle nous fournit donc un second exemple de pertinence des données du passé vis-à-vis de l'évolution future de notre climat après celui déjà mentionné du lien entre climat et effet de serre dans le passé. Je reviens sur ce lien car les données se sont depuis considérablement enrichies et j'évoque trois autres aspects qui n'étaient pas appréhendés au début des années 90, l'existence de variations climatiques rapides, l'observation de niveaux de la mer élevés au moment du dernier interglaciaire, il y a 125 000 ans, et le climat des derniers millénaires dont une meilleure connaissance permet de mettre en perspective le réchauffement récent et contribue à son attribution aux activités humaines.

1.1 Evolution conjointe du climat et de l'effet de serre au cours des 800 000 dernières années

Nous avons déjà dit l'importance des résultats publiés en 1987 à partir de l'analyse des glaces antarctiques de Vostok, concrétisés par une série de trois articles dans la revue Nature, et leur retentissement. En témoigne le commentaire, publié dans ce même numéro, traitant cette carotte Vostok de corne d'abondance et l'intérêt de la presse étrangère ; j'ai été surpris et fier d'être interviewé dans notre laboratoire par Walter Sullivan, célèbre journaliste scientifique du New-York Times. Ces résultats vont s'enrichir dans différentes directions.

1. Après le CO₂, l'équipe de Grenoble emmenée par Dominique Raynaud va s'intéresser au méthane, CH₄, autre gaz à effet de serre dont la concentration dans l'atmosphère est aujourd'hui affectée par les activités humaines, pour partie par les activités agricoles. L'enregistrement couvrant le dernier cycle climatique obtenu par Jérôme Chappellaz fait également état de valeurs plus faibles en période froide qu'en période chaude et des valeurs actuelles environ deux fois plus élevées que ces dernières.
2. Tenir compte de ces deux gaz à effet de serre, CO₂ et CH₄, conduit à estimer que l'augmentation du forçage radiatif a été de 2,4 Watts/m² entre le Dernier Maximum Glaciaire et la période préindustrielle. Cette valeur est significative et du même ordre que celle résultant des activités humaines depuis 1750 (celle correspondant au doublement de la concentration en CO₂, précédemment cité, est de 4 Watts/m²).
3. L'interprétation des données obtenues sur le forage de Vostok qui sont clairement influencées par les variations de ce forçage radiatif en découle. Comme cela a été démontré par les sédiments marins, c'est bien la position de la Terre sur son orbite qui est le métronome des grandes glaciations du Quaternaire mais l'effet de serre intervient comme l'un des amplificateurs des changements d'insolation. Son rôle est loin d'être négligeable puisque dans un article publié par Claude Lorius et co-auteurs en 1990, il est estimé que la variation de l'effet de serre a contribué pour environ moitié au réchauffement associé au passage du Dernier Maximum Glaciaire à la période actuelle. Ces auteurs en déduisent une sensibilité du climat de 3 à 4° C, ce qui suggère, tout comme les modèles, que le système climatique agit comme un amplificateur vis-à-vis de l'augmentation de l'effet de serre.
4. Enfin ces enregistrements vont remonter beaucoup plus loin dans le temps. Le forage Vostok se poursuit, malgré les difficultés auxquelles font face les foreurs russes dans les années 90, ce qui permet d'étendre les enregistrements aux 420 000 dernières années. Et le forage européen réalisé au Dome C, un autre site de l'Antarctique de l'Est, permet de doubler la mise et d'atteindre 800 000 ans. Sur l'ensemble de cette période qui couvre 8 cycles climatiques, la corrélation très étroite entre climat et effet de serre est pleinement confirmée (Figure1) avec un changement de rythme il y a environ 400 000 ans et depuis des variations plus marquées entre périodes glaciaires et interglaciaires. Ceci vaut aussi bien pour la température en Antarctique déduite de l'analyse des forages que pour la teneur en CO₂ et pour l'élévation du niveau de la mer, deux paramètres à caractère global.

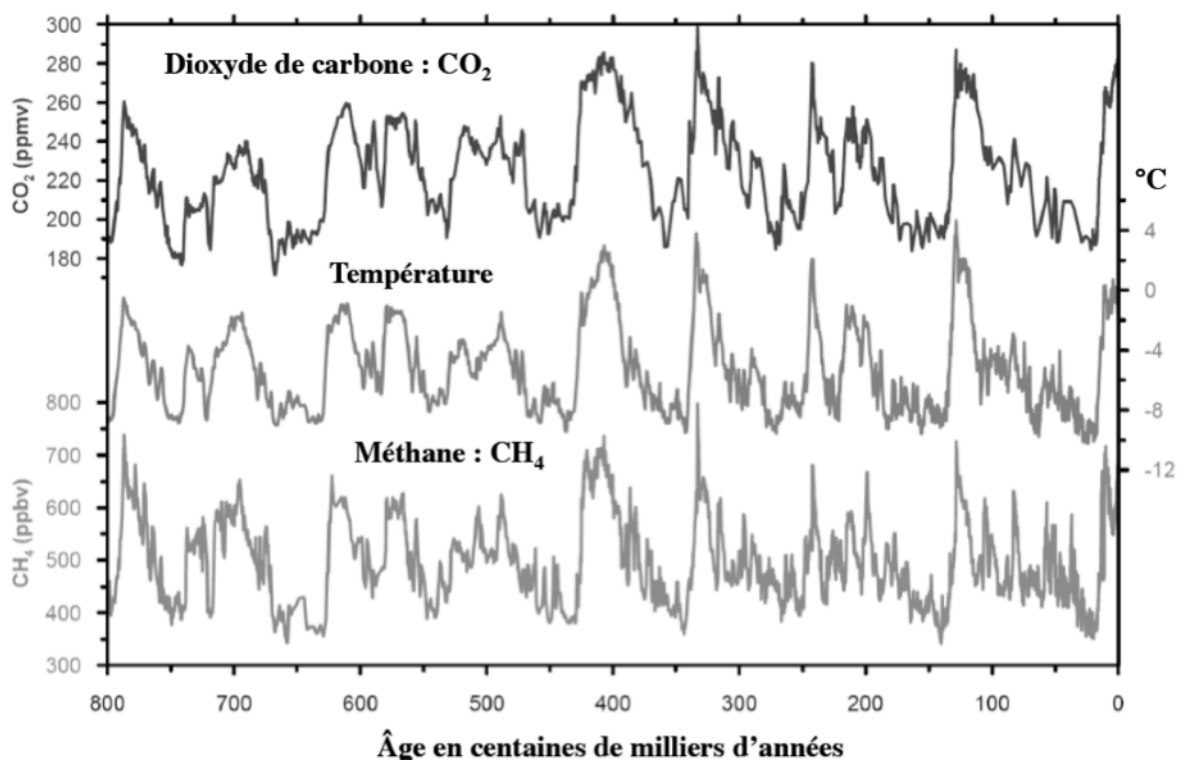


Figure 1 : Entre 1987 et 2008, les enregistrements de la variation de la température en Antarctique (Jouzel et al., 2007) et de la composition en CO₂ (Luthi et al., 2008) et en CH₄ (Loulergue et al., 2008) ont progressivement été étendus aux 800 000 dernières années grâce aux analyses réalisées sur les forages de Vostok et d'EPICA Dome C (l'année temps 0 correspond à 1950).

Le message est clair, les variations de l'effet de serre ont contribué aux variations passées de notre climat. Et, au vu de la sensibilité estimée à partir de l'ensemble de ces données du passé, on doit effectivement s'attendre à un réchauffement lié aux activités humaines dont l'amplitude sera, en fonction du scénario d'émissions, cohérente avec celle actuellement envisagée à partir des modèles climatiques.

1.2 La découverte de variations climatiques rapides

Le début des années 90 a été marquée par une découverte majeure, celle de l'existence de variations climatiques rapides. Une confirmation plutôt car, dès les années 1930, l'étude de séries polliniques et de sédiments lacustres avait montré que la dernière déglaciation était marquée par des fluctuations rapides ; Jean-Claude Duplessy nous dit que cette rapidité est confirmée par l'étude des sédiments marins « des conditions chaudes s'installent, elles sont suivies d'un refroidissement brutal, de l'ordre du siècle, et cette nouvelle période très froide se prolonge sur un bon millénaire et est d'un nouveau réchauffement rapide ». Ces variations rapides survenant durant la dernière déglaciation, Bolling Allerod puis Younger-Dryas, sont donc déjà bien documentées.

Et les forages glaciaires réalisés au Groenland – Camp Century dans les années 1960, Dye 3 au début des années 1980 – laissent clairement entrevoir que la dernière période glaciaire, aussi, était loin d'être stable. Les sédiments marins le suggéraient également mais la confirmation est fournie par l'étude des forages européen GRIP et américain GISP 2 qui ont atteint le socle rocheux en 1992 et 1993, puis North GRIP, au centre du Groenland. Ils révèlent que l'ensemble de la dernière période glaciaire est

ponctuée par une succession de variations rapides d'abord identifiées dans le profil de composition isotopique de la glace. On y recense pas moins de 25 sursauts climatiques (Figure 2). Sur quelques décennies, parfois moins, l'atmosphère s'est fortement réchauffée, la distribution des vents et des précipitations s'est trouvée modifiée.

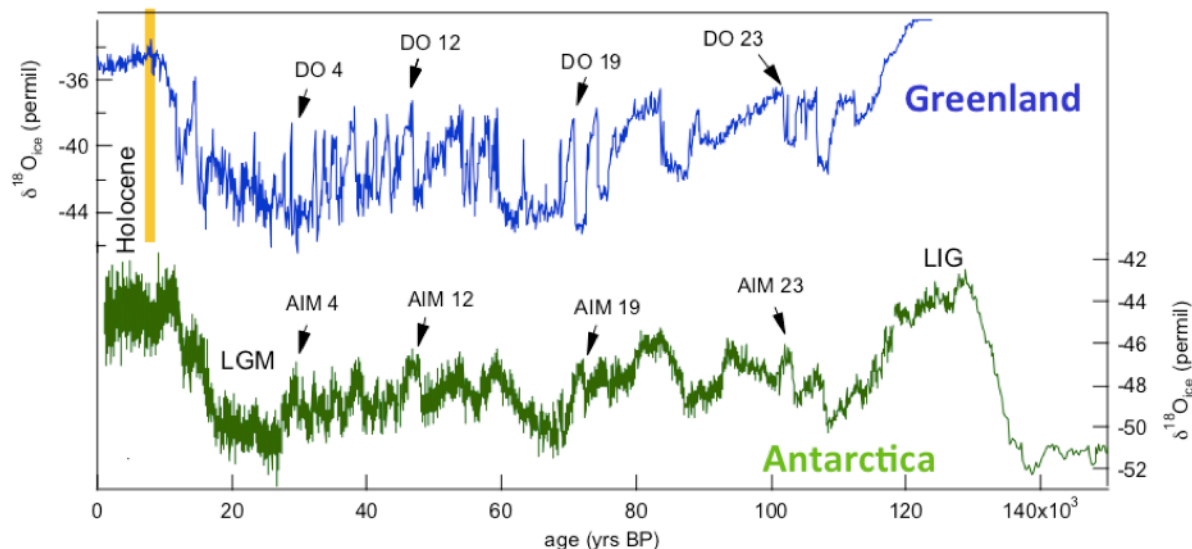


Figure 2 : Variations rapides enregistrées au site de North GRIP au Groenland (courbe du haut adaptée de North GRIP members, 2004). Ces variations sont considérablement amorties en Antarctique (site EPICA Dome C ; Jouzel et al., 2007)

Un refroidissement, qui s'étalait plus lentement sur quelques centaines d'années et se terminait plus rapidement, venait alors clore ce sursaut climatique. De tels épisodes, appelés « événements de Dansgaard-Oeschger » sont particulièrement marqués dans l'Atlantique Nord. Au Groenland, le réchauffement a parfois atteint 16°C en quelques décennies, peut-être moins dans certains cas ! Les habitants de l'Europe de l'Ouest ont sans doute été les plus éprouvés par ces bouleversements climatiques, dont on retrouve la trace dans les sédiments marins de l'Atlantique Nord mais aussi sur le continent adjacent, aussi bien dans des concrétions calcaires que dans des sédiments lacustres. Ils ont en fait laissé des traces sur une large partie de la planète, dans le rythme des moussons comme en témoignent des stalagmites chinoises et jusque dans l'hémisphère Sud où elles apparaissent néanmoins très amorties ainsi que l'illustre la comparaison des enregistrements isotopiques des glaces du Groenland et de celles de l'Antarctique (Figure 2).

Près de trente ans se sont écoulés au cours desquels l'intérêt pour ces variations rapides découvertes dans le grand Nord – leur extension géographique, les mécanismes qui en sont à l'origine, la possibilité qu'elles surviennent au cours des prochains siècles – est allé en s'amplifiant. Dès leur mise en évidence, ces changements ont été attribués à des modifications de la circulation océanique dans l'Atlantique Nord en réponse à des décharges massives d'icebergs dont la fonte injecte en surface de grandes quantités d'eau douce et légère, modifiant ainsi la formation des eaux profondes. On parle alors d'arrêt puis de remise en route du Gulf Stream, un peu abusivement car il s'agit d'une modification de ce courant de surface. Mais l'atmosphère n'est pas en reste comme en témoigne les variations extrêmement rapides des retombées de poussière associées aux événements Dansgaard/Oeschger. Ces derniers ont donné naissance à la notion de « surprise climatique » avec en arrière-plan la question de la stabilité de la circulation

océanique dans un contexte de réchauffement climatique. Une modification importante du Gulf Stream, peu probable d'ici 2100, ne peut pas être exclue à échéance de quelques siècles. Mais contrairement à une idée assez répandue et popularisée par le film « Le jour d'après », cette modification ne se traduirait pas par une plongée dans une nouvelle ère glaciaire mais plutôt par un retour rapide vers des conditions proches de celles qui règnent aujourd'hui sur l'Atlantique Nord et les continents adjacents.

La pertinence de ces variations climatiques rapides par rapport à l'évolution future de notre climat tient à l'échelle de temps de ces événements, celle d'une vie humaine voire beaucoup moins. Mais elle nous donne aussi l'idée d'un climat plus fragile que, généralement, nous ne l'imaginons.

1.3 Un niveau de la mer plus élevé qu'aujourd'hui au dernier interglaciaire

Au cours des trois dernières décennies, notre connaissance de la dernière période interglaciaire, autour de -125 000 ans, a énormément progressé. Pendant cette période, le maximum du niveau moyen de la mer a été, durant plusieurs millénaires, supérieur au niveau actuel d'au moins 5 m du fait de la contribution importante des calottes glaciaires du Groenland et de l'Antarctique. Cette variation du niveau de la mer s'est produite dans un contexte caractérisé par des températures de surface aux hautes latitudes, moyennées sur plusieurs milliers d'années, supérieures d'au moins 2°C aux températures actuelles ; la contribution la plus importante était due à une diminution du volume de la calotte du Groenland et, à un degré moindre, à celle de l'Antarctique. Le réchauffement était moins important à l'échelle globale ce qui indique qu'un réchauffement même limité peut conduire, s'il est maintenu dans la durée, à des élévations du niveau de la mer élevées et aux conséquences très importantes.

Ces données du passé illustrent donc les risques liés, à long terme, à l'élévation du niveau de la mer. En fait, à partir d'un certain seuil compris entre 2 et 4°C – de l'ordre donc des valeurs envisageables en réponse à nos activités – le réchauffement de la planète entraînerait une disparition quasi-complète de la calotte du Groenland en l'espace d'un millénaire ou plus, ce qui provoquerait une élévation du niveau moyen de la mer à l'échelle du globe d'environ 7 m.

1.4 Un réchauffement sans précédent

Augmentation de l'effet de serre liée aux activités humaines et réchauffement sont désormais l'une et l'autre bien documentés. Cependant, établir une relation de cause à effet et donc attribuer aux activités humaines le réchauffement récent est loin d'être évident. Il est pour cela indispensable de situer ce réchauffement, un peu moins de 1°C depuis les années 50, dans un contexte historique plus long, de l'ordre de un à deux millénaires. Cette reconstruction de l'évolution de notre climat à l'échelle millénaire a été au cœur d'une polémique autour de ce qui reste dans les annales comme le débat sur la « crosse de hockey » porté, du côté des scientifiques, par le chercheur américain Michaël Mann.

Le climat du dernier millénaire, période popularisée en France par les chroniques historiques d'Emmanuel Le Roy-Ladurie, est bien documentée dans de nombreux pays européens mais aussi en Chine et en Egypte. Même si elles sont souvent à caractère local et largement discontinues, les données historiques – englacement des canaux aux Pays-Bas, nombre de jours de gel ou de neige, inondations et sécheresses, force des vents et

tempêtes sur les continents et les océans, date de la migration des oiseaux, de la floraison des arbres et des vendanges, volume des récoltes – ont, dans nos régions, fourni une part de la connaissance que nous avons du climat de cette période. Elles ont permis d'identifier l'optimum médiéval, aux 11^e et 12^e siècles et le petit âge glaciaire qui, en Europe de l'Ouest, a prévalu entre les 16^e et 19^e siècles, néanmoins interrompu de périodes plus clémentes.

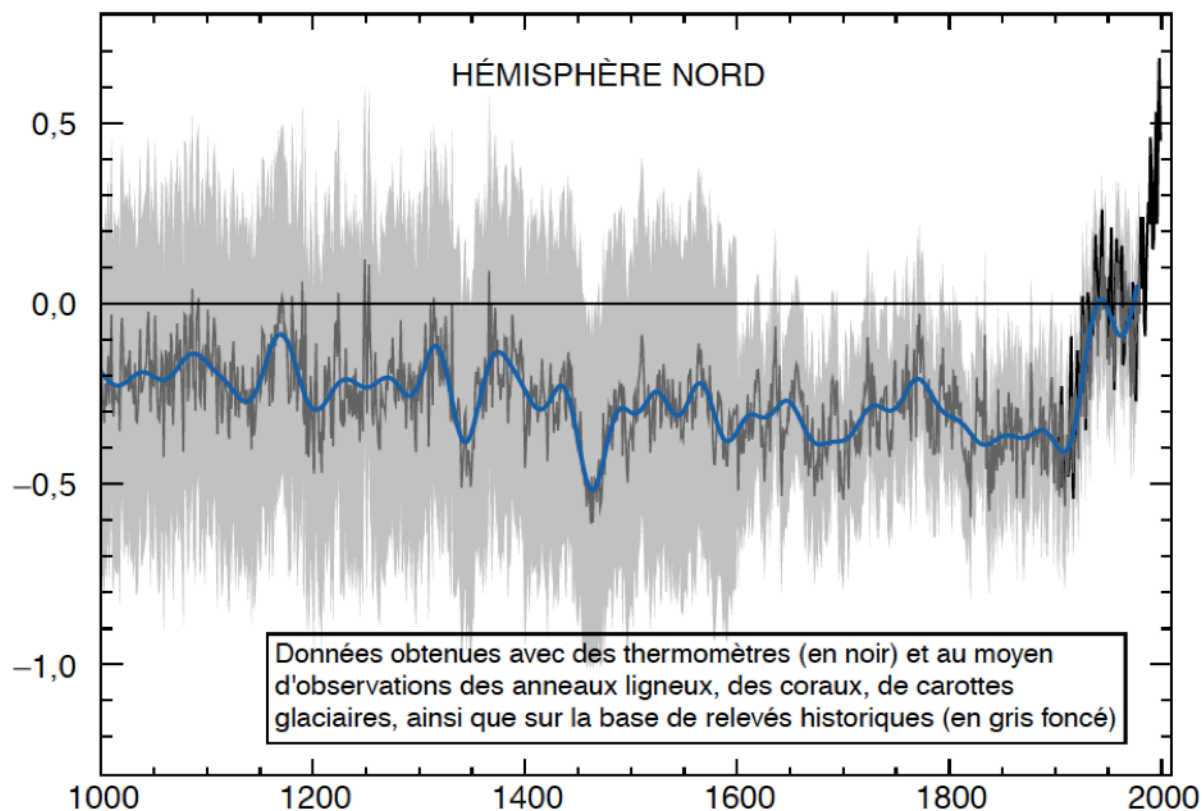


Figure 3 : Variation de la température moyenne de l'hémisphère nord depuis l'an 1000 établie par Michael Mann et collègues et présentée dans le 3^{ème} rapport du GIEC (2001)

Michael Mann utilise ces données historiques mais il s'appuie également sur les reconstructions climatiques basées sur l'étude des cernes d'arbre, des glaces polaires et des coraux (Figure 3). Résultat : la « crosse de hockey » revoit à la baisse l'importance donnée par les historiens à l'optimum médiéval et au petit âge glaciaire. Cela ne remet pas du tout en cause leur approche plus qualitative et essentiellement limitée à l'Europe de l'Ouest, mais tend à montrer le caractère exceptionnel de la période récente, lorsque l'on s'intéresse à l'ensemble de notre hémisphère. Les conclusions du GIEC selon lesquelles « le réchauffement observé au 20^e siècle a été le plus important des 1000 dernières années et, dans l'hémisphère Nord, les années 90 ont été la décennie la plus chaude », qualifiées l'une et l'autre de probables, ont déchaîné en 2001 des passions qui restent vives. Car on en pressent l'importance dans le débat sur la responsabilité des activités humaines dans ce réchauffement récent.

Les deux derniers rapports ont confirmé, pour l'essentiel, les conclusions des travaux de Michaël Mann et de ses collègues en les précisant. Ainsi des périodes de plusieurs décennies au cours desquels la température était aussi élevée qu'à la fin du 20^e siècle ont effectivement été identifiés dans certaines régions. Mais alors que le réchauffement affecte l'ensemble de la Planète, ces intervalles chauds ne se sont pas produits de

manière aussi cohérente dans les différentes régions. Ceci explique que, « considérée sur l'ensemble de l'hémisphère Nord, aucune période de 30 ans appartenant à l'optimum médiéval n'ait été aussi chaude que les années 1983 à 2012 ». Qui plus est, la prise en compte du forçage orbital, dont la variation est faible mais non négligeable à ces échelles de temps, des forçages solaire et volcanique et de la variabilité interne permet d'apporter une explication au refroidissement observé entre optimum médiéval et petit âge glaciaire ainsi qu'à sa répartition géographique.

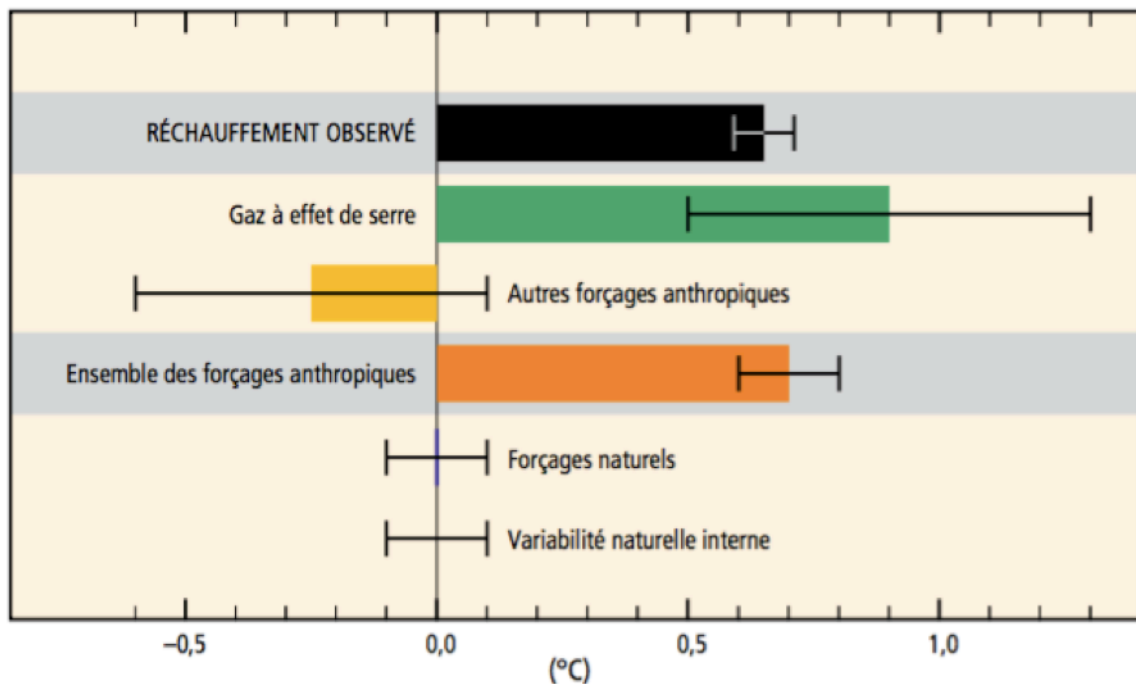


Figure 4 : Réchauffement observé sur la période 1951-2010 et estimations des contributions des activités humaines, des forçages naturels et de la variabilité interne naturelle à ce réchauffement avec indication des incertitudes (Source : GIEC, 2014)

Ces fluctuations du dernier millénaire peuvent donc être associées à des causes naturelles de variation du climat tout au moins jusque dans la première partie du siècle dernier. Mais ce n'est plus le cas pour la période plus récente de nature visiblement différente (Figure 3). Cette conclusion doit beaucoup aux modélisateurs du climat qui ont réalisé deux types de simulations couvrant le 20^{ème} siècle. Les premières ne prennent en compte que l'évolution des forçages naturels, variabilité solaire et volcans, tandis que les secondes incluent également les forçages anthropiques, gaz à effet de serre et particules d'aérosols. Il est impossible de reproduire le réchauffement observé si l'on ne prend pas en compte l'évolution des gaz à effet de serre, ce qui implique que nous sommes, de façon quasi-certaine, dans un monde dont nous modifions le climat. Sur la période 1950-2010, la contribution naturelle est estimée à moins de 0,1°C tandis que celle liée aux activités humaines est estimée à 0,7°C et est donc de l'ordre du réchauffement observé de 0,6°C (Figure 4). L'influence des activités humaines est également détectée dans le réchauffement de l'océan, dans les changements du cycle global de l'eau, dans le recul des neiges et des glaces, dans l'élévation du niveau moyen mondial des mers et dans la modification de certains extrêmes climatiques. En 2014, l'ensemble de ces éléments conduit le GIEC à conclure que l'influence de l'homme est la cause principale du réchauffement observé depuis le milieu du 20^e siècle, à plus de 95 chances sur 100.

2- La prise de conscience de ma responsabilité de scientifique

Fils d'agriculteurs bretons, j'ai un souvenir émerveillé du bocage tel qu'il existait encore dans les années 50. Gamin, c'était une de mes joies d'emmener les vaches au pré en suivant un magnifique chemin creux que le remembrement a depuis largement supprimé. Nul doute, j'ai apprécié la qualité de l'environnement dans lequel j'ai grandi mais je ne crois pas que cette jeunesse à la campagne aurait suffi à me faire prendre conscience des dangers que les activités humaines font courir à notre environnement.

C'est à travers mon activité de recherche que je m'y suis intéressé. Ce n'était d'ailleurs probablement pas le cas en tout début de carrière même si ma thèse, commencée en 1968, portait sur l'étude de la formation de la grêle, phénomène naturel aux conséquences potentiellement dévastatrices pour les cultures et, encore plus, pour les vignobles. Le déclic s'est produit plus tardivement, grâce à Claude Lorius qui dans les années 70 m'a entraîné vers l'étude des glaces polaires. Dans les années 80, j'ai eu la chance d'être impliqué dans la découverte d'un lien entre effet de serre et climat dans le passé grâce aux résultats obtenus à partir de l'analyse du forage Antarctique de Vostok (cf 1.1), et, au début des années 90, dans la confirmation de l'existence de variations climatiques rapides au cours de la dernière période glaciaire, apportée par l'étude des glaces prélevées au centre du Groenland (cf 1.2).

Ces travaux ont indéniablement joué un rôle dans ma propre prise de conscience des conséquences potentielles des activités humaines sur l'évolution de notre climat. Ils ont eu un large écho au sein de la communauté scientifique qui en a reconnu l'importance. Ainsi les résultats obtenus sur les 420 000 années couvertes par les carottes de glace extraites sur le site de Vostok, nous ont valu à Claude Lorius et à moi-même de recevoir la médaille d'or du CNRS en 2002. Et en 2012, m'a été décerné – conjointement avec Susan Solomon, chimiste de l'atmosphère – le prix Vetlesen, considéré comme le « Nobel des sciences de la Terre et de l'Univers », pour l'extension de l'enregistrement de température aux 800 000 dernières années (cf 1.1). Mais au-delà de la reconnaissance, par le jury de ce prix, de ces résultats dont je souligne qu'ils sont le fruit d'un travail d'équipe « *In the longest climate reconstruction yet from ice cores, Jouzel in a 2007 study in the journal Science charted temperatures in Antarctica for the last 800,000 years, over eight consecutive ice ages* », j'ai été tout aussi sensible à la seconde partie de la citation de ce prix Vetlesen, plus personnelle « *He has also been a leader in bringing human-caused climate change to the public's attention* ».

Rétrospectivement, ce rôle de « lanceur d'alerte » doit beaucoup aux résultats obtenus sur les glaces de l'Antarctique et du Groenland à la fin des années 80 et au début des années 90. Mais il résulte tout autant de l'intérêt que leur ont alors porté les médias. Dès la sortie des articles mettant en évidence le lien entre climat et effet de serre, je reçois à Saclay, en octobre 1987, la visite de Walter Sullivan, reporter au New-York Times et l'un des plus célèbres journalistes scientifiques, considéré comme le « *dean of science writers* ». Cette interview a marqué le début de plus de trente ans d'interactions très riches avec les médias. Et j'ai pu vérifier que, dès 1989, les points de vue que j'y exprimais incluaient déjà, au-delà des enseignements apportés par l'étude du passé de notre climat, un message d'alerte par rapport à son avenir en réponse aux activités humaines.

Ce volet « avenir de notre climat » prendra progressivement de plus en plus de place dans mes interventions au point que la plupart d'entre elles y sont désormais largement, voire entièrement, consacrées. Ma participation aux travaux du GIEC, de 1994 à 2015 y a largement contribué. J'ai de façon récurrente, par exemple dans un article « Réchauffement du climat : ce que la science dit » paru dans les Cahiers du MURS en 2005, dit mon attachement à la mission du GIEC qui ne consiste pas à faire des recommandations aux décideurs politiques mais à leur donner les éléments pour qu'ils puissent prendre leurs décisions. La qualité indéniable de ces rapports doit beaucoup à la force de l'expertise collective et à la prise en compte la plus large possible des nombreux commentaires externes qui, d'horizons très divers, y sont apportés tout au long du processus de rédaction. Les projections réalisées à l'aide de modèles climatiques, en fonction de différents scénarios d'émission de gaz à effet de serre, tiennent une place très importante dans ces rapports du GIEC. Dans notre pays, ces projections climatiques sont réalisées par les chercheurs de Météo France et par ceux de l'Institut Pierre-Simon Laplace (IPSL) ; j'ai dirigé l'IPSL de 2001 à 2008 et mon intérêt pour l'évolution future de notre climat a donc aussi largement bénéficié de mes interactions avec les équipes de modélisation du climat de cet institut.

Chaque rapport du GIEC se concrétise par un résumé rédigé à l'attention des décideurs politiques et adopté ligne à ligne par les représentants des gouvernements. J'adhère pleinement à cette procédure. D'une part, le contenu de ces rapports reste sous le contrôle des scientifiques car toute proposition de modification au niveau de ce résumé doit s'appuyer sur le rapport complet rédigé par cette communauté scientifique. D'autre part, et au prix de séances plénières marathon – j'en ai vécu une vingtaine avec énormément d'intérêt – elle permet une véritable appropriation de ces rapports par les décideurs politiques et assure aux rapports du GIEC une visibilité qui ne se dément pas depuis 1990. L'avantage de ce processus d'adoption est qu'il crée une synergie entre la communauté scientifique qui s'implique fortement dans la rédaction des rapports du GIEC et les décideurs politiques. Chaque année depuis 1995, ces décideurs se réunissent au sein des COP, *Conference Of Parties* de la Convention Climat mise sur pied lors du Sommet de la Terre de Rio de Janeiro en 1992.

3- Conclusion : des engagements plus « politiques »

Le début des années 2000 va marquer un tournant au niveau de mes engagements. Lors d'une émission télévisée à laquelle je participe aux côtés de Dominique Voynet, alors Ministre de l'Environnement, je lui dis mon regret que notre communauté scientifique ne soit pas associée aux négociations « climat ». Cette remarque est prise au sérieux puisque fin 2001, je suis invité à participer à la COP 7 qui s'est déroulée à Marrakech, au titre d'expert scientifique au sein la délégation française. D'une certaine façon, je franchis alors le pas entre notre communauté scientifique et celle des décideurs politiques. J'assume alors pleinement ce choix car je pense que nous, scientifiques, ne devons pas rester dans notre « tour d'ivoire » mais nous ouvrir très largement vers l'extérieur, répondre aux sollicitations des médias – ce que j'avais fait jusque là – mais aussi à celles des politiques avec cet objectif de mettre l'expertise acquise à leur disposition. Je ne le regrette pas non plus car c'est passionnant de participer à ces conférences « climat » en étant immergé au sein d'une délégation nationale et donc en ayant des interactions très riches avec l'équipe des négociateurs. J'ai été heureux de répondre à cette invitation chaque année depuis 2001 et d'avoir jusqu'ici participé à

19 COP, avec des déceptions comme à Copenhague et des satisfactions comme celles que nous ont apportées l'Accord de Paris, dont néanmoins l'ambition doit impérativement être rehaussée. Et je suis partant pour la COP 26 qui se tiendra fin 2021 à Glasgow.

Mon expertise dans le domaine de l'évolution du climat, mon implication dans le bureau du GIEC, m'ont amené à m'investir aussi au niveau national. Sous le mandat de Jacques Chirac, j'ai participé au groupe d'experts réuni pour préparer la loi qui en 2005 fixe la stratégie française et les objectifs à atteindre en matière d'énergie, puis à la Mission Interparlementaire pour l'Effet de Serre. En 2007, le mandat de Nicolas Sarkozy s'ouvre par le lancement du Grenelle de l'environnement dans lequel j'ai été, avec l'économiste anglais Nicholas Stern, invité à prendre en charge la co-présidence du groupe dédié à l'énergie et au climat ; m'est également confiée la présidence d'un des groupes de travail mis en place en vue de préparer le plan national d'adaptation au changement climatique. Sous François Hollande, c'est à un comité chargé de préparer la loi sur la transition énergétique que j'ai participé puis à celui réuni autour de Laurent Fabius en amont de la conférence de Paris. Et je reste sollicité par Emmanuel Macron sur les aspects liés au réchauffement climatique si bien que l'occasion m'a été donnée d'échanger avec les quatre plus récents présidents de notre pays. Sur ces aspects « climat » c'est en premier lieu avec le ministère de l'environnement et ses responsables successifs que j'ai interagi mais je me suis également investi du côté de la recherche, à travers, en particulier, le Haut Conseil pour la Science et la Technologie que j'ai présidé de 2009 à 2013. Et c'est à l'invitation de la Ministre Frédérique Vidal que je préside un groupe de travail sur l'intégration des enjeux de la transition écologique dans l'enseignement supérieur. Là aussi, j'ai la conviction que la transmission vers les jeunes – enseignement supérieur mais aussi lycéens, collégiens, écoliers – relève de notre responsabilité. Au-delà d'échanges directs dans des classes ou à l'université, dans lesquels je m'investis avec plaisir, nous nous devons de faciliter l'accès des connaissances acquises dans ce domaine de la transition écologique aux enseignants.

Tous mes engagements auprès des décideurs politiques se sont appuyés sur l'expertise que j'ai acquise comme climatologue ou plus généralement, c'est le cas du HCST, comme chercheur. A partir de 2010, ceux-ci vont devenir plus « politiques » et correspondent plus – je l'admets – à une démarche citoyenne qu'à un engagement d'expert. Suite au Grenelle de l'environnement, le Conseil Economique et Social est transformé en Conseil Economique, Social et Environnemental et c'est à ce titre, qu'en 2010 et pour un second mandat en 2015, j'y suis nommé comme personnalité qualifiée ; mon activité y est centrée sur des aspects liés au climat et à l'énergie mais aussi à l'adaptation et à la « justice climatique », notion qui nous renvoie au risque d'accroissement des inégalités liées au réchauffement climatique. Et c'est un pas supplémentaire que j'ai plus récemment franchi en m'impliquant dans la campagne électorale de Benoît Hamon, en 2017, comme conseiller climat, et dans celle d'Anne Hidalgo dont, en 2020, j'ai présidé le comité de soutien dans la cadre de sa candidature à la mairie de Paris. Aucun de ces décideurs politiques n'a, me semble-il, acquis des connaissances sérieuses sur les problèmes environnementaux dans le cadre de ses études, mais j'ai généralement perçu chez eux une véritable envie d'interagir avec la communauté scientifique sur ces thèmes dont ils savent l'importance croissante pour le monde de demain ; j'aime citer l'exemple de Delphine Batho qui lorsqu'elle est, en 2012, devenue ministre (écologie, développement durable et énergie), prenait, dans cet esprit d'interaction, le temps d'assister aux réunions du petit comité qu'elle avait mis en place pour préparer le débat

préalable à la préparation de la loi sur la transition énergétique. Tous ces échanges que j'ai eus, depuis une vingtaine d'années, renforcent ma conviction qu'il est de notre rôle de répondre aux questions que se posent légitimement les décideurs politiques lorsqu'ils nous sollicitent.

Depuis 2005, je suis membre du M.U.R.S., le Mouvement Universel de Responsabilité Scientifique, créé par le Recteur Mallet en 1974 et présidé successivement par nos regrettés collègues Jean Dausset et Gérard Mégie, auxquels j'ai succédé. Je suis pleinement en phase avec le Manifeste de notre mouvement qui met en avant le fait que « le débat est indispensable » mais il est une phrase de ce Manifeste à laquelle je suis particulièrement sensible « Le droit à l'éducation et à l'information scientifique doit se traduire par une meilleure communication entre les scientifiques, les responsables des politiques publiques, les médias et les différents groupes composant la société ». Cette nécessité d'éduquer, d'informer, de communiquer vaut bien entendu pour l'ensemble des disciplines mais elle doit être au cœur des domaines où il y a urgence à agir. Et c'est le cas pour ce qui touche à l'évolution de notre climat.

Références

1. André Berger, La santé de la Terre, un défi aux Universités, *Cahiers du MURS*, 23/24, 1991
2. Jean-Claude Duplessy, Variabilité et histoire à long terme du climat, *Cahiers du MURS*, 23/24, 1991
3. Jean Jouzel, Réchauffement du climat : ce que la science dit, *Cahiers du MURS*, 4ème trimestre 2005
4. Jean Jouzel et al., Orbital and millennial antarctic climate variability over the last 800 000 years, *Science*, 317, 793, 2007
5. Laetitia Louergue et al., Orbital and millennial-scale features of atmospheric CH₄ over the past 800 000 years, *Nature*, 453, 383–386, 2008
6. Dieter Luthi et al., Low carbon dioxide in Dome C ice 650,000 – 800,000 years before present. *Nature*, 453, 7193, 379-382, 2008