

Le réchauffement global, une cause d'un changement climatique abrupt?

Un récent rapport, mandaté par le Pentagone, a suscité de l'émoi en évoquant le scénario d'un possible changement abrupt du climat. Il prévoit des conséquences effrayantes pour l'humanité et l'environnement. C'est aussi le thème central du film «The Day After Tomorrow», récemment projeté dans les salles obscures.

Le spectateur intéressé se pose peut-être la question de l'arrière-plan scientifique de cette réalisation. Les pronostics au sujet de l'évolution future du climat sont de plus en plus convergents, et les conséquences du réchauffement pour d'autres éléments du climat semblent calculables. En savons-nous assez sur le réchauffement global? Ou l'accroissement momentané de la température pourrait-il avoir, à côté de ce qui est évaluable, des conséquences tout à fait inattendues sous la forme d'un changement climatique abrupt?

L'histoire du climat montre que d'importants changements climatiques sont survenus plusieurs fois dans le passé de façon inopinée et en peu de temps. A côté de facteurs naturels, le réchauffement global entre aujourd'hui aussi en ligne de compte comme cause susceptible de déclencher un tel changement. Prenant pour référence l'état actuel des connaissances, un changement climatique abrupt est improbable ces prochaines décennies, mais ne peut pas non plus être exclu. S'il devait avoir lieu, il faudrait s'attendre à de très graves conséquences.

Il fait plus chaud. La plupart des scientifiques sont unanimes à ce sujet, comme sur le rôle des être humains comme principaux responsables de cette évolution. L'histoire du climat montre que déjà dans le passé, la température a eu constamment des hauts et des bas. A côté de changements lents, continus, le climat du passé présente aussi des changements étonnamment rapides et des «sauts» surprenants. Lors d'un changement dit abrupt, le système climatique atteint et dépasse une limite critique sous l'influence d'un ou plusieurs facteurs. Il s'ensuit une réaction qui fait passer le système climatique, ou des parties de ce dernier, dans un nouvel état, et ceci à une vitesse qui n'a rien à voir avec le facteur de déclenchement. En effet, une stimulation lente et continue peut avoir subite-

ment des conséquences inattendues. On parle dans ce cas de réaction non linéaire. Le réchauffement momentané du climat recèle donc un risque difficile à évaluer – à côté de l'accroissement prévu de la température et d'effets, pouvant être modélisés de façon toujours plus précise, sur les éléments climatiques, p.ex. les précipitations.

Des prévisions d'événements climatiques abrupts ne sont guère possibles sur la base des connaissances disponibles jusqu'ici. Le problème est d'abord de déceler des non-linéarités dans le système climatique. Les systèmes non linéaires ont parfois la propriété de s'autoréguler dans certaines limites. Mais si celles-ci sont dépassées, le système bascule brusquement, c'est-à-dire passe à un autre mode ou s'effondre. Le risque d'un tel changement d'état du système climatique est difficile à évaluer, car les limites critiques ne sont pas connues.

Le Gulf Stream n'a pas toujours été stable

Un système non linéaire connu et bien étudié du point de vue scientifique est la circulation thermohaline (CTH), un cycle de courants marins qui comprend aussi le Gulf Stream. Elle est produite par des différences de température et de salinité de l'eau de mer. Dans l'Atlantique Nord, plus précisément dans le secteur du Groenland et de la mer du Labrador, l'eau froide et riche en sel descend vers le fond en raison de sa densité élevée et y refoule l'eau des profondeurs en direction de l'équateur. Ce mouvement descendant tire derrière lui de l'eau plus chaude venant du sud, laquelle se refroidit à son tour et s'enfoncé. Ramification du courant marin chaud de surface s'écoulant vers les pôles, le Gulf Stream est le «chauffage central» de l'Europe. C'est un fait connu en climatologie que la circulation thermohaline n'est pas tout à fait stable et peut exister en différents modes. Des modélisations montrent qu'un réchauffement ou qu'une dilution de l'eau salée lourde dans l'Atlantique Nord, p.ex. à la suite d'importantes précipitations ou de la fonte des glaciers ou de la banquise du Groenland, ralentit la circulation. Un apport supplémentaire d'eau douce affaiblit encore davantage le courant, ce qui peut finalement conduire à un effondrement du système.

Changements climatiques abrupts pendant l'époque glaciaire

Un regard en arrière dans l'Histoire permet de constater de possibles «sauts» climatiques et fournit des indices de l'existence de systèmes non linéaires et de facteurs de déclenchement de tels «sauts». Des carottes de glace, sédiments marins, cernes annuels d'arbres et autres données climatiques témoignent d'événements climatiques abrupts ayant eu lieu pendant la dernière époque glaciaire. Les climatologues y ont identifié des phases abruptes aussi bien chaudes que froides. Au Groenland et dans certaines régions d'Europe, les températures ont augmenté de jusqu'à dix degrés en une ou deux décennies lors de phases chaudes. En climatologie, on admet aujourd'hui que les phases froides et chaudes extrêmes survenues pendant la dernière période glaciaire ont un lien avec la circulation thermohaline. On a pu montrer qu'il existe des stades quasi-stables, à savoir (1) le mode interglaciaire «chaud» au cours duquel de la chaleur est transportée en direction des pôles, (2) le mode «froid» pendant lequel le transport de chaleur est réduit et (3) l'effondrement de la circulation. Les changements climatiques abrupts pendant la dernière période glaciaire s'expliquent en grande partie par des transitions entre ces états. Il semble qu'à cette époque le système se trouvait à la limite entre deux modes et était donc plus instable qu'au cours de la période chaude qui a suivi. Mais il n'y a pas encore d'explication définitive sur ce qui déclenche ces changements. On suppose que des facteurs externes (p.ex. des cycles astronomiques ou solaires) jouent un rôle autant que des facteurs climatiques spécifiques (p.ex. la rupture de glaciers). Les masses de glace arctiques peuvent également avoir un rôle amplificateur: lors d'un refroidissement, elles augmentent de volume, et comme elles absorbent beaucoup moins de rayonnement solaire que les eaux ou les terres, elles produisent un refroidissement supplémentaire. De façon analogue, la fonte des glaces lors d'un réchauffement intensifie encore ce dernier.

A part la circulation thermohaline, il existe encore d'autres mécanismes qui peuvent déclencher d'importants changements climatiques. C'est probablement un mécanisme de rétroaction entre la végétation et la mousson qui a conduit, il y a env. 5'500 ans, à la désertification du Sahara. Tandis que les conditions pour des pluies de mousson dans le Sahara se détérioraient en raison du lent déplacement de l'orbite solaire, la végétation est parvenue longtemps à se maintenir, jusqu'au point où elle a très rapidement et durablement dégénéré.

Que pourrait nous réserver le futur?

En vue du risque futur de changements climatiques abrupts, les climatologues étudient des processus qui réagissent de façon non linéaire à des influences données et représentent de ce fait un danger potentiel. Ces pro-

cessus sont des interactions entre la circulation atmosphérique et d'autres éléments du système Terre, notamment les interactions atmosphère-biosphère, les interactions atmosphère-glaciers et les cycles atmosphère-océans.

Les déboisements modifient le cycle de l'eau

La désertification du Sahara à la suite de changements de la circulation de la mousson entre dans la catégorie des interactions atmosphère-biosphère. Un changement irréversible de la forme de végétation est considéré comme possible aussi dans d'autres contrées, en particulier dans certaines régions d'Afrique, d'Asie du Sud et d'Australie. Il semble qu'il existe dans ces régions différents équilibres entre l'atmosphère et la biosphère. Si un tel système est trop fortement perturbé, il ne retourne éventuellement plus dans l'état d'équilibre antérieur.

Par exemple, des déboisements de grande envergure peuvent conduire à une modification du cycle de l'eau, étant donné qu'il n'y a plus d'arbres pour fournir de l'humidité par évaporation, et à l'établissement d'un nouveau régime climatique. On admet ainsi qu'à côté des grands cycles climatiques, la destruction des forêts du bassin du Niger a joué un rôle dans le dessèchement du Sahel. A cet égard, l'amenuisement de la forêt tropicale dans le bassin de l'Amazone donne lieu à des préoccupations très actuelles. Même si le processus de déboisement s'étend sur plusieurs décennies, les modifications du cycle de l'eau pourraient s'accélérer. Cela n'aurait pas seulement des conséquences sur la région déboisée elle-même. Le bassin de l'Amazone exporte beaucoup d'humidité dans des régions où l'agriculture et la croissance des forêts réagissent de façon très sensible à une diminution des précipitations.

Quelle est la stabilité de la calotte glaciaire de l'Antarctique occidental?

Les interactions linéaires entre l'atmosphère et les masses de glace se manifestent comme rapport facile à comprendre entre le réchauffement global, la fonte des glaciers et l'élévation du niveau de la mer. Mais dans ce contexte aussi, des effets non linéaires sont supposés exister et sont étudiés. Un scénario possible est la désintégration de la calotte glaciaire de l'Antarctique occidental, faisant monter le niveau de la mer de quelques mètres. Les scientifiques ne sont unanimes ni sur le risque d'un tel événement, ni sur la vitesse à laquelle il se déroulerait. Les vues ne convergent que sur un point, à savoir que ce bouclier est plus instable que d'autres masses de glace, étant donné qu'il repose en grande partie sur le fond marin. Des facteurs d'incertitudes sont d'une part la stabilité de la banquise environnante, qui soutient la masse de glace, et d'autre part le comportement des flux s'écoulant de l'intérieur du continent, dont l'ampleur et le cours sont soumis à de grandes fluctuations. La fonte de grands boucliers de glace, comme celui du Groenland par exemple, dure des siècles, voire des millénaires. Mais ce processus peut s'accélérer si le réchauffement persiste, car

la poussière et les dépôts morainiques déposés par l'eau de fonte accroissent l'absorption du rayonnement à la surface de la glace. Cela augmente la probabilité que le processus se poursuive en sens unique et de façon irréversible.

Des zones de permafrost représentent un risque potentiel lors d'un réchauffement. Les sols marécageux gelés renferment de grandes quantités de gaz à effet de serre sous forme d'hydrates de méthane et de méthane, qui s'échapperaient dans l'atmosphère en cas de dégel. Le renforcement massif de l'effet de serre qui s'ensuivrait ferait monter encore davantage les températures globales. Des hydrates de méthane sont stockés aussi dans les fonds marins et pourraient libérer de grandes quantités de méthane dans l'atmosphère.

El Niño est un important mécanisme de circulation des interactions atmosphère-océans. Le courant marin et la circulation atmosphérique forment un cycle d'humidité et de chaleur dans et au-dessus du Pacifique équatorial. On ne sait pas au juste dans quelle mesure la variabilité d'El Niño est due au hasard ou renforcée par des mécanismes de rétroaction. Il n'est donc guère possible d'estimer les conséquences du réchauffement global sur ce cycle ni d'exclure des changements subits.

Pas de période glaciaire en vue

La circulation thermohaline déjà mentionnée est le système le mieux étudié en rapport avec des changements climatiques abrupts. Des modifications de ce système ne sont connues toutefois que pendant des périodes glaciaires. Comment le système réagit dans une situation telle que celle d'aujourd'hui – c'est-à-dire à un fort réchauffement survenant pendant une période chaude – est difficile à prévoir, faute de témoignages du passé. En cas d'effondrement de la circulation, un refroidissement serait possible en Europe. Mais il ne faut pas s'attendre à une période glaciaire. Même en cas d'effondrement, les modèles indiquent un réchauffement comme effet net global; en d'autres termes, l'effet des gaz à effet de serre est plus fort que celui du refroidissement. Un affaiblissement de la circulation thermohaline est un scénario plus probable que l'effondrement de la circulation; dont l'effet, en Europe aussi, serait seulement d'atténuer le réchauffement anthropique.

Personnes de contact:

Prof. Thomas Stocker, Klima- und Umwelphysik,
Université de Berne, Sidlerstr. 5, 3012 Berne,
tél: 031/631 44 62, fax: 031/631 87 42,
e-mail: stocker@climate.unibe.ch

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. Fortunat Joos, Klima- und Umwelphysik,
Université de Berne, Sidlerstr. 5, CH-3012 Bern,
tél. 031-631 44 61, fax: 01-631 87 42,
e-mail: joos@climate.unibe.ch

Une expérience risquée

Le réchauffement actuel n'est pas (encore) un changement climatique abrupt, même si l'augmentation de la température est inquiétante et relativement rapide. Le réchauffement montre, mis à part des fluctuations naturelles à court terme, un accroissement plus ou moins continu, qui peut être mis en relation directe avec l'effet de serre. Mais le réchauffement global est un facteur susceptible de déclencher ou de participer au déclenchement de changements climatiques abrupts, dans la mesure où il pourrait faire basculer une partie du système constitutif du climat. Un apport externe de CO₂ de l'ampleur actuelle pendant une période chaude est un événement unique sans précédent et donc une expérience à l'issue incertaine, même si un saut climatique semble improbable suivant l'état actuel des connaissances. A côté de facteurs connus ou supposés, susceptibles de déclencher des changements climatiques abrupts, subsiste le risque de mécanismes inconnus jusqu'alors. En cas de «saut climatique», l'être humain et la nature seraient confrontés à de gros problèmes d'adaptation, car non seulement l'ampleur, mais surtout le rythme d'un tel «saut» serait décisif à cet égard. La gravité de ses conséquences pour les systèmes écologiques et économiques dépasserait d'un multiple celle de changements lents.

Pages internet (en anglais)

Sommaire sur les changements climatique abruptes (chapitre d'un livre) du Potsdam-Institut für Klimaforschung:
http://www.pik-potsdam.de/~stefan/Publications/Book_chapters/abrupt.pdf

Sommaire en détail sur les changements climatique abruptes de l'U.S. Academy of Sciences:
<http://books.nap.edu/books/0309074347/html/168.html>