

Réchauffement du climat: les indices débouchent sur un verdict de culpabilité de l'Homme

Qui est responsable du réchauffement actuel du climat? Depuis quelque temps, l'Homme est au banc des accusés, plus exactement l'augmentation de l'effet de serre causée par lui. Il est bien clair en fait qu'il n'y pas un seul et unique coupable, mais qu'il existe de nombreux responsables. Depuis pas mal de temps, on mène une sorte de procès, basé sur des indices, pour tenter d'établir la part de responsabilité de chacun des coupables. Le premier 'procès', dans le rapport de l'IPCC de 1996, s'exprimait de façon très prudente sur les coupables présumés: *différents indices rendent plausibles une coresponsabilité de l'Homme*, disait-il en substance. Mais entre-temps, plusieurs nouveaux témoins sont intervenus, si bien que la seconde mouture du procès, dans le rapport 2001 de l'IPCC, est beaucoup plus explicite: *«Le réchauffement au cours des 50 années passées est probablement pour la plupart une conséquence des activités humaines»*. Les indices sont devenus toujours plus précis: 1995, 1996 et 1998 furent les trois années les plus chaudes depuis le début des mesures. Les dépositions des différents témoins – entendez par là les scientifiques eux-mêmes – de ces dernières années concordent: jusque assez tard dans le 20e siècle, l'évolution de la température peut s'expliquer plus ou moins par des variations de l'activité du soleil et de celle des volcans, mais au cours des dernières décennies, les facteurs naturels auraient dû conduire à une légère diminution de la température. A partir de 1970 environ, le réchauffement ne peut plus être expliqué sans faire intervenir l'effet de serre.

Les négociations de Kyoto, quand il fut question des stratégies politiques de réduction des émissions, ont laissé le souvenir de négociateurs surmenés, s'efforçant désespérément de rédiger le texte d'une convention acceptable pour tous. Situation similaire l'an passé, quoique avec moins de précipitation et le plus souvent sans arrière-pensées politiques, lorsqu'une bonne centaine de scientifiques de haut niveau ont essayé, loin des feux de la rampe, de formuler les prin-

cipales conclusions du 3e rapport de l'IPCC en termes acceptables pour tous. Les affirmations, politiquement parlant explosives, relatives à l'influence de l'homme sur le réchauffement global sont soupesées avec un soin tout particulier. Les scientifiques se trouvent confrontés ici à un problème qu'ils ne peuvent pas résoudre comme ils calculent par exemple la trajectoire d'une fusée. L'énoncé du problème est trop complexe, le travail des auteurs de l'IPCC ressemble à celui d'un juge qui doit prononcer un verdict sur la base d'indices et de témoignages.

Les scientifiques sont donc très prudents dans leurs conclusions, beaucoup plus prudents que les politiciens, les journalistes ou les militants écologistes. On attendait donc avec beaucoup d'attention le verdict du nouveau rapport. Il y a cinq ans, il était encore question d'une influence plausible de l'être humain. Mais depuis lors, il s'est passé pas mal de choses tant dans la nature qu'en recherche:

- La surface de la Terre a continué de se réchauffer. Trois des cinq dernières années (1995, 1996 et 1998) sont en tête du classement des années les plus chaudes depuis le début des mesures (aux environs de 1860). Des reconstitutions indiquent qu'il n'a probablement jamais fait aussi chaud en moyenne sur l'hémisphère nord au cours du dernier millénaire.

Personnes de contact:

Prof. Martin Beniston, Institut de Géographie, Université de Fribourg, Pérolles, CH-1700 Fribourg, tél. 026-300 90 11, fax: 026-300 97 46, e-mail: martin.beniston@unifr.ch

Dr. Jürg Beer, Isotopengeochemie, SURF, EAWAG, Überlandstrasse 133, 8600 Dübendorf, tél. 01-823 51 11, fax: 01-823 52 10, e-mail: juerg.beer@eawag.ch

Dr. Fortunat Joos, Physikalisches Institut - Klima- und Umweltphysik, Universität Bern, Sidlerstr. 5, CH-3012 Bern, tél. 031-631 44 61, fax: 01-631 87 42, e-mail: joos@climate.unibe.ch

- Dans son ensemble, la couverture de neige et de glace a substantiellement diminué au cours des dernières décennies. Le niveau de la mer est monté en moyenne de 10 à 20 cm pendant le 20^e siècle, tandis que les précipitations aux latitudes moyennes et hautes ont presque partout augmenté de 5 à 10%. Toutes ces observations concordent avec les effets prévus par les modèles climatiques en cas d'augmentation de la concentration des gaz à effet de serre.
- De nouvelles techniques d'évaluation ont été développées et appliquées. Toutes les études décèlent une influence humaine dans les données climatiques mesurées ces dernières 35 - 50 années. Selon certains modèles climatiques, les fluctuations de l'activité solaire et le volcanisme jouent un rôle important dans le réchauffement pendant la première moitié du 20^e siècle. Il n'existe en revanche aucun modèle reconnu qui puisse expliquer, même vaguement, l'augmentation de la température depuis les années 70 sans inclure l'influence des gaz à effets de serre (cf. figure).
- Le réchauffement prévu par les modèles climatiques, sur la base des mesures de l'augmentation des gaz à effet de serre, de la concentration des aérosols, du changement du rayonnement solaire et de l'activité volcanique, est en assez bon accord avec les mesures de température.
- Le soleil et les volcans comme facteurs naturels ont eu, globalement, un effet refroidissant depuis le début des mesures par satellite dans les années 70, et probablement depuis 1950 déjà. D'autres facteurs (aérosols naturels et d'origine humaine, changement de l'utilisation des sols) influencent aussi la température dans un sens négatif, quoique dans une mesure incertaine. Les processus les moins bien compris (effets indirects des aérosols et formation des nuages) ont probablement un effet refroidissant. L'augmentation des gaz à effet de serre est le seul facteur connu qui puisse avoir déclenché un réchauffement de l'envergure observée. Les concentrations de CO₂ et de méthane, gaz à effet de serre notoires, sont aujourd'hui plus élevées qu'elles ne l'ont jamais été pendant les 420'000 dernières années. Elles augmentent actuellement plus vite que jamais au cours des 20'000 années passées.

Le seul argument pour mettre en doute la responsabilité majeure de l'homme est la possibilité théorique qu'un facteur décisif puisse avoir été totalement oublié ou fortement sous-estimé jusqu'ici. Le fait que les modèles reproduisent de façon remarquable l'évolution passée et présente de la température semble bien indiquer que de tels processus inconnus ou difficiles à estimer et à quantifier n'ont pas d'influence notable ou s'annulent mutuellement.

Les auteurs de l'IPCC ont donc tiré la conclusion que le réchauffement pendant les 50 dernières années a probable-

ment pour cause principale l'augmentation de la concentration des gaz à effet de serre – leur formulation relève de la prudence scientifique traditionnelle et tient compte des incertitudes résiduelles.

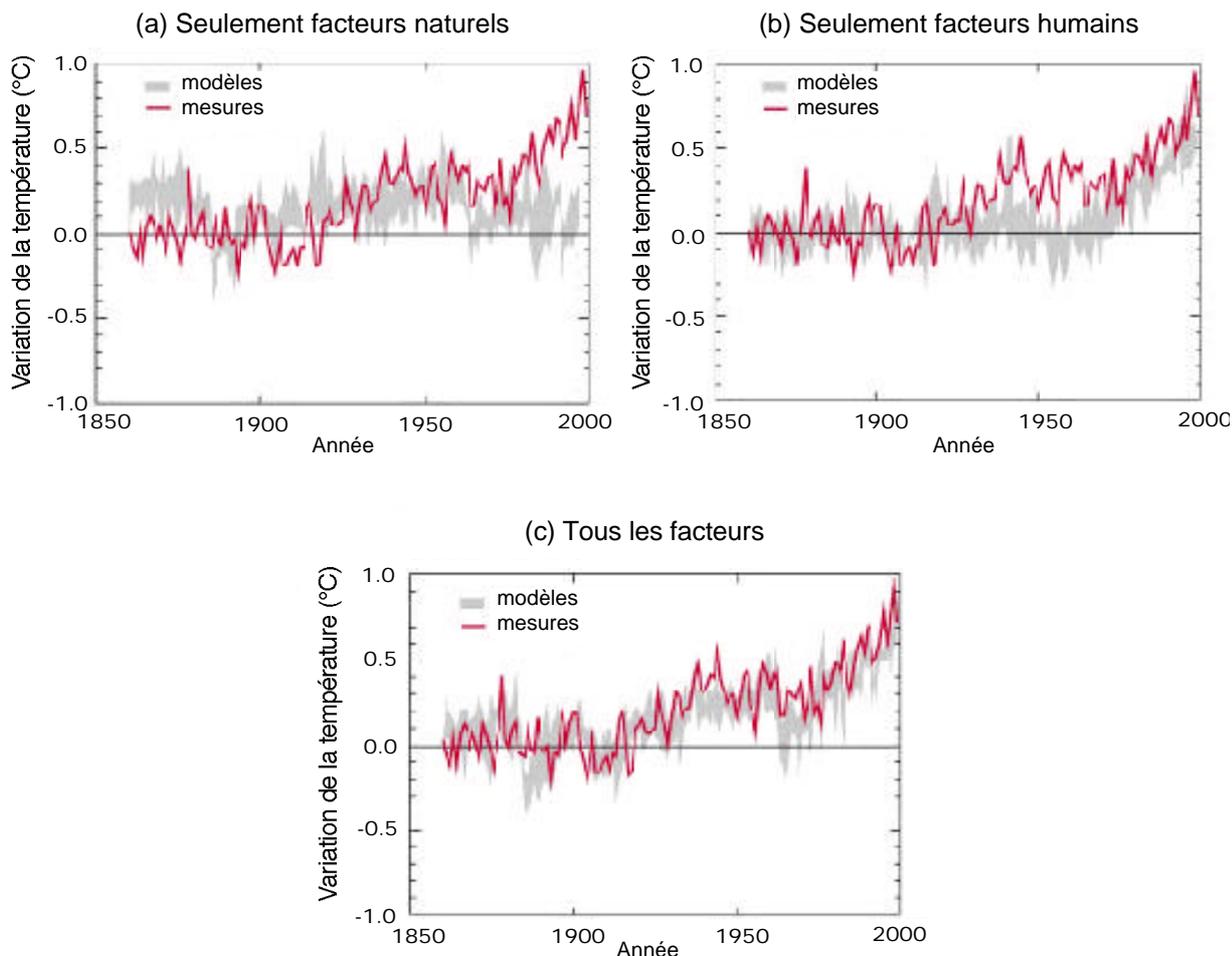
L'effet des facteurs d'influence change

Comment se fait-il qu'à différentes époques ce soient des facteurs différents qui puissent déterminer le changement de la température à la surface de la Terre? Il existe de nombreux facteurs susceptibles d'avoir une influence, par exemple le soleil, les volcans, les courants marins, les courants stratosphériques, les masses de glace, etc. A ceci s'ajoutent des fluctuations internes du système climatique lui-même, causées le plus souvent par des couplages ou des rétroactions qui surviennent aussi sans influence extérieure (par exemple El Niño, l'oscillation de l'Atlantique Nord). Ces facteurs s'influencent les uns les autres par de multiples couplages. Leur influence sur la température à la surface de la Terre ne se manifeste cependant que lorsqu'ils subissent eux-mêmes des changements. De plus, selon l'état momentané du système climatique, les effets de deux facteurs importants peuvent s'annuler mutuellement, par exemple lorsqu'une éruption volcanique (refroidissement) coïncide avec une augmentation de la concentration des gaz à effet de serre (réchauffement). Si un troisième facteur, par exemple le rayonnement solaire incident, change simultanément de façon substantielle, la température évolue pendant un certain temps parallèlement à ce facteur.

Le facteur qui a, en une période donnée, la plus grande influence sur l'évolution de la température est généralement celui dont l'effet absolu se modifie le plus à l'échelle de temps considérée. Pendant les dernières décennies, ce facteur dominant est manifestement la concentration croissante des gaz à effet de serre. Et il en sera ainsi probablement dans le proche avenir également, si les émissions dues aux activités humaines continuent d'augmenter, et pour autant qu'aucun autre facteur naturel ne change subitement de façon substantielle.

Différentes échelles de temps

L'échelle de temps joue aussi un rôle dans la considération des différentes influences. Selon l'horizon temporel considéré, les facteurs déterminants peuvent être différents. A l'échelle de millions d'années, la dérive des continents, le plissement des montagnes ou les modifications de l'orbite terrestre jouent un rôle majeur. A l'échelle de dizaines et centaines de milliers d'années, la forme de l'orbite terrestre de même que l'inclinaison et les oscillations de l'axe terrestre sont importants. On les tient responsables de l'alternance des glaciations et d'époques plus chaudes. A l'échelle de quelques dizaines à centaines d'années, ce sont entre



La figure présente trois calculs différents d'un modèle climatique, comparés chacun à l'évolution de la température globale mesurée: le premier calcul ne tient compte que des facteurs naturels (a), le second seulement de l'effet de serre dû aux activités humaines (b), le troisième enfin de tous les effets (c). Il apparaît clairement que la prise en compte de tous les facteurs permet de simuler assez bien l'évolution moyenne. Il est tout aussi manifeste que l'augmentation au cours des dernières décennies est causée principalement par l'être humain (source: Third Assessment Report IPCC 2001).

autres les variations de l'activité solaire qui prennent de l'importance. C'est ainsi que pendant le « petit âge glaciaire » des 16e et 17e siècles, le soleil a connu des périodes très calmes – il n'y avait presque pas de taches solaires.

Mesures par satellite et longueur des cycles solaires: questions plus ou moins résolues

Les températures mesurées dans la troposphère (les premiers 8 km de l'atmosphère au-dessus de la surface terrestre), qui furent pendant longtemps en désaccord avec les températures au sol, ont alimenté la controverse au cours des dernières années. Il en va de même de l'influence du soleil, que certains chercheurs considéraient comme décisive. Dans les deux cas, des questions importantes ont été résolues: dans le cas des mesures par satellite, il est apparu

que le refroidissement observé dans la troposphère (en contradiction avec les mesures au sol) provenait, au moins en partie, d'une altération des données, due à la lente descente du satellite pendant la période de mesure. Les données corrigées et les mesures les plus récentes indiquent la même tendance ascendante des températures troposphériques que les mesures au sol depuis 1950. Depuis le début des mesures par satellite en 1979, la surface de la Terre, surtout sous les tropiques et dans les régions subtropicales, s'est réchauffée sensiblement plus vite que les 8 premiers kilomètres de l'atmosphère. La raison de cette différence n'est pas encore entièrement élucidée.

Etant donné le bon accord entre la longueur du cycle solaire et les fluctuations de la température au sol, des chercheurs danois ont imputé au soleil un rôle majeur dans le réchauffement. Mais une fois les données les plus récentes prises en compte, les courbes ne sont plus parallèles.

Des chercheurs de la même équipe en ont conclu récemment que le soleil n'a contribué que très modestement au réchauffement pendant les années 90.

Une autre question, à laquelle les médias ont prêté beaucoup d'attention, concerne la formation des nuages. Des chercheurs danois postulent que les changements du rayonnement cosmique causés par le vent solaire contrôlent la couverture nuageuse globale, et donc aussi le climat, par la formation de ions dans l'atmosphère. Il existe toutefois différents indices selon lesquels ces processus et d'autres semblables ont bien lieu, mais ne jouent pas un rôle majeur.

Même tendance à l'avenir?

En ce qui concerne l'évolution future, on ne peut que travailler sur la base scénarios. L'avenir climatique dépend essentiellement de l'évolution future des émissions de gaz à effet de serre et d'aérosols par les activités humaines. Il n'est pas possible non plus de prédire le cours de certains facteurs naturels, tels que le comportement du soleil ou la date de la prochaine grosse éruption volcanique. A ceci s'ajoutent des incertitudes sur le déclenchement de processus supplémentaires sous l'action du réchauffement. Ceux-ci pourraient induire une évolution tout à fait différente, à l'échelon planétaire ou au niveau régional. Un exemple est l'affaiblissement très discuté du courant marin chaud dans l'At-

lantique Nord, qui pourrait avoir des conséquences dramatiques pour le climat de l'Europe septentrionale. Des changements de structure de la circulation atmosphérique sont également possibles, qui modifieraient aussi la distribution spatiale des températures et des précipitations. Et des surprises ne sont pas exclues, par rapport aux nombreux scénarios plausibles.

Les effets indirects des aérosols et de l'évaporation accrue sur la formation des nuages constituent à l'heure actuelle un casse-tête dans l'estimation de l'évolution du climat. L'effet est différent selon le type de nuage et le lieu où ils se forment: des nuages d'altitude, ténus, ont un effet réchauffant (par effet de serre), tandis que des nuages épais, situés à basse altitude, contribuent au refroidissement, vu leur réflectivité élevée au niveau du rayonnement solaire. On ne sait pas encore au juste lequel de ces effets sera dominant.

Il apparaît maintenant clairement que l'être humain exerce aujourd'hui une influence considérable sur le climat. Nous en portons la responsabilité; mais nombre d'entre nous, surtout dans les pays pauvres, en seront aussi les victimes. Il est possible que nous ayons mis en route une expérience globale très dangereuse - dont l'issue est incertaine et, fait essentiel pour mesurer notre marge de manoeuvre, le temps pour freiner ou renverser la tendance qui se dessine est très long par rapport à l'échelle d'une vie humaine.

Conférences intéressantes

5 avril 2001

2nd Swiss Global Change Day

Lieu: Berne (Freies Gymnasium, Beaulieustr. 55)

Info: ProClim, Bärenplatz 2, 3011 Berne,

tél. 031-328 23 23, fax: 031-328 23 20

e-mail: neu@sanw.unibe.ch

<http://www.proclim.ch/Events/2CHGCDay/2ndCHGC-Day.html>

Le changement global, du climat mais aussi de l'environnement dans son ensemble, préoccupent des milliers de chercheurs et décideurs dans de nombreux domaines. ProClim organise chaque année une manifestation permettant à tous les spécialistes concernés de se retrouver. De la recherche sur le climat, aux sciences humaines et aux fonctionnaires. Cette réunion permet d'inviter des personnalités étrangères très actives dans des programmes international

de recherche, tel le World Climate Research Programme (WCRP), mais aussi d'inciter les Suisses à présenter les découvertes les plus importantes de l'an passé. Enfin, des discussions auront lieu après les contributions scientifiques, elles réuniront aussi bien des représentants gouvernementales, de la politique et des organisations non-gouvernementales (NGO's).