



Réchauffement du climat : ce que la science dit

Jean Jouzel

► To cite this version:

Jean Jouzel. Réchauffement du climat : ce que la science dit. Les cahiers du M.U.R.S., 2005, 46, pp.9-33. hal-03334656

HAL Id: hal-03334656

<https://hal.science/hal-03334656>

Submitted on 4 Sep 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Jean JOUZEL

Jean Jouzel, Directeur de Recherches au CEA, a fait dans cet organisme l'essentiel de sa carrière scientifique, largement consacrée à la reconstitution des climats du passé à partir de l'étude des glaces de l'Antarctique et du Groenland.

Depuis janvier 2001, il est Directeur de l'Institut Pierre Simon Laplace (IPSL). Cet institut, Fédération de Recherches du CNRS et Observatoire des Sciences de l'Univers de l'UVSQ, regroupe six laboratoires de la région parisienne impliqués dans les recherches sur l'environnement global.

Il est, par ailleurs, président de l'Institut Polaire Paul Emile Victor (IPEV). Il a participé au titre d'auteur principal aux rapports du GIEC (Groupe Intergouvernemental sur l'Etude du Changement Climatique), et en est désormais membre du bureau et vice-président du groupe de travail scientifique.

Il est auteur de plus de 300 publications et membre de nombreux comités internationaux. Ses travaux ont été récompensés par des prix et distinctions dont la médaille Milankovitch décernée par la Société Européenne de Géophysique et un prix de l'Académie des Sciences. Conjointement avec Claude Lorius, il a, en 2002, reçu la Médaille d'or du CNRS.

Dernière Publication :

Le climat : jeu dangereux, Jean Jouzel et Anne Debroye,
Ed . Dunod 2004

Réchauffement du climat : ce que la science dit

Je souhaite que ce séminaire soit dédié à Gérard Mégie, que vous avez connu comme Président du MURS. Il était devenu pour moi un ami puisque j'ai fait une partie de ma carrière avec lui. J'ai pris sa suite à la direction de l'Institut Pierre-Simon Laplace lorsqu'il est devenu Président du CNRS en 2000. Nous nous connaissions très bien. Je savais son attachement pour le MURS.

Au cours de ma carrière scientifique, j'ai beaucoup travaillé sur les climats du passé, plus précisément sur les glaces polaires, ce que l'on peut en extraire, ce que l'on peut apprendre sur le fonctionnement du climat à partir des données du passé. Ce regard vers le passé, je l'ai partagé avec d'autres et notamment avec Claude Lorius. C'est un domaine où la communauté est forte en France : dans ces lieux, nous avons Edouard Bard qui est un des très jeunes Professeurs au Collège de France et qui est titulaire de la Chaire d'évolution du climat et de l'océan. C'est en France une discipline très vivante. Elle m'a naturellement amené à m'intéresser au climat du futur.

A quel titre y suis-je impliqué ? J'ai travaillé sur le climat du futur dans un domaine qui me concerne très directement la modélisation des isotopes de l'eau. Mais, j'y suis

également intéressé à travers mes responsabilités à l'Institut Pierre-Simon Laplace (IPSL), Institut qui réalise des simulations du climat du futur dont je vous parlerai. Ces modèles climatiques très sophistiqués, il y en a deux en France, l'un à Météo France et l'autre à l'IPSL. Je suis aussi très impliqué dans le GIEC (Groupe Intergouvernemental d'Experts sur l'Etude du Changement Climatique). Dans ce domaine qui concerne le scientifique et l'opinion, le GIEC a joué un rôle-clé au niveau de l'expertise, en s'attachant au transfert de l'information vers l'opinion. J'y suis très actif depuis une quinzaine d'années, actuellement au titre de membre du Bureau et vice-président du Groupe Scientifique. Et c'est beaucoup à travers les travaux du GIEC qu'aujourd'hui, je m'adresse à vous.

L'idée de cette conférence – « ce que la science dit du réchauffement de la planète » – que je vais explorer avec vous, je l'ai vécue de l'intérieur. J'ai commencé à travailler sur les calottes polaires tout en préparant une thèse sur la formation de la grêle. J'ai commencé à m'intéresser au climat dans les années 70. A un moment où peu de gens s'y intéressaient, et où le problème d'effet de serre n'était pas encore considéré comme un véritable problème, celui-ci n'ayant été mis en avant qu'au début

des années 80. L'ayant vécue de l'intérieur, je vais essayer de vous faire partager cette prise de conscience en privilégiant l'approche scientifique. La raison de ce choix est simple : les volets orientés vers les impacts du changement climatique, les solutions à y apporter et les négociations en cours, seront explorés, ici même, par d'autres conférenciers.

10

Réchauf-
fement
du
climat :
ce que la
science
dit

une proximité croissante entre le scientifique et l'opinion

Pourquoi me semble-t-il qu'il y a maintenant beaucoup plus de proximité entre ce problème et l'opinion ? Nous avons beaucoup plus de personnes à assister aux conférences qu'il y a 15 ans, sans citer l'importance croissante des émissions dans tous les médias, ni même les grands événements qui abordent le sujet du climat. Par exemple, la priorité de la prochaine réunion du G8 sera le changement climatique. On voit bien que notre discipline a fait en 15 ans d'énormes progrès en termes de communication et de transfert de la connaissance vers l'opinion. Alors, pourquoi cette prise de conscience - qui certes n'est pas acquise dans toute l'opinion - commence-t-elle vraiment ?

Parce qu'il y a désormais dans ce domaine du changement climatique, **des responsabilités bien établies**. En premier lieu, nous savons de quoi nous parlons. En outre, quand on examine l'origine de cette **responsabilité**, on comprend qu'elle est

largement **personnelle**, c'est-à-dire qu'on peut l'identifier à travers nos actions de chaque jour.

Les conséquences sont déjà perceptibles. Elles ne sont pas du tout dramatiques pour le moment, ne vous inquiétez pas. Mais d'une certaine façon, elles sont déjà palpables, par exemple dans le cas de la disparition progressive de certains glaciers. Il y a donc une certaine perception du changement climatique, dont je ne dis pas du tout que c'est déjà un danger.

Le diagnostic est de mieux en mieux établi, à propos de la responsabilité de l'homme. Tout cela ne veut pas dire qu'il n'y a pas de controverse, j'y reviendrai. Mais le problème sérieux est devant nous. C'est-à-dire que si l'on n'y fait pas attention, on va vraiment vers des **changements climatiques majeurs à l'horizon de la fin du siècle**, à l'horizon de mes petits-enfants pour ce qui me concerne.

Nous avons aussi des **incertitudes**, cela fait partie du débat ; et nous souhaitons aussi les transmettre à l'opinion. Ainsi en est-il de l'ampleur du changement et de ses caractéristiques géographiques pour lesquelles, vous le verrez, cette notion d'incertitude est très présente.

Il y a un **engagement des politiques** qui, finalement, joue dans l'opinion. Quand on parle du protocole de Kyoto, je ne dis pas que tout le monde connaît exactement de

quoi il s'agit, mais beaucoup savent que cela se rattache au problème du changement climatique.

Il y a un vrai **défi planétaire** parce que si l'on veut effectivement maîtriser le climat, c'est un véritable engagement et même davantage, un engagement majeur. Je vous le démontrerai.

Il y a aussi une dimension qui est très forte à mon avis, c'est ce que j'appelle **l'héritage et la transmission**. Nous héritons du réchauffement climatique, causé par les gaz à effet de serre qui ont été libérés au cours de la deuxième moitié du XX^{ème} siècle, et nous l'avons devant nous maintenant. À l'inverse, nous devons être attentifs à ce que nous allons transmettre à la deuxième moitié du XXI^{ème} siècle. Si nous n'y faisons pas attention, c'est un risque majeur, non pas pour nous qui nous nous adapterons, mais pour ceux qui effectivement viendront après nous. C'est-à-dire que l'action que nous avons sur le climat n'est pas instantanée, elle est largement pour les autres, pour ceux qui nous suivront. C'est une dimension très importante. C'est la dimension que j'ai généralement le plus de difficulté à expliquer. Les gens disent : « Ce n'est pas grave » sous-entendant que les générations futures n'auront qu'à s'adapter. J'y attache de l'importance.

Il est vrai que des **controverses** et des incertitudes, il y en a toujours. Il y a des **risques de surprise** aussi, dont les scénar-

istes des films se délectent. Par exemple, Le Jour d'après, que certains d'entre vous avez peut-être vu. C'est un film construit sur ce problème de changement climatique et de risque d'arrêt du Gulf-Stream.

Et puis, il y a aussi une dimension très forte qui est celle du développement durable, celle des rapports Nord Sud, le fait que **les impacts soient inégalement répartis** car plus vous êtes pauvres, plus vous avez du mal à y faire face. Mais je n'en parlerai pas beaucoup car cet aspect s'inscrit plus dans le domaine des impacts. De même, il y a toutes les dimensions technologiques dont je ne parlerai pas non plus beaucoup parce que deux autres séminaires l'aborderont. Comme convenu, je resterai donc assez proche de la science des changements climatiques.

L'effet de serre naturel est un phénomène physique bien documenté et bénéfique

La première chose, c'est que nous savons de quoi nous parlons du point de vue de la physique. C'est quelque chose de bien documenté. On parle d'effet de serre. L'effet de serre, qu'est-ce que c'est ?

Le rayonnement solaire arrive à la surface de la planète sans trop de difficultés par temps clair. Il y a absorption, mais quand il n'y a pas de nuages, on reçoit une large partie de ce rayonnement. Par contre, à son

retour de la terre vers l'atmosphère, une partie de ce rayonnement est absorbée puis réémise par toute une série de molécules - en premier lieu le gaz carbonique et le méthane. On comprend bien que plus les concentrations de ces gaz sont élevées, plus il y a d'absorption et donc de chaleur disponible dans les basses couches de l'atmosphère. En soi, l'effet de serre n'est pas un problème car nombre de ces molécules sont présentes naturellement. Sauf les chlorofluorocarbones fabriqués par l'homme (produits réfrigérants), toutes les autres molécules existent naturellement. A noter que sans ces gaz, sans effet de serre, la planète serait invivable. Avec cet effet de serre, nous avons une température moyenne de 15°C, et autrement nous aurions -18°C. Donc, en soi, l'effet de serre n'est pas maléfique, mais bénéfique.

Le problème, ce n'est donc pas l'effet de serre, mais son augmentation. Pour connaître la composition de l'atmosphère dans le passé récent, on mesure - pratiquement depuis 50 ans maintenant - les teneurs en gaz carbonique de l'atmosphère. On constate qu'elles ont augmenté de 320 à 380 ppm (c'est à dire des parties par million) en une cinquantaine d'années.

Et puis, si on veut remonter plus loin dans le temps, on va chercher les bulles dans les glaces polaires, on les analyse et l'on détermine ainsi la composition de l'atmosphère du passé. On peut ainsi remonter jusqu'à 800 000 ans.

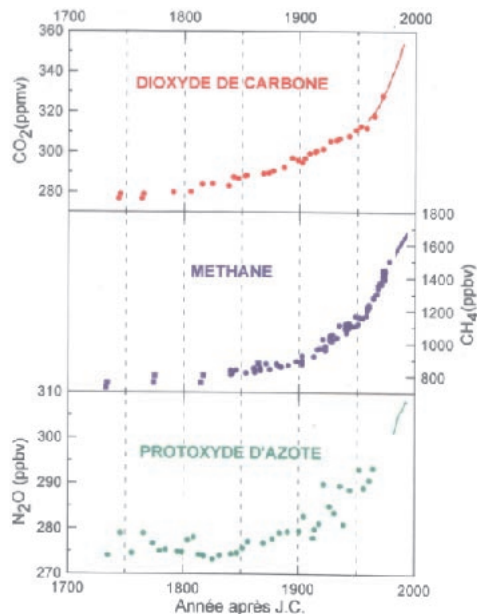


Figure 1

Variation au cours du dernier millénaire de la composition de l'atmosphère en gaz carbonique (dioxyde de carbone), en méthane et en oxyde nitreux (source : rapport du GIEC).

Donc, le gaz carbonique a augmenté de plus de 30 %. Le méthane lui a plus que doublé depuis 200 ans. L'oxyde nitreux a aussi augmenté de 15 %. Ce sont les trois principaux gaz à effet de serre affectés par l'action de l'homme. Et non seulement nous sommes sûrs que l'effet de serre a augmenté mais nous avons des preuves que cette augmentation résulte bien de l'action de l'homme. C'est une certitude : on peut le démontrer à travers ne serait-ce que la composition isotopique (concentration en carbone 13 et en carbone 14) du CO₂, il n'y a pas de doute là-dessus.

C'est l'action de l'homme que l'on voit ici et cette action est tout à fait notable. Il y a 200 ans, on avait en moyenne sur cette planète 240 watts par mètre carré pour se chauffer, pour chauffer les basses couches de l'atmosphère, dirons-nous de façon simple. Maintenant, on a 242,5 watts par mètre carré, soit 1 % en plus. Donc, il y a une augmentation notable de l'effet de serre. Et cette augmentation est liée pour près de 60 % au gaz carbonique, pour environ 20 % au méthane et pour environ 20 % aux autres gaz.

Il y a aussi une caractéristique essentielle : c'est la longue durée de vie dans l'atmosphère pour le gaz carbonique. Ce qui fait que si l'on veut stabiliser l'effet de serre, ce qui est le cas, il faut absolument stabiliser le gaz carbonique. On parle beaucoup du gaz carbonique parce que c'est lui qui contribue le plus à l'effet de serre additionnel et il a cette malheureuse propriété de rester longtemps dans l'atmosphère, ce qui le place en fait au cœur du problème.

Un intervenant : dans l'histoire de l'atmosphère à travers une analyse des glaces de l'Antarctique et de l'Arctique, ces trois composés ont-ils toujours eu des valeurs inférieures à celles que vous indiquez ?

Jean JOUZEL : ce pour quoi nous avons eu la médaille d'or du CNRS avec Claude Lorius, est d'avoir montré effectivement deux choses. C'est que gaz carbonique, méthane et oxyde d'azote, mais surtout gaz

carbonique et méthane n'ont jamais eu des valeurs aussi élevées depuis 420 000 ans. Second point, en effet, en période chaude dite interglaciaire, il y a plus de gaz carbonique, plus de méthane qu'en période froide (période glaciaire). Dans le passé climat et effet de serre sont allés main dans la main. Ce n'est pas cette observation que l'on utilise pour les prédictions du climat du futur, mais elle témoigne du rôle climatique de l'effet de serre.

13
— Jean JOUZEL

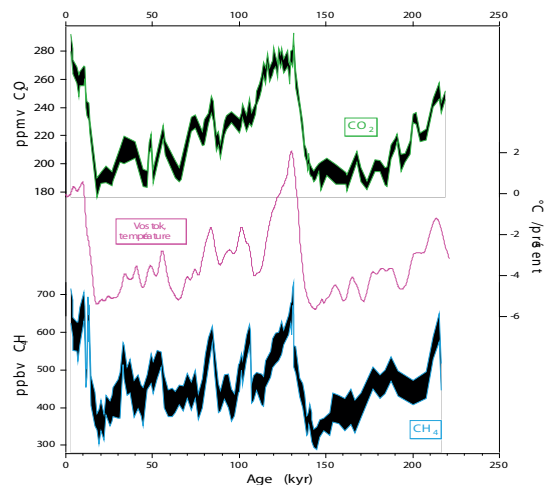


Figure 2

Variation depuis 420 000 ans de la température en Antarctique (courbe du milieu) et de la composition de l'atmosphère en gaz carbonique (en haut) et en méthane (en bas). Ces deux dernières incluent, (à gauche) les valeurs récentes qui illustrent l'augmentation de ces deux gaz à effet de serre en réponse aux activités humaines (adapté de Petit et al., Nature 1999).

Il faut savoir qu'à ces échelles de temps le moteur du climat n'est pas l'effet de serre, mais la position de la terre sur son orbite qui crée le rythme d'apparition des périodes glaciaires et interglaciaires. La variation d'effet de serre joue un rôle d'amplification. Donc, il y a ce témoignage très important sur le rôle de l'effet de serre vis-à-vis du climat passé, qui se fonde sur les variations du gaz carbonique et du méthane.

Il faut bien se rendre compte que ce n'est pas rien, ce que l'on fait à l'atmosphère. Augmenter de 30 % le gaz carbonique et plus que doubler le méthane, comme nous l'avons fait depuis 200 ans, c'est quelque chose d'important.

Des responsabilités désormais bien établies et inégalement réparties

Dans le monde

On y participe tous, mais comment ? A travers le gaz carbonique (CO_2), le méthane (CH_4) et l'oxyde nitreux (N_2O).

Voici quelques données : pour le **gaz carbonique**, par exemple, on parle en tonnes de carbone. Dans les années 90, près de 6 milliards de tonnes de CO_2 ont été émises chaque année, à partir du charbon, du pétrole et du gaz naturel. Les cimenteries aussi contribuent pour environ 3 %.

Cela fait une tonne par an par habitant en moyenne sur cette planète. Quand on dit que c'est très inégalement réparti, cela veut dire, pour l'année 2000, 5.4 tonnes aux Etats-Unis, 290 kilos en Inde, et une centaine de kilos dans de nombreux pays de l'Afrique. En France, nous étions, en 2000, à 1, 68 tonne. Nous sommes de bons élèves par rapport à d'autres pays européens parce qu'une partie de l'énergie est apportée par le nucléaire. C'est une caractéristique française. Mais on est quand même à 2 tonnes ou presque, par an et par habitant.

Sur ces 6 milliards de tonnes, la moitié environ est absorbée par l'océan ou par la végétation, mais l'autre moitié, reste dans l'atmosphère et est la cause de l'augmentation illustrée dans le graphe précédent.

Les émissions du **méthane** peuvent être naturelles. Dans les marais, du méthane est produit naturellement, mais des productions agricoles et industrielles sont liées à l'action de l'homme, par exemple au niveau des fuites : quand on parle de gaz naturel, il s'agit de méthane. En ce qui concerne les pratiques agricoles, de même qu'il y a des émissions naturelles des marais, les rizières forment aussi du méthane. Les ruminants en forment également ainsi que les décharges. Dès qu'il y a en l'absence d'oxygène - et donc d'air - décomposition de matières organiques, il y a formation de méthane.

L'oxyde nitreux provient d'émissions naturelles, et là aussi l'agriculture et l'élevage

sont en cause. L'agriculture utilise beaucoup les engrais. Les activités industrielles y contribuent également.

Tout cela, ce sont les émissions à l'échelle de la planète. C'est vraiment inégalement réparti.

Et en France

Voici une répartition en France (1990-2001). Ce sont les chiffres officiels de l'ADEME.

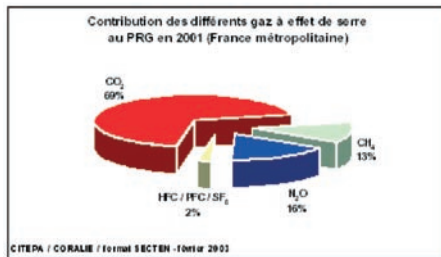


Figure 3 : Contribution relative pour la France des différents gaz à effet de serre à l'effet de serre additionnelle (source CITEPA).

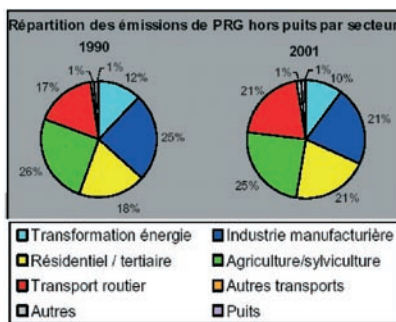


Figure 4 : Répartition pour la France de l'effet de serre additionnel, entre les différents secteurs d'activité (source CITEPA).

Quand on regarde l'effet de serre total, le premier contributeur en France est l'agriculture. Ce n'est absolument pas vrai pour le gaz carbonique, mais si l'on tient du compte du méthane et de l'oxyde nitreux, c'est loin d'être négligeable. A l'inverse, il faut voir qu'une des solutions (l'augmentation des puits) passe par la sylviculture. La culpabilité passe par l'agriculture, qui est également source potentielle de solutions avec la sylviculture et l'utilisation de la biomasse. Il faut donc faire un bilan complet.

Ensuite, pas de surprise : il y a les émissions par les transports routiers, le résidentiel / tertiaire et l'industrie.

Quand on parle de responsabilité personnelle, cela veut dire qu'on a à peu près 50 % des émissions associés ce que l'on fait chez soi dans la vie de tous les jours, le résidentiel et le transport. Entre la façon dont on se comporte chez soi et la façon dont on se déplace, on arrive donc presque à la moitié des émissions. On peut toujours dire que l'industrie, ce sont les autres, mais la façon dont on se déplace et la façon dont on se comporte chez soi, ce ne sont pas les autres. Dans nos gestes de chaque jour, on peut décider au moins de la moitié de ce que l'on fait en émissions.

En France, la contribution du gaz carbonique à l'effet de serre additionnel est de 70 %, et donc un peu supérieure à la moyenne planétaire.

Ensuite, il y a des conséquences perceptibles.

D'abord la température moyenne globale (cf graphe) : ce n'est pas la plus perceptible parce que, justement, c'est une augmentation lente de la température sur la planète. Le graphe s'arrête en 2000, mais si vous ajoutez les années jusqu'à 2004, il y a une augmentation de la température supérieure

à 0,5°C à l'échelle de la planète. Les 10 dernières années sont les plus impressionnantes. L'année la plus chaude, c'est toujours 1998 mais si vous prenez les 10 dernières années (1995 à 2004), elles sont, sauf une, plus chaudes que toutes les années qui les ont précédées. Ceci est à l'échelle de la planète. Et ces chiffres récents de l'OMM (Organisation Météorologique Mondiale), sont vraiment très impressionnant.

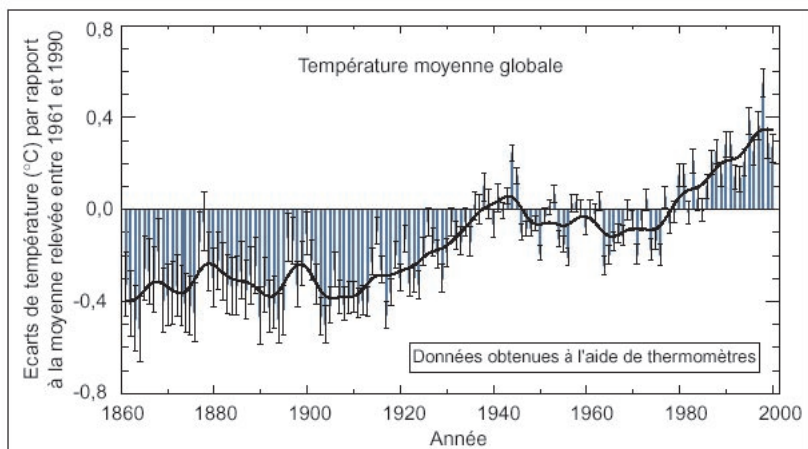


Figure 5

Variation à l'échelle globale de la température moyenne de surface depuis 1860
source : rapport du GIEC).

La figure suivante montre les données de Météo France pour le XX^{ème} siècle : la température de la France a augmenté pratiquement de 1°C avec un réchauffement plus accentué dans le sud-ouest.

Ceci traduit le fait que le réchauffement est généralement plus accentué sur les continents que sur l'océan, en particulier celui des 50 dernières années.

Les conséquences perceptibles, c'est probablement moins de neige l'hiver. On observe aussi qu'en France, par exemple, les glaciers alpins souffrent. Il faut certes rester prudent dans la prédiction : je ne

dis pas ici que la diminution de volume d'un glacier, l'été quand il fait très chaud soit liée à l'homme, mais qu'elle résulte du réchauffement ne fait guère de doute. Que celui-ci soit d'origine naturelle ou non, c'est une discussion que nous aurons après. Mais, il est clair qu'il y a un lien entre la température d'été et la fonte d'un glacier alpin.

Par contre, pour ce qui est des extrêmes climatiques, on a beaucoup plus de mal à dire, par exemple, si les inondations de 2002 ont été liées au réchauffement ou non. Nous restons très prudents : il y a une prudence dans l'attribution des extrêmes à une cause précise que j'évoquerai plus loin.

17
— Jean JOUZEL

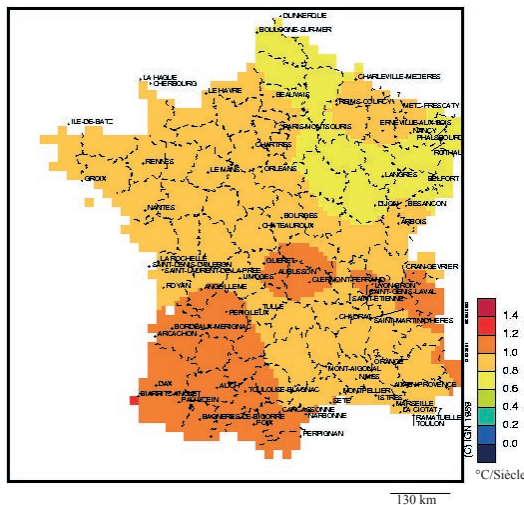


Figure 6

Réchauffement observé en France métropolitaine au cours du XX^{ème} siècle (source : Météo-France).

Une expertise internationale très bien relayée par les médias

Ce qui est certain, je l'ai illustré de façon je l'espère convaincante, c'est que l'homme modifie la composition de l'atmosphère. Il augmente ainsi l'effet de serre, et donc le chauffage des basses couches de l'atmosphère. C'est une certitude clairement affirmée par le GIEC. Et il faut bien comprendre que, si vous augmentez le chauffage, à moins d'avoir des mécanismes de compensation, vous augmenterez la température.

Ces certitudes que j'ai mises en avant ont été suffisamment fortes pour qu'un cri d'alarme soit poussé par les scientifiques : « Si l'homme continue à modifier la com-

position de l'atmosphère, on va vers un réchauffement qui risque d'être très important ». Et ce cri d'alarme a été pris au sérieux dans les années 80, en partie grâce aux résultats obtenus à partir des glaces polaires que j'ai évoqués. Et finalement, les politiques ont pris en 1988 l'initiative de la création du GIEC à travers l'Organisation Météorologique Mondiale et le Programme Environnement de l'Organisation des Nations Unies.

Dès le départ, il a été admis que ce problème de réchauffement climatique avait trois facettes étroitement liées :

- l'aspect scientifique, dont je vous parle aujourd'hui. Comment l'homme modifie-t-il la composition de l'atmosphère, quelles sont les prédictions de réchauffement climatique ? Voilà pour les aspects scientifiques.
- Evidemment, il y a les aspects impacts. Quels vont être les différents impacts d'un changement climatique ?
- et puis, il y a les aspects socio-économiques. Si l'on veut maîtriser le changement climatique, il faut maîtriser l'augmentation de l'effet de serre. Que fait-on pour cela ?

un diagnostic de mieux en mieux établi

Il y a eu un premier rapport en 1990 qui a en fait servi de support aux discussions qui au Sommet de la Terre de Rio en 1992, ont concerné le climat. Le second rapport publié en 1995 a joué un rôle clé dans l'élaboration du Protocole de Kyoto en 1997. Le troisième rapport est sorti en 2001 et nous sommes actuellement dans la préparation du quatrième rapport qui sera publié en 2007. A chaque fois les rapports du GIEC ont beaucoup d'écho.

Une des questions posée de façon tout à fait récurrente aux experts du GIEC est : « Vous nous montrez que l'homme modifie la composition de l'atmosphère. Tout le monde en est convaincu, il y a consensus là-dessus, personne de sérieux vraiment ne l'a contredit. Vous nous dites que la température augmente. Mais est-ce qu'il y a bien relation de cause à effet ? ».

La question mérite d'être posée : quand on parle d'un réchauffement moyen de 0,5°C, on se rend bien compte que, de façon tout à fait naturelle, considérer les âges glaciaires, il y a eu des périodes (ce que l'on appelle le petit âge glaciaire d'il y a 300 ans), au cours desquelles les températures au moins en Europe de l'Ouest étaient de 1°, voire 2° plus froides qu'actuellement. D'autres périodes, par exemple l'optimum médiéval, au début du dernier millénaire, étaient plus chaudes : c'était la période où l'on allait au Groenland. Donc, de façon

tout à fait naturelle, une variabilité de 0,5°C à l'échelle de la planète a probablement existé.

Faire la part entre une action éventuelle de l'homme et la variabilité naturelle mérite donc que l'on y réfléchisse. En fait, les experts du GIEC ont progressé puisque le premier rapport indiquait : « On ne sait pas. Ça se réchauffe, l'effet de serre augmente, mais on ne sait pas dire s'il y a une relation de cause à effet ». Le deuxième rapport disait : « Peut-être ». Ce « peut-être » a joué un très grand rôle, car il a fait comprendre au politiques que « Peut-être l'effet de serre est déjà là ». Le dernier rapport est plus affirmatif : « Probablement ». En fait, ce rapport conclut que des preuves plus récentes et plus concluantes permettent de dire que la majeure partie du réchauffement observé au cours des 50 dernières années est due aux activités humaines.

L'évolution de ce diagnostic a été lente, puisqu'elle a duré une dizaine, voire une quinzaine, d'années. Mais on voit bien que cette progression a provoqué des réactions : le politique a demandé un diagnostic et à partir de là, il a commencé à réagir. La difficulté, finalement, ce n'est pas seulement le transfert de la connaissance vers le politique, c'est aussi le transfert de cette connaissance vers l'opinion et le citoyen.

Nous sommes passés de : « Peut-être » à « probablement » grâce, en particulier, aux nombreuses données sur le climat acquises

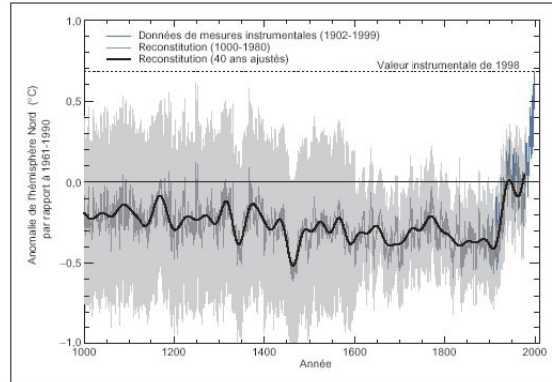


Figure 7

Variation de la température moyenne de surface dans l'hémisphère nord au cours du dernier millénaire (source : rapport du GIEC).

dans la dernière décennie. Celles ont permis à notre communauté, de reconstituer la variation de la température pour l'hémisphère nord au cours du dernier millénaire. Il y a encore beaucoup à dire sur cette période, à apprendre et d'ailleurs, beaucoup de discussions et de controverses actuelles concernent cette température moyenne de la planète au cours du dernier millénaire.

Vous voyez (figure 8 p. 20) les incertitudes qui augmentent au fur et à mesure que l'on remonte le temps. Cette courbe est basée sur l'analyse des coraux et des anneaux d'arbre, et sur les archives historiques dont Emmanuel Leroy-Ladurie qui est dans cette maison est un spécialiste. Cette reconstitution permet de dire que la dernière décennie du XX^{ème} siècle a été probablement la plus chaude du dernier millénaire.

On a aussi beaucoup travaillé sur les modèles dont les résultats sont comparés aux données disponibles depuis 1860. Je ne commente pas tout, mais disons que l'on montre à travers cette comparaison que les modèles peuvent rendre compte des observations : si on tient compte des causes naturelles de variabilité du climat comme le forçage solaire et le volcanisme, et de l'effet de serre, on simule correctement les données. Mais si on ne tient pas compte de l'effet de serre, on n'y arrive pas.

Ce que ceci démontre, c'est qu'à la fois l'acquisition des données et l'amélioration des modèles ont joué un rôle-clé dans la progression de notre diagnostic vis-à-vis du rôle de l'homme et de son affirmation.

Mais, on ne le dit pas encore pour les extrêmes. Par exemple, on ne dira pas que la grande tempête de 1999 est déjà liée à l'action de l'homme. Là-dessus, nous restons très prudents. Si, pour le réchauffement le diagnostic est clair, je ne pense pas qu'il faille aller au-delà de ce que l'on connaît sur les autres volets. Sur les extrêmes, notre opinion est : « On ne sait pas encore ».

Ensuite, je vais me tourner vers le futur et là, l'opinion est me semble-t-il assez réceptive. Ce que l'on vous dit - et on ne vous le dit pas pour vous faire peur - c'est

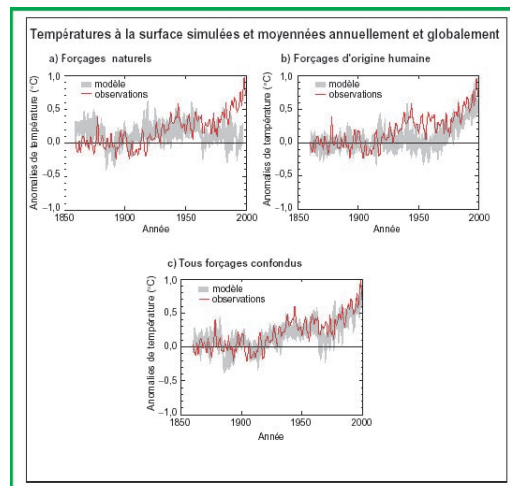


Figure 8

Comparaison entre les températures de surface observées depuis 1860 (courbe rouge) et celles simulées par un modèle qui prend en compte les forçages climatiques naturels et ceux liés aux activités humaines (source : rapport du GIEC).

que si l'on ne fait pas attention, les activités humaines vont provoquer des changements majeurs à des échelles de temps qui sont celles de quelques générations. Et encore plus au-delà, évidemment. Ce n'est pas au centre du préoccupations immédiates de chacun, mais la perception du public est qu'il risque d'arriver quelque chose auquel on devra au minimum s'adapter. Seuls, certains sont conscients du risque de conséquences vraiment néfastes. Alors, comment fait-on pour se tourner vers le futur ?

Des changements climatiques majeurs en quelques générations (horizon 2100) : ce que prévoient les économistes

A cet horizon, on ne se tourne pas vers les hommes politiques, mais on interroge les économistes: « Comment verriez-vous notre planète d'ici la fin du siècle ». On a 7 milliards de tonnes de carbone émises actuellement chaque année. Suivant le développement de la population et la façon dont on va produire l'énergie et l'utiliser, la façon dont on va se déplacer et dont nos sociétés vont évoluer, les niveaux d'émissions de carbone pourraient alors être multipliés par 4. Dans le meilleur des cas, nous pouvons envisager une stabilisation en moyenne sur le XXI^{ème} siècle (courbe du bas).

Il y a donc une grande variation possible à travers toute une palette de scénarios. Ces scénarios, les économistes les font aussi pour le méthane, pour l'oxyde d'azote, et pour les aérosols qui jouent aussi un rôle climatique. Mais il n'y a pas de surprise : plus vous mettez de gaz carbonique dans l'atmosphère, plus les concentrations vont être élevées.

Ce qui est très important, c'est le fait suivant : si vous prenez une courbe qui correspond à une situation où on ne fait pas attention, où il n'y a de limitation d'aucune sorte, ni liée à l'environnement ni aux disponibilités - parce qu'il y a aussi le problème des ressources -, vous pourrez aller jusqu'à un triplement du gaz carbonique par rapport à il y a 200 ans.

21 — Jean JOUZEL

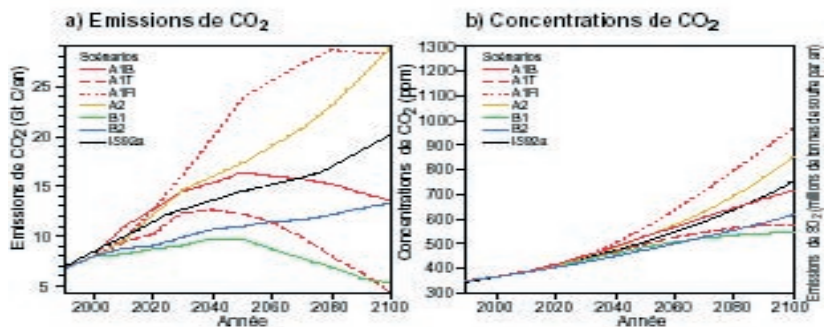
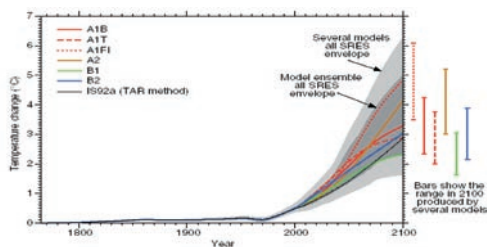


Figure 9

Ensemble de scénarios d'émission de gaz carbonique analysés par le GIEC (à gauche), à droite sont reportées l'évolution des concentrations en gaz carbonique pour chacun de ces scénarios d'émission (source : rapport du GIEC).

Mais le point encore plus important, que j'aime souligner chaque fois, c'est que même si vous stabilisez ou diminuez légèrement à la fin du siècle, on va quand même vers une augmentation de gaz carbonique : on arrive quand même à 450 parties par millions. Même si on stabilise les émissions, on en laisse chaque année dans l'atmosphère - 3 milliards de tonnes de carbone - et la teneur va encore augmenter. Donc, il ne suffit pas de stabiliser les émissions pour stabiliser les concentrations de gaz carbonique. Et lorsque l'on utilise les modèles climatiques, on retrouve la même hiérarchie des courbes.

Finalement, plus l'effet de serre augmente, plus la température augmente et c'est de ce type de courbe dont on tire les chiffres dont on vous parle souvent. C'est-à-dire que par rapport à l'actuel, le climat va augmenter entre 1,4° et près de 6° à la fin du siècle.



Evolution de la température moyenne de la planète prédite pour ces différents scénarios avec, en bas, une indication de l'incertitude liée aux modèles climatiques (source : rapport du GIEC).

Un réchauffement à l'ampleur incertaine

Nous sommes donc en présence d'un réchauffement à l'ampleur incertaine. Cette fourchette, d'un facteur 4, a deux origines.

Evidemment, il n'y a pas de surprise plus vous augmentez l'effet de serre, plus vous risquez de réchauffer. Par contre, pour un scénario donné, prenons le scénario bleu par exemple, on a des incertitudes sur le comportement du système climatique qui font que, pour un scénario donné, on a aussi une incertitude quant à l'ampleur du réchauffement. Celle-ci est indiquée pour chaque scénario. On peut dire que la moitié de cette fourchette d'un facteur 4, est liée à notre comportement, l'autre moitié au comportement du système climatique.

Plaçons nous maintenant dans le cas d'un réchauffement moyen de 3°C de la planète. En moyenne, c'est 5 fois plus que ce que l'on a connu au XX^{ème} siècle. Cette prédiction correspond à un scénario moyen ; on ne se place pas dans le scénario le plus fort. Il faut voir que 3°C, c'est la moitié d'un changement entre périodes glaciaire et interglaciaire. Disons que c'est la moitié d'un changement climatique majeur.

Autre point très important dans ce scénario moyen : si on regarde une carte construite avec un ensemble de modèles. On voit une variation de 2°C environ sur les océans mais de 8° à 10°C dans les hautes latitudes

nord. A cause de l'inertie, l'océan se réchauffe plus lentement que les continents qui se réchauffent plus vite ce d'autant plus qu'ils sont dans les hautes latitudes de l'hémisphère nord. L'une des raisons tient à la glace de mer. Quand vous faites disparaître de la glace de mer, qui est une surface réfléchissante, vous la remplacez par une surface absorbante et cela produit une rétroaction positive. Il n'y a pas que cela, il y

a aussi la stratification de l'atmosphère, qui est plus compliquée. Donc, pour un réchauffement de 3°C, on peut avoir dans certaines régions des réchauffements beaucoup plus importants. On a beaucoup entendu parler au cours des derniers mois du rapport sur le climat dans l'Arctique. Déjà, par exemple, le Nord du Canada se réchauffe 2 à 3 fois plus vite que la moyenne globale. Donc, là, ce sont des phénomènes déjà en route.

23
— Jean JOUZEL

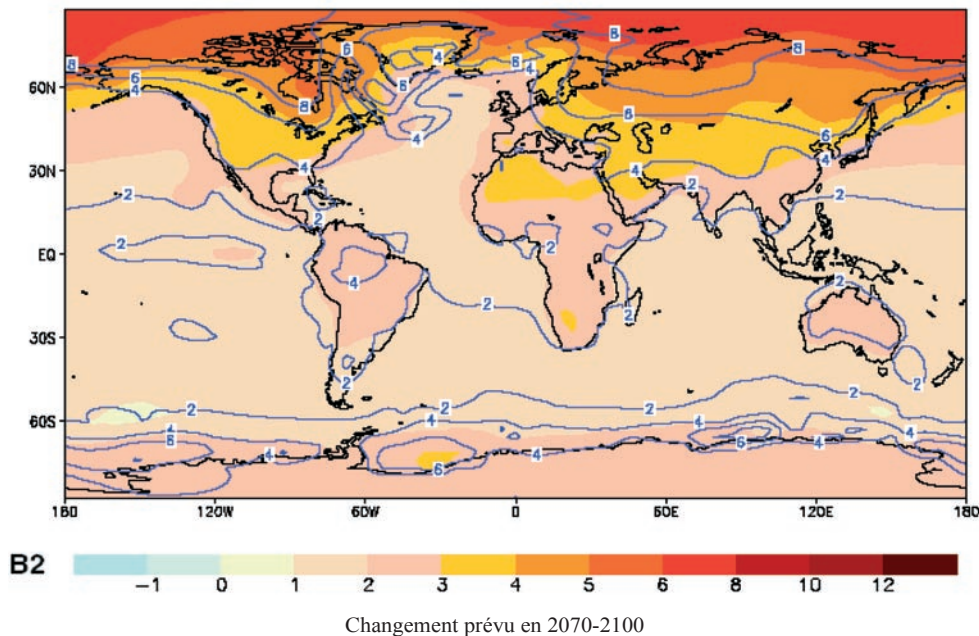


Figure 11
Température moyenne de surface prédite sur la période 2070-2100 dans le cas du scénario B2
(source : rapport du GIEC).

Voici une simulation qui a été réalisée par les chercheurs de notre Institut, il y a déjà 3 ans ; les prochaines simulations vont être présentées lors d'une conférence de presse en juin 2005.

D'abord une explication : on va de 1860 à 2100. Tous les points rouges correspondent aux données pour les mois d'été car nous étions juste après la canicule de 2003. En regardant effectivement les 3 mois d'été (juin, juillet, août), vous noterez le caractère exceptionnel de l'été 2003 qui a été de 4 à 5°C plus chaud que la moyenne des étés du XX^{ème} siècle. Mais, vous voyez aussi qu'à partir de 2050, pratiquement un été sur deux risque d'être du type 2003 avec, évidemment, des étés plus chauds que 2003. Celui-ci deviendrait la norme dans ce type de simulation à partir de la moitié du XXI^{ème} siècle. Alors qu'en moyenne globale, cette simulation de l'IPSL prédit un réchauffement de 3°C du type de celui que je vous ai montré tout à l'heure. C'est donc un scénario moyen.

Maintenant, ce n'est pas demander aux économistes ce qui est à faire, c'est plutôt demander aux scientifiques ou aux politiques, ou à vous.

Les politiques nous ont dit en fait ce qu'il fallait faire. Ils se sont engagés et cela concerne tous les pays de la planète. En 1992, lors du Sommet de la Terre à Rio, tous les pays ont signé ce que l'on appelle la

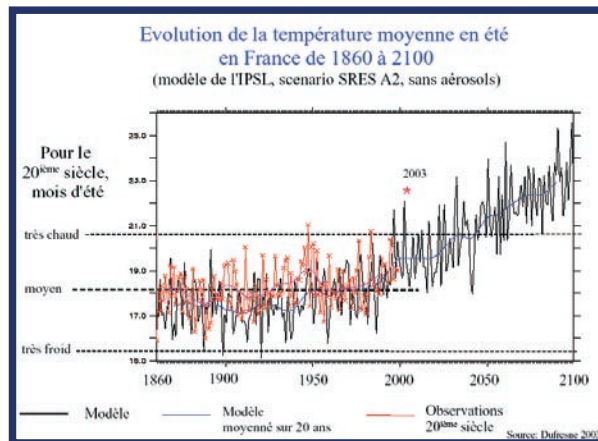


Figure 12

Cette figure concerne les mois d'été (juin, juillet et août). La courbe et les points rouges correspondent aux variations observées en France en 1860 et 2003. La courbe grise et la courbe bleue qui représente une valeur lissée) indiquent les valeurs prédites par le modèle de l'IPSL.

source : Jean-Louis Dufresne

Convention Climat¹. Ils ne se sont pas forcément rendu compte des conséquences, mais ils l'ont signée y compris les Etats-Unis, il faut le savoir. C'est-à-dire que la prise de conscience du monde politique a été assez rapide : les premiers résultats du premier rapport du GIEC ont déclenché cette convention climat avec un objectif important, qui est de « stabiliser les concentrations des gaz à effet de serre dans l'atmosphère à un niveau qui empêche toute perturbation anthropique dangereuse du système climatique », objectif qui, somme toute, est tout à fait raisonnable. On perçoit bien qu'il faut absolument stabiliser l'effet de serre.

¹ CCNUCC 1992

A quelles conditions ? A 3 conditions :

- que les écosystèmes puissent s'adapter naturellement au changement, c'est-à-dire que le réchauffement ne soit pas trop rapide.
- que la production alimentaire ne soit pas menacée. Quand on analyse cette question, il apparaît qu'au-delà de 2°C, il y a un risque. Mais si le réchauffement est maîtrisé, il n'y a pas trop de risques : il y a alors d'autres problèmes que le climat pour la production alimentaire, surtout l'eau par exemple.
- enfin que le développement économique puisse se poursuivre d'une manière durable. C'est vrai que cette notion de développement durable est fortement ancrée. Les notions de changement climatique et de développement durable sont très fortement imbriquées. Vous savez que le rapport Brundtland, c'était 1989 ou 1990. Et l'un des premiers cas d'école a effectivement été le changement climatique parce qu'il implique tous les liens nord-sud, et les liens entre générations.

La Convention Climat a été signée par tous les pays de la planète. Après, que se passe-t-il ? Ces pays tiennent une réunion chaque année en disant : « Comment va-t-on faire ? » C'est ce que l'on appelle les Conférences des parties (COP) dont on entend parler chaque année. La plus connue, celle de 1997, la COP 3, est la conférence de

Kyoto où a été signé le protocole du même nom. Je ne passerai pas trop de temps sur le protocole de Kyoto car une conférence y sera consacrée ultérieurement. Retenez simplement que ce protocole qui est entré en vigueur le 16 février dernier s'applique à la période 2008-2012. Que l'on ait tardé n'aura donc pas de conséquences mais malheureusement il n'a pas été ratifié par les Etats-Unis.

L'engagement qu'il contient, c'est que les pays développés s'engagent à diminuer leurs émissions de 5 %. Les pays en voie de développement n'ont pas pris d'engagement, ce qui apparaît logique d'un point de vue éthique. Mais on commence à discuter de l'après Kyoto, voir comment les Etats-Unis pourraient revenir à la table des négociations. Et puis entraîner les pays en voie de développement à participer eux aussi à cet effort de maîtrise de l'effet de serre. Parce qu'on n'y arrivera pas si tout le monde ne joue pas le jeu. C'est vraiment un défi planétaire. Il est important de bien comprendre que le protocole de Kyoto n'est en tout état de cause qu'un tout premier pas, puisque c'est une stabilisation des émissions pour une partie de la planète uniquement.

La dernière COP s'est tenue à Buenos Aires l'an dernier. La prochaine se tiendra à Montréal en novembre. Nous la l'espérons que la COP 12 se réunisse à Lyon l'an prochain.

Le protocole de Kyoto est entré en vigueur. L'opinion va commencer à le percevoir à travers des mesures qui sont relativement faciles à prendre au départ. Mais qui vont faire en sorte que cette problématique du climat va entrer petit à petit dans notre vie de tous les jours.

Quel est le message lorsque l'on se tourne vers les scientifiques. Certes les politiques ont tous dit : « Il faut stabiliser l'effet de serre ». Cependant le niveau dangereux à ne pas dépasser est actuellement un mythe, personne n'a vraiment défini quel était le niveau dangereux. Les Européens ont essayé de définir une limite en terme de température : que le climat ne se réchauffe pas de plus de 2°C par rapport à celui d'il y a 200 ans. Cela voudrait dire que l'on n'a

plus le droit qu'à moins de 1,5°C. Et nous en avons déjà hypothéqué la moitié, tout simplement à cause de ce que l'on hérite du passé.

Donc, si l'on se tourne non pas vers les économistes mais vers les scientifiques, ceux-ci indiquent l'objectif à atteindre. Ce qu'il faut faire pour stabiliser - c'est le simple bon sens - c'est que l'absorption de gaz carbonique soit en moyenne équivalente aux émissions. Car pour stabiliser l'effet de serre, il faut impérativement stabiliser le gaz carbonique, on ne peut pas y échapper. Pour qu'il en soit ainsi, il faut que les émissions soient inférieures à la capacité des puits, estimées dans les conditions actuelles à 2 à 3 milliards de tonnes de carbone par an.

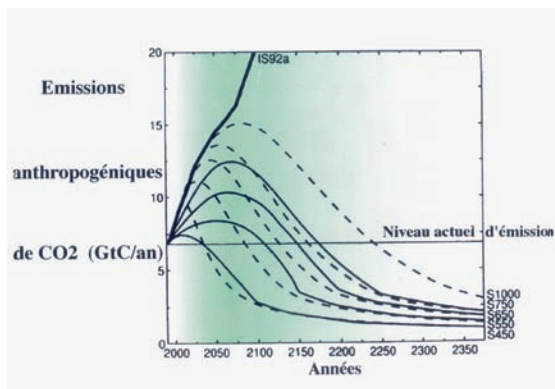


Figure 13

Emissions de CO₂ requises pour que puisse se stabiliser la concentration dans l'atmosphère de ce gaz à effet de serre. Les différentes courbes correspondent à des niveaux de stabilisation et à des hypothèses différents (source : Jean-Louis Dufresne).

Il faut donc ramener, à un moment donné du futur, nos émissions à 2 ou 3 milliards de tonnes. Et probablement moins à long terme. Donc, ce n'est pas vers 30 qu'il faut aller, mais vers 2 ou 3. Ce n'est plus du tout pareil : c'est-à-dire que l'effort entre ne rien faire et faire quelque chose qui réponde à la Convention Climat, correspond à un facteur 10. C'est un défi planétaire qui va forcément avoir des conséquences sur notre vie de tous les jours et sur notre développement au cours du XXI^{ème} siècle. Les chiffres sont clairs, c'est un facteur 10 auquel il faut faire face. C'est vraiment à un engagement de tous qu'il faut parvenir si l'on veut atteindre cet objectif.

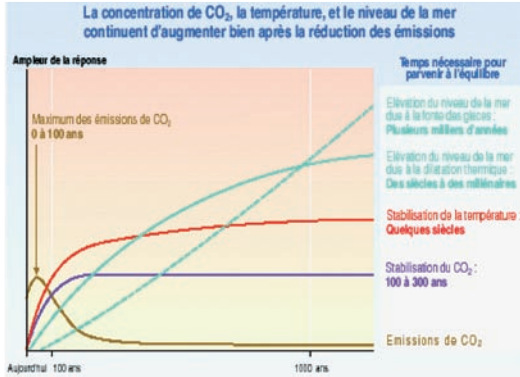


Figure 14

*Cette figure illustre l'inertie du système climatique
(source : rapport du GIEC).*

Héritage et transmission

Pour ceux qui suivent l'évolution de notre science, il y a eu récemment une information importante, relayée dans les médias, notamment dans Le Monde il y a une quinzaine de jours.

Toute un ensemble de simulations a été réalisé. Les résultats publiés au cours des dernières semaines le démontrent de façon très claire : si vous aviez une baguette magique et que, de façon instantanée, l'effet de serre se stabilise - évidemment, c'est impossible - et bien, même dans ce cas-là qui est du domaine du rêve, les chiffres du « déjà pris » varient entre 0,5° et 1°.

C'est-à-dire que même si par miracle, on stabilisait l'effet de serre tout de suite, le

climat se réchaufferait encore d'au moins 0,5°C. Ceci est lié à l'héritage des gaz à effet de serre émis dans l'atmosphère, au cours de la deuxième moitié du XX^{ème} siècle essentiellement.

La question est également de savoir comment on peut s'adapter aux changements climatiques. Il y a déjà eu certains changements climatiques et je crois qu'au cours des prochaines décennies, on pourra s'adapter aux changements climatiques. Je ne crois pas qu'il faille le nier, il y a une capacité d'adaptation. Mais même si les générations actuelles s'adaptent, on risque, si on n'y fait pas attention, de laisser derrière nous quelque chose auquel les générations futures ne pourront, elles, pas s'adapter. Donc, ce problème de transmission, disons de legs aux générations à venir est très important.

Pourquoi ? Ce schéma qui, j'espère, n'est pas trop dur à expliquer, illustre ce qu'est l'inertie.

Plaçons nous dans l'hypothèse où l'objectif que nous ont fixé les politiques - la stabilisation de l'effet de serre - est atteint. Disons que l'on peut espérer, d'ici la fin du siècle, stabiliser l'effet de serre.

Si vous voulez stabiliser l'effet de serre, il faut suivre le genre de courbe que j'ai montré. On peut se permettre, parce qu'on ne voit pas comment on peut faire autrement, d'augmenter encore légèrement les émis-

sions, par exemple jusqu'à 10 milliards de tonnes de carbone, mais il faut absolument redescendre de façon très importante d'ici la fin du XXI^{ème} siècle. Dans ce contexte, le

Gouvernement Raffarin et Jacques Chirac ont rappelé que l'objectif à échéance 2050 est de diviser par 4 nos émissions. Nous émettons aujourd'hui environ 2 tonnes de carbone par personne et par an, il nous faut redescendre à 500 kilos, soit à peu près le niveau d'émission de certains pays en voie de développement. C'est un objectif affiché au niveau national qui est effectivement nécessaire si l'on tient compte du contexte international.

Je vous ai dit que je ne parlerai pas des solutions, mais je veux rappeler qu'elles existent. Il y aura d'autres conférences pour les évoquer.

Mais il faut bien voir que les politiques ont compris. C'est-à-dire que le message a été : « Il faut diviser par 4 en France, on se fixe ça comme objectif ». Mais quand on avait annoncé cela à une conférence du GIEC organisée à l'Unesco, il y a 4 ans, Dominique Dron avait dit : « Vous ne savez pas à quoi vous vous engagez ».

La difficulté, c'est que même quand on a stabilisé, l'on n'est pas quitte. Ceci est important quand on parle de transmission. Lorsque l'effet de serre est stabilisé, la température va continuer à augmenter. Si vous êtes à 2°C, vous allez augmenter jusqu'à 2,5°C à peu près, parce qu'il y a un équilibre à atteindre et cela prend du temps ; le temps que les couches de surface de l'océan et l'atmosphère se stabilisent, s'homogénéisent. Pendant ce temps

Même en cas de stabilisation de l'effet de serre à la fin du siècle le niveau de la mer va continuer à augmenter régulièrement (inertie de l'océan). S'y ajoute à l'échelle de quelques siècles un risque de fonte partielle du Groenland. On peut craindre une élévation du niveau de la mer de quelques mètres au milieu du millénaire.

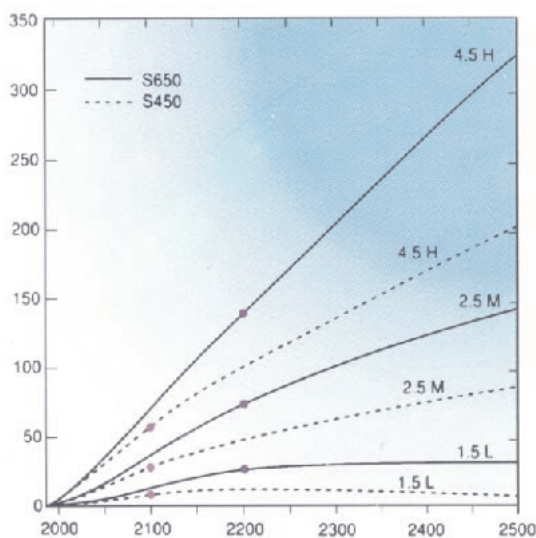


Figure 15

Elévation du niveau de la mer liée à la dilatation d'ici le milieu du millénaire. Les différentes courbes correspondent à des hypothèses différentes (source : rapport du GIEC).

la température augmente de toute façon d'un demi-degré (voir graphique). Si le réchauffement est alors de 2,5°C, on va vers 3°C et ainsi de suite.

Mais l'inertie est beaucoup plus terrible pour l'élévation du niveau de la mer, une des conséquences importantes de ce réchauffement climatique. L'inertie, pourquoi ? Parce qu'il y a une composante de l'élévation du niveau de la mer qui est liée à la **dilatation de l'océan**. Quand l'océan se réchauffe, il se dilate légèrement. Mais, cette fois l'équilibre mettra en fait des siècles à être atteint parce que c'est toute la colonne océanique qui doit s'équilibrer. C'est non pas, comme dans le cadre de la température, les premières dizaines de mètres, mais tout l'océan. Donc, on voit bien que, si on a pris, par exemple, 40 centimètres liés à la dilation, chaque siècle, on va prendre autant ou presque au cours des siècles suivants.

Il y a une seconde composante du niveau de la mer qui est non négligeable, c'est **la fonte des glaciers**. La fonte des glaciers alpins ne joue pas beaucoup sur le niveau de la mer, mais on craint - non pas pour ce siècle, mais pour les siècles futurs - que le Groenland, par exemple, ne se mette à fondre partiellement. Si l'on fondait tout le Groenland, ce serait 7 mètres de plus pour le niveau de la mer. A l'échelle de 200 ou 300 ans, une fonte partielle du Groenland correspondant à 2 ou 3 mètres d'élévation du niveau de la mer n'est pas exclue, et on peut craindre 4 à 5 mètres au milieu du mil-

lénaire. Certes, le milieu du millénaire, c'est loin, c'est tout à fait exact. Ce qu'il faut bien comprendre, d'après le graphe que je vous ai montré tout à l'heure, c'est que notre action des prochaines décennies va décider si l'on met ce phénomène en route ou non. Après, il ne sera plus maîtrisable. C'est ce qu'il faut comprendre : l'action, elle, est dans les prochaines décennies. Si l'on veut stabiliser, il faut donc mettre en route une action tout de suite.

Quand on considère une élévation de 4 à 5 mètres sur une échelle de temps comme 500 ans et que l'on s'intéresse au patrimoine culturel de nos villes proches de la côte, on voit bien qu'il y a 500 ans, elles se sont créées et qu'elles aimeraient bien continuer à nous léguer leurs richesses encore dans 500 ans. Beaucoup des richesses patrimoniales de notre monde sont au bord de la mer. Avec une élévation de 4 à 5 mètres, on ne pourra pas tout préserver. C'est vrai que les Pays-Bas disent : « Oui, on y arrivera de toute façon », mais cela n'est pas vrai pour tout le monde.

« Oui, nous avons des incertitudes ».

J'ai essayé de vous dire nos certitudes : on modifie la composition de l'atmosphère en gaz à effet de serre, on augmente ainsi l'effet de serre et on va continuer à l'augmenter. Le climat va continuer à se réchauffer. C'est quasiment certain.

Ensuite, on a toute une série d'incertitudes, celles dont je vous ai parlé. On ne sait pas prédire précisément **l'amplitude du changement climatique** ; elle dépendra de notre comportement, mais aussi du comportement du système climatique.

Il y aura aussi des **caractéristiques régionales**. Je vous ai montré une carte régionale, mais en fait, ce n'est pas si simple que cela. C'est un résultat d'un modèle ou deux, mais la prédiction régionale est très difficile.

Il y a également **la modification des précipitations**. En fait, ce que l'on pense actuellement, c'est que les précipitations vont augmenter. Il y aura plus de vapeur d'eau dans l'atmosphère si l'on réchauffe l'océan, donc plus de précipitations globalement. Mais, elles ont le mauvais goût, tout au moins dans les modèles, de faire que là où il pleut déjà beaucoup, il pleuvra plus et là où il ne pleut pas beaucoup, il pleuvra encore moins. Donc, c'est prometteur de plus d'inondations et de plus de périodes de sécheresse. Je prends l'exemple de l'Europe : il risque d'y avoir plus de précipitations l'hiver au Nord de l'Europe. Le Nord de l'Europe étant très vague, ça peut être au Nord du milieu de la France. Mais, à l'inverse, on craint un assèchement progressif du pourtour méditerranéen avec des conséquences y compris géopolitiques. Ce risque est lié non pas simplement aux modifications des précipitations, mais au fait que, quand le climat se réchauffe, cela augmente l'évapo-

ration ce qui contribue à l'assèchement des sols. Donc, là sont des conséquences très visibles.

Pour ce qui est des **extrêmes climatiques** (tempête, tornade), j'ai dit que nous sommes très prudents pour attribuer ou non au réchauffement climatique une tempête comme celle de 1999. Cela nous est difficile. Pour le moment nous n'avons pas assez de recul. Sur les grandes tornades, les grands cyclones tropicaux, nous n'avons pas assez de statistiques, avec seulement 50 ans de données. Etablir un diagnostic est donc difficile et pour le futur, cela n'est pas non plus très clair. On pense qu'il y aura plus d'énergie dans l'atmosphère, donc plus de risques de tempêtes et aussi le risque de trajectoires différentes des grandes tornades et des ouragans. Des régions qui ne sont pas habituées à avoir des grands cyclones tropicaux, pourraient en souffrir. L'une des choses qui a beaucoup frappé est que l'on ne pensait pas que de grands cyclones soient possibles dans l'atlantique sud. Cependant pour la première fois l'an dernier, il y a eu au Brésil un grand cyclone tropical du type de ceux qui normalement surviennent en Amérique Centrale et dans le Sud des Etats-Unis. Nous nous posons des questions : « Est-ce qu'il y a un lien avec les changements climatiques ? » ; je ne dis pas que les climatologues ont la réponse, mais la question est posée.

Il y a aussi des incertitudes qui sont liées au fait qu'il n'y a pas que les gaz à

30

Réchauf-
fement
du
climat :
ce que la
science
dit

effet de serre à agir sur le climat. Il y a **les aérosols, les poussières**, Il y a des interactions entre la chimie atmosphérique et ces particules. On sait bien que l'effet de serre est au cœur du débat, mais il y a aussi d'autres causes de modification du climat. Les incertitudes portent aussi sur la réaction des océans. Est-ce qu'on l'appréhende bien ou pas ? Nous essayons de faire le mieux que nous pouvons.

Enfin, il y a des **controvertes**.

C'est vrai qu'il y a des sceptiques de l'effet de serre, mais de moins en moins. Les controverses ? Je dois dire que maintenant, elles portent sur la courbe de reconstruction du dernier millénaire dont on sait qu'elle n'est pas parfaite. Les sceptiques en discutent beaucoup mais ce n'est pas là le cœur du problème. Le cœur du problème, c'est que l'on augmente l'effet de serre dans l'atmosphère.

Les controverses se déplacent et la prise de conscience s'élargit. Par exemple, vis-à-vis des entreprises, on n'avait absolument pas d'écoute il y a 15 ans. Maintenant, au contraire, il y a une véritable écoute des entreprises. Il nous arrive très souvent d'être invités dans les grandes entreprises à parler de l'effet de serre. Les entreprises, y compris les entreprises qui vivent du pétrole, ont complètement changé leur discours. Certaines soutenaient ouvertement les sceptiques de l'effet de serre et affirmaient : « Il n'y a pas de problème ». Maintenant, leur attitude est plutôt : « Comment al-

lons-nous tirer profit de ce problème ? » Ce qui est normal pour une entreprise. C'est une attitude beaucoup plus positive. Disons qu'il y a très peu d'entreprises qui restent sceptiques. Certes les sceptiques ont toujours l'écoute du Gouvernement américain et, pour l'avoir lu encore aujourd'hui, la préparation du G8 est assez difficile : je vous ai dit que l'une des priorités de ce G8 est le changement climatique. C'est l'Angleterre qui l'organise, du 6 au 8 juillet en Ecosse : « changements climatiques et Afrique », ce sont les deux priorités. Effectivement, les Américains luttent pied à pied pour que cela ne soit pas une vraie priorité et les sceptiques ont conservé du poids auprès du Gouvernement américain. Mais, je pense que cela sera oublié dans quelques années. Il y a une autre composante qui touche facilement l'opinion : le **risque de surprise**. Si vous avez vu le film Le Jour d'après, l'arrêt du Gulf Stream en constitue la trame. Pour finir, je vais revenir aux glaces, aux découvertes que nous avons faites dans les glaces du Groenland.

Ces résultats (Figure 16 p. 32) proviennent d'un forage de 3 kilomètres de profondeur au Groenland. J'étais sur le terrain et j'empaquetais la glace. Cela nous a permis de confirmer que, dans le passé, en période glaciaire, il y a des variations extrêmement rapides du climat. Par exemple, il y a 11 500 ans, le réchauffement a pris moins de 50 ans et, en une génération, il y a eu des réchauffements de 10°C. Ces variations extrêmement rapides, on les retrouve aussi dans l'océan.

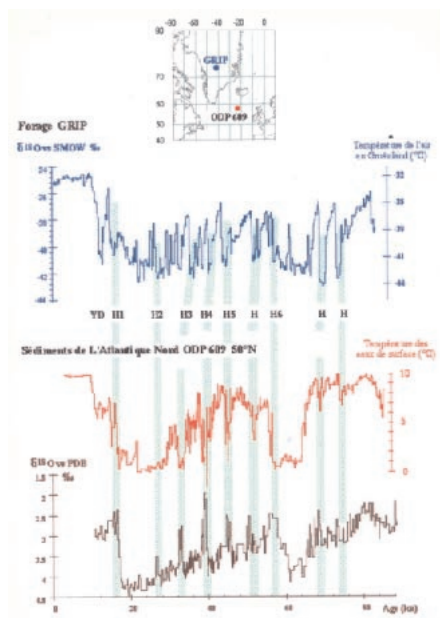


Figure 16

Variations rapides au centre du Groënland (adapté de Johnsen et al., JGR, 1997).

Il faut s'imaginer que le climat glaciaire était différent du nôtre : il y avait sur l'Amérique du Nord une calotte grosse comme celle de l'Antarctique (50 millions de kilomètres cubes), plu de 3 kilomètres de glace au-dessus du Canada. En arrivant au bord de l'océan, elle devenait instable et des parties s'en détachaient et de grandes quantités d'eau douce était introduite dans l'Atlantique Nord.

Et si vous mettez de l'eau douce dans l'océan, ça change complètement la circula-

tion, d'où probablement cette interprétation de l'arrêt du Gulf Stream, car il y a un lien entre la circulation océanique et l'arrêt du Gulf Stream. Disons qu'un changement de circulation océanique semble pouvoir s'opérer très rapidement. La question se pose : est-ce que cela peut se produire dans le futur ? La réponse est : oui, peut-être. Mais là on fait face à un autre processus : en cas de réchauffement climatique, il y aura plus d'évaporation dans les régions tropicales et cette vapeur d'eau fournit finalement les précipitations dans l'Atlantique Nord. Si l'on amène plus d'eau douce, non pas à travers des calottes qui n'existent plus, sauf au Groenland, mais à travers des pluies supplémentaires, on risque d'avoir un ralentissement du Gulf Stream, voire un arrêt. Aucun des modèles ne le prévoit pour le XXI^{ème} siècle.

Cependant s'il faisait 3°C de plus qu'actuellement et que le Gulf Stream s'arrêtait, la température moyenne de la planète resterait de 3°C plus chaude. On aurait simplement une répartition différente, les calories que le Gulf Stream n'apporterait plus depuis les Tropiques vers chez nous resteraient stockées au niveau de l'Afrique. Et l'on reviendrait plutôt à des températures proches de l'actuel dans nos régions et non à un retour à l'ère glaciaire, image d'Epinal qu'il ne faut pas garder en tête.

Mais par contre, si nos régions subissaient un refroidissement de 5°C en 50 ans, cela aurait un caractère catastrophique,

c'est clair. Il faut donc démythifier cet arrêt du Gulf Stream, ne pas le présenter comme un retour à l'ère glaciaire, mais néanmoins comme source de difficultés supplémentaires ? C'est certain.

Impacts

Le réchauffement aura toute une série d'impacts. Mais il y a aussi une capacité d'adaptation dont d'autres conférences parleront. Le message que je veux donner, c'est que nous-mêmes pourrons probablement nous adapter, mais si nous n'y faisons pas attention, nous laisserons un monde invivable. Devant nous, nous avons une série de conséquences qui sont déjà toutes négatives :

- Pour la santé humaine,
- pour les infrastructures,
- les risques d'inondations
- l'élévation du niveau de la mer : c'est 6 % des Pays-Bas à la fin du siècle, 15 % au Bangladesh. Ce sont 200 millions d'habitants qui devraient se déplacer. Je ne dis pas disparaître, ce qui pourrait concerner seulement de petites îles.
- L'agriculture, jusqu'à un certain seuil,

pourrait se maintenir au niveau actuel.

- L'hydrologie : il y a déjà des problèmes qui pourraient être exacerbés par le réchauffement climatique.
- Le tourisme : par exemple, en France, les conséquences les plus visibles seront peut-être touristiques. En moyenne, je dis bien en moyenne - ce n'est probablement pas vrai cette année - la saison d'enneigement diminuera et surtout l'altitude d'enneigement.
- Certains écosystèmes naturels ne s'adapteront pas à un réchauffement trop rapide.

Tout cela pris ensemble fait un monde très différent du nôtre et moins on s'éloignera du climat actuel, plus facilement on s'adaptera au réchauffement climatique. C'est l'idée du titre de notre livre avec Anne Debroise : Climat, jeu dangereux. Le jeu, c'est cette expérience avec la nature que l'on n'aura pas le droit de recommencer. Je sais qu'il faut faire confiance aux modèles : ils sont très fiables et sont capables de nous raconter l'histoire du passé. Donc, même si la prédiction du climat est basée sur des modèles, il faut prendre tout cela très au sérieux.

Je vous remercie.

Jean JOUZEL

Directeur de l'Institut Pierre Simon Laplace