

Débats et controverses autour du réchauffement climatique

L'impact de l'activité solaire ou de la vapeur d'eau dans l'atmosphère sur le réchauffement climatique a pu récemment prêter à controverses. Cependant, l'activité solaire a eu tendance à diminuer depuis les années 1970, tandis que la température moyenne augmentait. Par ailleurs, l'augmentation de la concentration de vapeur d'eau dans l'atmosphère constitue un mécanisme d'amplification bien documenté et cette augmentation est déjà observée.

par Jean JOUZEL*

Au demi-échec de Copenhague est venue s'ajouter, depuis quelques mois, une campagne visant à discréditer le fonctionnement du Groupe Intergouvernemental d'experts sur l'Evolution du Climat (GIEC) et les conclusions d'un rapport publié par ce groupe d'experts. Cette campagne avait commencé un peu avant la tenue du sommet de Copenhague avec le *climategate*, un scandale provoqué par la publication d'une série de courriels volés par effraction sur le site Internet de chercheurs britanniques de l'Université de l'*East Anglia*. Elle a ensuite été amplifiée par la révélation de certaines erreurs, identifiées dans son 4^e rapport paru en 2007, et elle se poursuit, en France et dans d'autres pays, à travers la publication d'ouvrages empreints de climato-scepticisme.

Je n'épiloguerai pas sur le *climategate*, dont l'un des enseignements est d'avoir illustré à travers des échanges (disons-le, assez rudes) la saine divergence d'opinions qui peut exister entre climatologues. Des procédures d'audit sont actuellement en cours et j'imagine que de nombreuses remarques et recommandations seront faites dans ce cadre. Mais j'ai le sentiment qu'elles toucheront plus la forme de ces controverses (rappelons que ces courriels n'auraient pas dû, *a priori*, sortir de la sphère privée de leurs destinataires) que leurs aspects scientifiques ; sur ce point, je reste absolument convaincu que ces échanges ne remettent pas en cause les conclusions auxquelles le GIEC est parvenu.

Les « erreurs » commises par le GIEC, en revanche, sont extrêmement regrettables et elles doivent être mises à son débit. Cependant, elles me semblent marginales. En ce début 2010, il n'y a, en fait, qu'une seule erreur qui soit avérée. Elle concerne l'assertion selon laquelle les glaciers himalayens devraient avoir perdu 80 % de leur surface en 2035, voire plus tôt. Simple coquille (2035 pourrait avoir été imprimé en lieu et place de 2350) ou erreur liée à l'utilisation de « littérature grise » n'ayant pas fait l'objet de revue par les pairs, l'origine de cette erreur (que le GIEC a reconnue) n'est pas encore complètement élucidée. Mais elle ne constitue en aucun cas un point-clé des conclusions d'un

rapport comportant près de 3 000 pages. Il s'y ajoute une absence d'esprit critique dans la reprise, par le GIEC, d'une erreur commise par un rapport du gouvernement des Pays-Bas. Corrigé ultérieurement, celui-ci indiquait, dans sa version initiale fautive, que 55 % de ce pays auraient été situés au-dessous du niveau de la mer. Le chiffre correct est 26 %, auxquels il faut ajouter 29 % du territoire néerlandais susceptibles d'être affectés par des inondations. Il aurait donc fallu que le rapport du GIEC signale que 55 % du territoire hollandais sont exposés à des risques d'inondation. Quant aux autres erreurs qui auraient prétendument été identifiées (comme une baisse des récoltes en Afrique, une surestimation du coût des désastres climatiques ou la nature de la réaction de la forêt amazonienne au réchauffement climatique), elles relèvent d'une pure et simple volonté de remettre en cause certaines conclusions du rapport du GIEC à laquelle des réponses claires peuvent être apportées (voir les communiqués du GIEC sur les sites www.ipcc.ch ou se référer au site www.realclimate.org). Au-delà de ces « erreurs » alléguées, le fonctionnement même du GIEC a parfois été mis en cause. Il est intéressant de noter à ce propos la commande (à la demande du GIEC) d'un audit externe portant sur son fonctionnement et sur les différentes procédures qui ont été suivies dans l'élaboration de son étude et la publication de son rapport. Les résultats de cet audit qui sera assuré par le Conseil inter-académique seront connus à la fin de l'été 2010 ; il comportera des recommandations susceptibles d'être mises en œuvre pour la réalisation du prochain rapport.

Plus préoccupante, toutefois, est la montée d'un scepticisme largement relayé par les médias. Un scepticisme certes légitime en soi, mais qui, je le crois, n'est pas fondé sur une véritable argumentation scientifique. Il est difficile de faire ici un inventaire exhaustif des contre-arguments mis en avant par les sceptiques, mais je vais essayer d'illustrer mon propos en les passant en revue, puis en examinant ceux d'entre eux qui sont le plus fréquemment utilisés pour mettre en doute les conclusions-clés du rapport 2007 du

GIEC. M'en tenant aux aspects scientifiques, je centrerai la discussion sur quatre points qui en constituent l'épine dorsale : 1) nous sommes certains que les activités humaines modifient l'effet de serre, 2) nous concluons que le réchauffement climatique ne fait aucun doute, 3) nous sommes presque certains de vivre dans un monde dont nous avons déjà modifié le climat et, enfin, 4) ce réchauffement va se poursuivre d'une façon d'autant plus marquée que les émissions de gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère seront importantes. Après avoir rappelé de façon succincte les arguments sur lesquels s'appuie le GIEC, je présenterai les contre-arguments avancés par les climato-sceptiques, puis les éléments de réponse susceptibles d'y être apportés.

Les activités humaines modifient l'effet de serre

Depuis un peu plus de deux siècles, la concentration en CO₂ de l'atmosphère a augmenté de 35 % et cela est dû, à hauteur des trois quarts, à l'utilisation des combustibles fossiles (charbon, pétrole et gaz naturel). La concentration de méthane a augmenté, quant à elle, de 150 %, essentiellement à cause de l'intensification de l'agriculture, qui, en raison de l'utilisation d'engrais azotés, est aussi partiellement responsable de l'augmentation (de plus de 20 %) de la présence dans l'atmosphère de protoxyde d'azote, qui est un autre gaz à effet de serre. Le bilan est à la fois précis et implacable : les activités humaines ont, *via* ces trois gaz, contribué à augmenter l'effet de serre de 2,3 Watts par mètre carré de la superficie terrestre. S'ajoutent à ces trois gaz, depuis une cinquantaine d'années, les chlorofluorocarbures (principalement utilisés dans l'industrie du froid), l'ozone (dont la concentration a diminué dans la stratosphère à cause de ces composés, mais augmenté plus près de la surface en réponse à la pollution) et de nombreux autres gaz de moindre importance. Au total, l'effet de serre a augmenté de près de 3 W/m², desquels 56 % sont liés au CO₂, 16 % au méthane et 12 % aux chlorofluorocarbures... Ce chiffre est à comparer au forçage radiatif, qui est proche de 240 W/m². En 200 ans, celui-ci a donc augmenté de plus de 1 %.

Une large majorité des sceptiques acceptent ces conclusions du GIEC. Un article récent (Beck et al, 2006) faisant état de concentrations de CO₂ dans l'atmosphère plus élevées au 19^e siècle qu'aujourd'hui jette cependant un certain trouble. Il s'agit, en fait, de mesures généralement ponctuelles - certaines ayant été effectuées dans des villes fortement affectées par des sources de CO₂ locales et l'on peut démontrer que si ces mesures étaient effectuées aujourd'hui en suivant une procédure analogue, elles conduiraient à des valeurs assez erratiques. Pour s'en convaincre, il suffit de constater que des mesures réalisées à Saclay, en grande banlieue parisienne, montrent des valeurs plus élevées que dans d'autres sites, à cause de la proximité relative de Paris. En outre, les indications données par les glaces de l'Antarctique, qui témoignent de variations à l'échelle planétaire, ne montrent aucune anomalie tout au long du 19^e siècle.

Il y a accord, également, sur le fait que les concentrations en CO₂ et en méthane de l'atmosphère n'ont jamais été aussi élevées depuis au moins 800 000 ans. Mais alors que nous mettons en avant la relation qui existe entre l'effet de serre - plus faible en période glaciaire qu'en période chaude, dite interglaciaire - et le climat pour illustrer le rôle climatique joué par l'effet de serre, certains sceptiques s'en emparent pour parvenir à la conclusion inverse. Le débat porte sur la séquence des événements observée lors d'une déglaciation (c'est-à-dire lors du passage d'une période glaciaire à une période interglaciaire). Il apparaît que l'Antarctique se réchauffe en premier, précédant de quelques siècles une augmentation du CO₂ dans l'atmosphère (Caillon et al, 2003). Cet argument serait imparable, d'après les sceptiques : il disqualifierait le CO₂ en tant qu'acteur du changement climatique. Mais ceux-ci gommement la seconde partie de l'histoire, à savoir que la montée du CO₂ précède d'environ 4 000 ans la fonte de la calotte glaciaire accumulée sur les continents de l'hémisphère Nord. Une fois que sa concentration a commencé à augmenter, le CO₂ a donc eu largement le temps de participer à cette déglaciation. Jamais il n'a été dit que le CO₂ était la cause première des grands cycles climatiques, qui ont pour origine des variations d'insolation résultant de modifications de l'orbite terrestre, mais il a néanmoins constitué un puissant amplificateur des variations entre périodes glaciaires et interglaciaires. Ajoutons que seuls les modèles combinant insolation, effet de serre et glaces continentales rendent compte de la rigueur des périodes glaciaires et des déglaciations. Les données du passé illustrent donc bien le lien entre effet de serre et climat. En tout état de cause, il est indéniable que, depuis deux siècles, c'est bien l'effet de serre qui précède le changement climatique.

La Terre se réchauffe

Le réchauffement planétaire a été particulièrement sensible au cours des dernières décennies : la température a augmenté de 0,74°C sur les cent dernières années (1906-2005) et ce, en deux étapes - une première étape allant jusqu'en 1940, suivie d'une seconde étape, depuis la fin des années 1960, interrompue par une période de léger refroidissement. Le réchauffement est très marqué sur la période récente, les deux années les plus chaudes enregistrées depuis 1860 ayant été 1998 et 2005 et - surtout -, toutes les années, depuis 12 ans, sauf une, ont été plus chaudes que toutes celles qui les ont précédées. L'élévation du niveau de la mer et la diminution de l'enneigement témoignent également du réchauffement. Celui-ci n'est pas géographiquement homogène ; au cours des deux dernières décennies, il a été deux fois plus rapide sur les continents que sur les océans et il a atteint ses valeurs les plus élevées dans les hautes latitudes de l'hémisphère Nord. Cette amplification continentale vaut pour la France, qui s'est réchauffée de plus de 1°C au cours du 20^e siècle et de plus de 1,5°C au cours des trente dernières années.

D'autres observations témoignent de ce réchauffement : la fonte des glaciers, l'élévation des températures



© Pierre Vernay/
POLAR LYS-BIOSPHOTOS

« D'autres observations témoignent de ce réchauffement : la fonte des glaciers, l'élévation des températures de l'océan et celle du niveau de la mer, la diminution [...] de la surface et de l'épaisseur de la glace de mer dans l'océan Arctique, à la fin de l'été, lorsque sa valeur est minimale [...]. » Débâcle de la banquise sur la côte de l'île de Cornwallis (océan Arctique).

de l'océan et celle du niveau de la mer, la diminution de l'enneigement à la fin de l'hiver dans l'hémisphère Nord et celle de la surface et de l'épaisseur de la glace de mer dans l'océan Arctique, à la fin de l'été, lorsque sa valeur est minimale ou bien encore l'accroissement de la quantité de vapeur d'eau dans l'atmosphère. Toutes les observations vont dans ce sens. En outre, les données indirectes, telles que les archives historiques, l'épaisseur des cernes de croissance des troncs d'arbres, le rythme de croissance des coraux... montrent que les années récentes sortent de la variabilité naturelle du dernier millénaire. Il y a consensus des scientifiques qui s'intéressent à l'évolution récente de notre climat : la Terre se réchauffe. En 2007, le diagnostic du GIEC a été on ne peut plus clair : « le réchauffement est sans équivoque ».

A l'inverse, d'après les climato-sceptiques, nous serions depuis quelques années dans une période de refroidissement (voir, par exemple, l'article de Vincent Courtillot et Jean-Louis Le Mouel, sur le site de l'Académie des Sciences et Le Mouel et al, 2009). Effectivement, 2008 a été plus froide que 2007 - elle-même un peu plus froide que 2005 - et le réchauffement a clairement marqué une pause depuis 2001. Mais, pour un climatologue, c'est à l'échelle décennale, au minimum, qu'il faut jauger le climat. Et là, le diagnostic est clair : la première décennie de notre siècle a été la plus chaude depuis la fin du 19^e siècle ; sa température moyenne a été supérieure d'un quart de degré Celsius à celle des années 1990, déjà considérées comme chaudes. Regarder le climat année après année, comme le font les sceptiques, n'est pas dénué de risque : depuis 130 ans, 2009 a été la troisième

année la plus chaude, et de par sa température élevée, le mois de janvier 2010 vient, à l'échelle de la Planète, en seconde position, juste après janvier 2007.

Je m'appuie ici sur les données de températures synthétisées par l'équipe américaine de Jim Hansen (NASA/GISS), mais le constat est quasi-identique si j'utilise celles de l'équipe anglaise de Phil Jones (HadCRUT), comme en témoigne la comparaison proposée par Jim Hansen sur la période 1990-2008. La différence observée entre les deux séries, d'un dixième de degré au maximum, est liée au fait que Jim Hansen se base sur davantage de stations situées dans les régions arctiques. Lorsque les mêmes stations sont utilisées, cette différence est réduite à quelques centièmes de degré : c'est là un accord qui démontre, s'il en était besoin, le caractère vain des attaques portées contre Phil Jones dans le cadre du *climategate*.

Ajoutons qu'une pause comme celle observée depuis 2001 n'est absolument pas exclue dans un climat en train de se réchauffer sous l'action d'une augmentation régulière de l'effet de serre. Pour s'en convaincre, il suffit d'examiner en détail les projections faites pour différents scénarios d'émissions de GES dans l'atmosphère : le réchauffement n'est pas régulier d'une année sur l'autre et des plateaux s'étendant sur une dizaine d'années, voire plus, peuvent tout à fait être identifiés. Enfin, cette idée, chère aux sceptiques, d'un refroidissement en cours n'a aucun sens, si l'on prend d'autres indicateurs. Ainsi, sur la période 2005-2008, le Groenland et l'Ouest de l'Antarctique ont contribué, chaque année, à environ un millimètre d'élévation du niveau de la mer, ce qui est loin d'être anecdotique.

Il y a presque certainement une relation de cause à effet entre ces deux phénomènes.

L'effet de serre augmente à cause des activités humaines et le climat se réchauffe. A l'évidence, ces deux certitudes ne sont pas suffisantes pour démontrer l'existence d'une relation de cause à effet. Pour s'en convaincre, il suffit de rappeler que des variations de l'ordre de celles observées au cours du 20^e siècle sont, tout au moins à l'échelle régionale, documentées au cours du dernier millénaire, qui est une période considérée comme stable du point de vue du climat. En Europe, des changements aussi notables, voire plus, sont répertoriés allant dans le sens d'un refroidissement, lors du petit âge glaciaire que notre continent a connu entre le milieu du 15^e siècle et la fin du 19^e, ou vers des températures plus clémentes au moment de l'optimum climatique attesté au tout début du présent millénaire. Ces fluctuations, tout à fait naturelles, ont notamment pour cause les variations de l'activité solaire et de l'activité volcanique terrestre.

Comment a-t-il été possible, dans ce contexte, d'établir que les activités humaines sont bel et bien à l'origine du réchauffement constaté ces dernières décennies ? Les scientifiques du GIEC ont placé cette question, qui leur est posée de façon récurrente, au cœur de leur diagnostic. Leur réponse a évolué au fil des rapports successifs. En 1990, les experts avouent leur incapacité à trancher : « L'importance du réchauffement observé est grossièrement cohérente avec les prédictions des modèles climatiques, mais elle est, aussi, comparable à la variabilité naturelle du climat ». Cette absence de diagnostic est gommée lors du second rapport, qui reste néanmoins extrêmement prudent et conclut qu'« un faisceau d'éléments suggère une influence perceptible de l'homme sur le climat global ». En 2001, les arguments deviennent plus convaincants et le rapport met en avant le fait 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 ». Ce diagnostic s'est clairement renforcé en 2007, le GIEC concluant que « très probablement, soit à plus de 9 chances sur 10, l'essentiel du réchauffement observé depuis le milieu du 20^e siècle est déjà lié aux activités humaines ». Cette conclusion doit beaucoup aux modélisateurs du climat, qui ont réalisé deux types de simulations couvrant le 20^e siècle. Les simulations du premier type ne prennent en compte que l'évolution des forçages naturels (variabilité solaire et volcans), tandis que celles du second type incluent également les forçages anthropiques (gaz à effet de serre et aérosols). Il est impossible de reproduire le réchauffement observé depuis les années 1970 si l'on ne prend pas en compte l'évolution des gaz à effet de serre, d'où cette conclusion du GIEC : « nous sommes, presque certainement, dans un monde dont nous modifions le climat ».

Tout en mettant l'accent sur la pause des années récentes, certains climato-sceptiques ne nient pas le réchauffement climatique des dernières décennies. En

revanche, ils en contestent l'attribution aux activités humaines par le GIEC. Il s'agit là d'un débat scientifique tout à fait nécessaire, dont les sceptiques semblent toutefois ignorer qu'il est au cœur des rapports successifs du GIEC. Nous avons dit la façon dont ceux-ci ont examiné la question du rôle joué par les activités humaines dans l'évolution récente du climat. Cependant, des chercheurs, tels Vincent Courtillot et Jean-Louis Le Moël, avancent l'idée que la courbe des températures du 20^e siècle ressemble beaucoup plus aux variations de divers indicateurs caractéristiques des variations de l'activité solaire qu'à celles de la concentration du CO₂ dans l'atmosphère et ils en déduisent que le rôle du soleil a été sous-estimé (voir Courtillot et al, 2009).

Cet argument est difficilement défendable. Depuis 200 ans, la variabilité solaire a été de l'ordre de 1/1 000, alors que l'augmentation du forçage climatique liée à l'accroissement de la concentration des gaz à effet de serre résultant des activités humaines est voisine de 1 %. Dans ce contexte, l'attribution d'un rôle prépondérant au soleil est difficilement soutenable, car, même si des mécanismes amplificateurs spécifiques à l'activité solaire ont été mis en avant (par exemple, à travers une influence du rayonnement solaire sur les nuages), leur validité est loin d'avoir été démontrée. Par ailleurs, si l'activité solaire était à l'œuvre dans le réchauffement récent, celui-ci devrait également affecter la stratosphère. Or, tel n'est pas le cas. Au contraire, la stratosphère se refroidit, comme on s'y attend en cas de rôle prédominant de l'effet de serre, la chaleur piégée dans les basses couches de l'atmosphère n'étant, en quelque sorte, plus disponible pour les couches plus élevées. Enfin, et c'est là un argument qui pourrait se suffire à lui-même, comment attribuer raisonnablement une partie significative du réchauffement récent à l'activité solaire, alors même que celle-ci a eu tendance à diminuer depuis les années 1970 (Krivova et al, 2009), tandis que la température moyenne augmentait au rythme de 0,2 °C par décennie ?

Je ne voudrais pas donner l'impression que le débat scientifique serait définitivement clos. D'ailleurs, cette question de la détection et de l'attribution du changement climatique récent fera de nouveau l'objet d'un chapitre complet au vu de l'ensemble des articles scientifiques pertinents qui auront été publiés depuis le rapport 2007. Mais je souhaite réaffirmer le sérieux du diagnostic formulé par le GIEC, qui n'a pas occulté le débat sur le rôle de l'activité solaire, au contraire. Au vu des arguments évoqués plus haut - l'impact de la variabilité de l'activité solaire dix fois plus faible que celui de l'augmentation de l'effet de serre, le refroidissement observé de la stratosphère et une légère tendance à une diminution de l'activité solaire sur la période durant laquelle le réchauffement a été le plus important -, il me paraît infondé d'attribuer une part importante du réchauffement récent à l'activité solaire. Le GIEC conclut, à mon avis de façon convaincante, qu'il y a, en l'état actuel de nos connaissances, moins d'une chance sur dix que cette hypothèse soit vérifiée.



© JAXA_ESA

« Depuis 200 ans, la variabilité solaire a été de l'ordre de 1/1 000, alors que l'augmentation du forçage climatique liée à l'accroissement de la concentration des gaz à effet de serre résultant des activités humaines est voisine de 1 %. Dans ce contexte, l'attribution d'un rôle prépondérant au soleil est difficilement soutenable [...] ». Satellite Hinode (Solar-B), dédié à l'observation de l'activité du soleil.

Le climat va continuer à se réchauffer

Sans vouloir négliger l'impact des autres composantes, force est de constater que l'évolution du bilan radiatif de notre Planète est largement tributaire des émissions de CO₂. Même si une partie de ces émissions est absorbée par les océans et par la végétation, qui, malgré la déforestation, constitue un puits net de carbone, c'est près de la moitié de celles-ci qui s'accumule dans l'atmosphère. Premier contributeur à l'augmentation de l'effet de serre, le CO₂ a, en outre, la propriété de subsister longtemps dans l'atmosphère.

Pour les émissions futures, le GIEC se tourne vers les économistes, qui ont proposé différents scénarios prenant en compte non seulement l'ensemble des gaz à effet de serre, mais aussi les aérosols soufrés, dont l'effet radiatif est négatif. Dans le scénario le plus émetteur de GES, les émissions annuelles de CO₂ seraient multipliées par 4 d'ici à 2100, tandis que, dans le scénario minimum, elles se situent, en moyenne, un peu au-dessous de leur niveau actuel. Les simulations réalisées par plus de 20 modèles indiquent que l'évolution du climat, d'ici à 2030, sera dans une large mesure indépendante du scénario qui sera suivi, le réchauffement prédit étant inférieur à 1°C. En revanche, à l'horizon 2100, le scénario retenu joue un rôle majeur, le moins émetteur de GES conduisant à un réchauffement moyen d'environ

1,8°C, alors que celui-ci atteindrait les 4°C dans le cas du scénario le plus émetteur.

On nous reproche de ne pas mettre suffisamment l'accent sur les incertitudes liées aux différentes conclusions évoquées plus haut, ainsi qu'aux projections d'évolution du climat au cours du 21^e siècle et au-delà. Ce reproche est probablement justifié, ces incertitudes étant, me semble-t-il, bien explicitées dans les rapports complets et les résumés techniques, mais moins clairement, en revanche, dans les résumés destinés aux décideurs. Ces incertitudes restent importantes. Même pour un scénario économique donné, il y a une incertitude non négligeable qui est due au fait que notre connaissance de certains processus climatiques reste encore limitée. Ainsi, pour le scénario le plus émetteur de GES, le réchauffement moyen serait compris entre 2,4°C et 6,4 °C, la fourchette complète des prédictions s'étendant, quant à elle, entre 1,1°C et 6,4 °C.

A de rares exceptions près, les climato-sceptiques observent un mutisme parfait lorsqu'il s'agit d'expliquer comment, face à une augmentation avérée du piégeage de chaleur dans les basses couches de l'atmosphère, la Terre pourrait ne pas se réchauffer. Cette augmentation, qui est indéniable, se poursuivra pendant de nombreuses décennies, même dans le cas d'accords très volontaristes en matière de réduction des émissions de gaz à effet de serre. S'y ajoute l'inertie du système, qui, de façon simplifiée, cor-

respond au fait que les gaz à effet de serre déjà présents dans l'atmosphère n'ont pas encore joué tout leur rôle climatique. Même si l'on pouvait stabiliser l'effet de serre au niveau qui est aujourd'hui le sien d'un coup de baguette magique, le réchauffement ne s'en poursuivrait pas moins pendant quelques décennies, l'élévation du niveau des mers se poursuivant, quant à elle, pendant quelques siècles.

L'amplitude du réchauffement à venir dépend assez directement de ce que nous appelons dans notre jargon la sensibilité du climat. Celle-ci correspond au réchauffement moyen atteint à l'équilibre en cas de doublement de la quantité de gaz carbonique dans l'atmosphère. Après avoir examiné des centaines d'articles traitant de cet aspect, utilisant divers modèles et observations, le GIEC a conclu que cette sensibilité est très probablement comprise entre 2°C et 4,5 °C, 3°C étant la meilleure estimation. Dick Lindzen, un climatologue respecté du prestigieux *Massachusetts Institute of Technology*, ne partage pas ce point de vue ; il estime que cette sensibilité aurait été nettement surestimée (d'un facteur 4 à 5 : voir Lindzen et Choi, 2009). L'approche utilisée a cependant été récemment remise en cause de façon très bien documentée (Trenberth et al, 2010). Face à ce débat scientifique, je m'en tiendrai à deux observations : 1) les faibles valeurs de sensibilité avancées par Lindzen et Choi requièrent l'existence de phénomènes de compensation qui restent à identifier, tandis que 2) les valeurs plus élevées proposées par le GIEC impliquent que des processus d'amplification sont à l'œuvre.

L'augmentation de la concentration de vapeur d'eau, premier gaz à effet de serre, dans l'atmosphère constitue un mécanisme d'amplification bien documenté et cette augmentation est déjà observée : elle correspond à l'augmentation de l'évaporation résultant de celle de la température de surface de l'océan. De plus, les variations passées de notre climat font pencher très nettement la balance du côté de l'existence de processus d'amplification, et non pas de celui de l'existence de phénomènes de compensation. Dès 1990, nous avons d'ailleurs suggéré qu'une sensibilité de 3 à 4 °C était compatible avec les données paléo-climatiques disponibles alors (voir Lorius et al, 1990).

La stabilisation de l'effet de serre : un véritable défi

Pour conclure, je rappellerai quel est l'objectif ultime de la convention Climat, dans le cadre de laquelle s'est tenue la réunion de Copenhague. Il s'agit de « *stabiliser les concentrations des gaz à effet de serre à un niveau qui empêche toute perturbation anthropique dangereuse du système climatique. Il conviendra d'atteindre ce niveau dans un délai convenable pour que les écosystèmes puissent s'adapter naturellement aux changements, que la production alimentaire ne soit pas menacée et que le développement économique puisse se poursuivre d'une manière durable* ».

La stabilisation à long terme de l'effet de serre passe par celle de la concentration atmosphérique du CO₂, qui est le principal contributeur à l'augmentation de cet effet de serre et qui, en outre, reste longtemps dans l'atmosphère. Cela

requiert une diminution importante des émissions de ce gaz, qui sont largement associées à la production d'électricité et de chaleur, aux transports et à la déforestation. Ces émissions doivent être ramenées à des valeurs qui n'excèdent pas la capacité d'absorption de la végétation et des océans. C'est, là encore, une certitude découlant du simple bon sens, qu'à ma connaissance aucun sceptique ne conteste. Cette action doit être complétée par une stabilisation des autres gaz contribuant à l'augmentation de l'effet de serre, en particulier par celle du méthane, qui, grâce à sa durée de nuisance courte, de l'ordre de 10 ans, offre des possibilités d'action à court terme.

L'Union européenne a fait beaucoup pour promouvoir l'objectif d'un réchauffement qui n'excéderait jamais 2°C, par rapport au climat préindustriel (soit 1,5°C d'augmentation par rapport au climat constaté au début des années 2000). Cet objectif impose qu'en 2050 les émissions aient été diminuées de 50 % à 85 % par rapport à leur valeur de 1990 et que le pic d'émissions soit survenu, au plus tard, en 2015. En fin 2007, il a servi à établir la feuille de route de Bali, qui s'appuie sur un scénario de stabilisation à 450 ppm (parties par million) d'équivalent-CO₂. Il pourrait être atteint a) si, en 2020, les pays développés ont diminué leurs émissions de 25 à 40 % par rapport à 1990 et si certains pays de l'Amérique latine, du Moyen-Orient et de l'Asie du Sud-Est ont fait des efforts substantiels par rapport à leurs prévisions et b) si, en 2050, les pays développés ont diminué leurs émissions de 80 à 95 % et que tous les autres pays ont fait des efforts substantiels. C'est un véritable défi, d'autant que les émissions n'ont jamais augmenté aussi rapidement qu'au cours de la dernière décennie. C'est précisément ce défi dont les négociateurs réunis à Copenhague n'ont pas réussi à prendre toute la mesure.

Note

* Jean JOUZEL, Directeur de Recherches au CEA, a fait au sein de cet organisme l'essentiel d'une carrière scientifique largement consacrée à la reconstitution des climats du passé à partir de l'étude des glaces de l'Antarctique et du Groenland. De 2001 à 2008, il a dirigé l'Institut Pierre Simon Laplace (IPSL), qui regroupe six laboratoires de la région parisienne impliqués dans des recherches sur l'environnement global. Il a participé, à titre d'auteur principal, aux deuxième et troisième Rapports du GIEC, du bureau duquel il est (depuis 2001) un des membres et dont il assure la vice-présidence de son groupe de travail scientifique.

Bibliographie

Cet article repose très largement sur le 4ème Rapport du GIEC, facilement accessible sur le site du GIEC (www.ipcc.ch/). Je me suis également appuyé sur les articles ci-après :

BECK (E-G), *180 Years of Atmospheric CO₂ Gas Analysis by Chemical Methods*; Energy & Environment, Vol 18, No. 2, 2007.

CAILLON (N.), SEVERINGHAUS (J.P.), JOUZEL (J.), BARNOLA (J.M.), KANG (J.) & LIPENKOV (V.Y.), *Timing of Atmospheric CO₂ and Antarctic Temperature Changes Across Termination-III*. Science, 299, pp. 1728-1731, 2003.

COURTILLOT (V.) & LE MOUËL (J.L.), *Libres points de vue sur « l'environnement et le développement durable »*, Site de l'Académie des Sciences, Décembre 2009.

HANSEN (J.), RUEDY (R.), SATO (M.) & LO (K.), *If It's That Warm, How Come It's So Damned Cold?* Disponible en ligne sur le site de l'Université Columbia : http://www.columbia.edu/~jeh1/mailings/2010/20100127_TemperatureFinal.pdf

KRIVOVA (N.A.); SOLANKI (S.K.) & WENZLER (T.), *ACRIM-Gap and Total Solar Irradiance Revisited: Is There a Secular Trend Between 1986 and 1996?*, *Geophysical Research Letters*, août 2009.

LE MOUËL (J.L.), COURTILLOT (V.), BLANTER (E.) & SHNIRMAN (M.), *Evidence for a Solar Signature in 20th Century Temperature*

Data from the USA and Europe. C. R. Geosci. n° 340, pp. 421-430, 2008.

LINDZEN (R.S.) & CHOI (Y.S.), *On the Determination of Climate Feedbacks from ERBE Data*, *Geophysical Research Letters*, août 2009.

LORIOUS (C.), JOUZEL (J.), RAYNAUD (D.), HANSEN (J.) & LE TREUT (H.), *Greenhouse Warming, Climate Sensitivity and Ice-Core Data*. *Nature*, n° 6989, vol. 347, pp. 139-145, 1990.

TRENBERTH (K.E.), FASULLO (J.T.), O'DELL (C.) & WONG (T.), *Relationships Between Tropical Sea Surface Temperature and Top of Atmosphere Radiation*, *Geophysical Research Letters*, Janvier 2010.