Climate Press

Informations au sujet de la recherche sur le climat et le changement global
No 30 / novembre 2011

Que valent les modèles climatiques ?

Les modèles climatiques sont une base importante pour comprendre les processus du système climatique, rechercher les raisons des changements observés et évaluer les développements futurs. Aussi la question se pose-t-elle souvent de savoir jusqu'où ils reflètent correctement la réalité.
Les modèles climatiques sont des représentations mathématico-physiques du système climatique ; ils décrivent l'atmosphère, les océans, la surface des terres et la couverture de glace. Comme tous les modèles et théories scientifiques, ils ne reflètent pas la réalité exacte, mais nous aident à comprendre d'importants processus et dans certaines limites aussi à les prévoir. Les modèles climatiques rendent relativement bien compte d'aspects tels que l'évolution à long terme de la température globale et certains changements des précipitations ; ils ont toutefois de la peine à reproduire correctement tout le cycle de l'eau ou les modifications de la structure des courants atmosphériques. Pour interpréter des résultats de modèles, il est donc important de savoir où se situent les forces et faiblesses de ces derniers. Il n'est pas facile de vérifier les résultats de modèles à l'aide de valeurs mesurées, car celles-ci comportent aussi des sources d'erreurs et font souvent tout simplement défaut – avant tout pour le passé. Alors que les données de modèles sont à peu près fiables pour l'évolution future aux niveaux planétaire et continental, elles présentent en revanche de grandes incertitudes pour les projections régionales. Ces dernières années, de grands progrès ont été réalisés avant tout dans l'évaluation des incertitudes. Des modifications de la structure des courants atmosphériques, déterminantes pour les changements du climat régional, sont insuffisamment prises en compte par les modèles climatiques. Il existe à cet égard un grand potentiel d'amélioration.

Les modèles climatiques jouent un grand rôle dans la discussion au sujet des changements climatiques causés par l'être humain et des mesures d'atténuation ou d'adaptation. Ils offrent un moyen unique d'évaluer à quoi le climat terrestre pourrait ressembler dans trente, cinquante ou cent ans. Mais quel est le degré de fiabilité des modèles climatiques ? Peut-on vérifier des modèles climatiques en effectuant des mesures ? Pourquoi les modèles climatiques permettent-ils de faire des prévisions sur cent ans, alors que nous ne pouvons pas même prévoir le temps qu'il fera dans deux semaines ? La suite du présent document regroupe des explications importantes pour comprendre les modèles climatiques.

Le modèle climatique : physique et mathématique dans des réseaux de points

Il existe des types très différents de modèles climatiques qui se distinguent principalement par leur

sc | nat

Science and Policy
Platform of the Swiss Academy of Sciences

ProClim–
Forum for Climate and Global Change

Rédaction: Urs Neu, ProClim–, urs.neu@scnat.ch; **Layout:** Esther Volken, ProClim–; **Sources d'images:** grande photo: NASA; petite photo: Christoph Ritz, ProClim–
Editeurs: ProClim–, Forum sur le climat et le changement global et OcCC, Organe consultatif sur les changements climatiques, Schwarztorstr. 9, 3007 Bern, www.proclim.ch
Tel. 031/328 23 23, Fax: 031/328 23 20

Différents types de modèles climatiques

Modèles climatiques généraux (MCGAO)
Les modèles à la base des projections climatiques sont des modèles de circulation générale atmosphère/océan (MCGAO). Ils réunissent un modèle météorologique de l'atmosphère, un modèle de l'océan, des modèles pour la neige et la glace et un modèle pour la végétation. Dans ces modèles, de nombreux processus et facteurs d'influence sont pris en compte directement ou décrits approximativement. Les distances horizontales entre points du réseau se situent entre cent et quelques centaines de kilomètres. Des modèles connus de ce type sont p.ex. ECHAM5 (Institut Max Planck de Hambourg), HadGEM1 (Hadley Centre, UK), GISS-E (NASA, Etats-Unis) ou encore CESM (Community Earth System Model, NCAR, Etats-Unis).

Modèles climatiques régionaux (MCR)
Les modèles climatiques régionaux calculent le climat pour une région donnée (p.ex. un continent) suivant le même principe que les MCGAO, mais avec une résolution du réseau beaucoup plus fine (quelques dizaines de kilomètres). Ceci permet de mieux reproduire certains processus et de mieux tenir compte des influences de la topographie, notamment des montagnes. Les conditions en bordure de la région sont reprises d'un MCGAO. De nombreux aspects des modèles climatiques régionaux sont toutefois assez fortement influencés par ce modèle général.

Modèles du système Terre de complexité intermédiaire (MSTCI)
Les MSTCI sont des modèles climatiques qui décrivent les processus dynamiques dans l'atmosphère et l'océan le plus souvent de façon un peu plus simple que les MCGAO, mais prennent en compte souvent davantage de composantes et de facteurs d'influence, par exemple le cycle du carbone. Les MSTCI présentent de grandes différences en ce qui concerne la prise en compte de processus et d'influences et sont souvent conçus pour étudier des questions spécifiques, par exemple simuler des cycles de périodes glaciaires.

Modèles climatiques simples
Les modèles climatiques simples ne décrivent que grossièrement les processus qui se déroulent dans l'atmosphère et l'océan et servent à simuler certaines propriétés du système climatique ou des processus spécifiques. Un exemple est l'estimation du changement global moyen de la température comme conséquence du changement des concentrations de gaz à effet de serre. Les processus importants sont représentés à l'aide d'un petit nombre de « boîtes », au lieu d'un réseau de points, p.ex. deux boîtes pour les océans Atlantique et Pacifique et une boîte pour l'atmosphère.

complexité, c'est-à-dire le nombre et la précision des processus considérés. Les modèles simples sont utilisés surtout pour analyser des processus bien définis dans le système climatique. Dans ce qui suit, nous décrirons plus en détail les modèles complexes de circulation générale atmosphère/océan (MCGAO), car leurs résultats constituent la base pour évaluer l'évolution future du climat et analyser des effets des changements climatiques.

Un modèle climatique est, comme un modèle météorologique, une description de l'atmosphère ou du système de la Terre sous la forme d'équations mathématiques. Les équations fondamentales de la physique traduisent le fait que dans un système, la somme de l'énergie est conservée, de même que celle de la masse et celle de l'impulsion. Ceci vaut aussi pour une substance comme l'eau : des gouttes d'eau peuvent seulement se déplacer, geler ou s'évaporer, mais pas s'annihiler – la somme totale de l'eau reste toujours la même. Dans un modèle climatique, l'atmosphère et les bassins des océans sont subdivisés en un réseau de points espacés d'ordinaire de plus de cent kilomètres dans le sens horizontal, et distants dans le sens vertical de quelques centaines de mètres près du sol à plusieurs kilomètres dans la haute atmosphère (fig.1). Le modèle calcule dans chaque point de ce réseau les valeurs des grandeurs considérées (vitesse et direction du vent, température, humidité, rayonnement, évaporation, etc.). Dans une simulation climatique, les changements de ces grandeurs sont déterminés à partir d'un état donné par pas temporels successifs (p.ex. de quelques secondes ou minutes) en chacun des points du réseau. Pour le changement de la température par exemple, de nombreux processus sont pris en compte, comme la température de l'air transporté d'un point voisin du réseau par le vent, ou le rayonnement du soleil et du sol. De plus, après chaque pas temporel, toutes les lois physiques doivent toujours être satisfaites. Il en résulte, pour chaque pas temporel, un système de nombreuses équations qui doivent être résolues simultanément. La solution est calculée à l'aide de méthodes mathématiques laborieuses. Puis le pas temporel suivant est calculé de la même manière, et ainsi de suite.

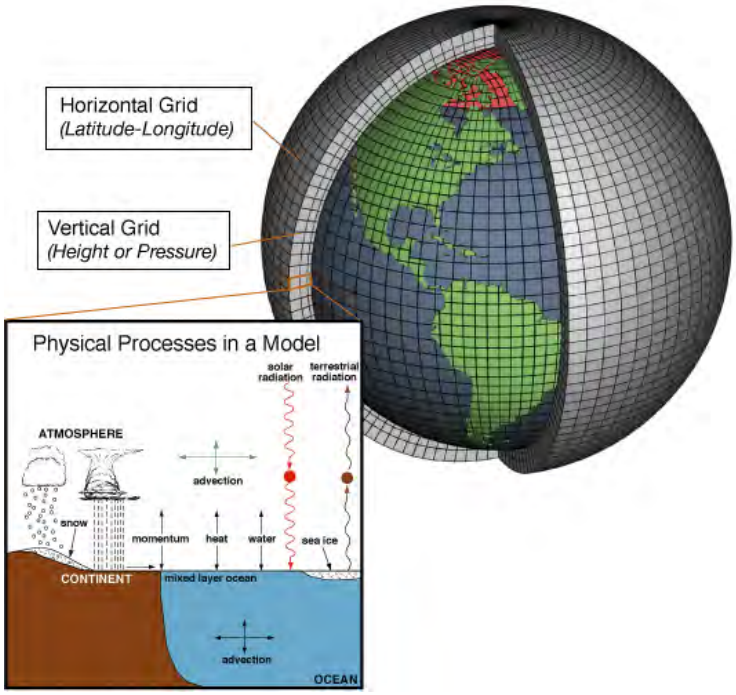

Figure 1: Principe d'un modèle climatique.
(source: NOAA)

Des défis qui se présentent lors de ces calculs sont d'une part les processus à petite échelle, qui se déroulent entre les points du réseau, p.ex. la formation et dissolution des nuages ou les petites turbulences atmosphériques, et d'autre part des processus qui ont lieu à la surface de la Terre, tels que le freinage des courants atmosphériques au contact du sol ou le dégagement d'humidité par le sol et la végétation. Vu que la complexité de ces processus ne permet pas de simulation directe, on recourt à des relations statistiques entre ces processus et des grandeurs moyennes simulées. Lesdites relations reposent souvent sur des mesures. Il existe par exemple un lien statistique entre, d'une part, l'évaporation au sol et, d'autre part, la moyenne du rayonnement, de la température ainsi que de la vitesse du vent dans les points du réseau situés au-dessus. Comme ces derniers sont calculés dans le modèle, l'évaporation peut être déterminée et prise en compte dans le modèle.

Pourquoi des prévisions sur 50 ans pour le climat, mais sur 5 jours seulement pour la météo ?

Les modèles climatiques ne se distinguent guère fondamentalement des modèles météorologiques, les deux sont assujettis à la physique. Pourquoi peut-on « voir » cinquante ou cent ans dans l'avenir avec un modèle climatique, alors qu'on ne peut prédire le temps qu'il va faire que sur quelques jours ? La raison tient à ce que les modèles climatiques répondent à des questions totalement différentes de celles de la prévision météorologique. Pour celle-ci, la question centrale est la situation exacte au 2 décembre 2011. Tandis que le 2 décembre 2091 n'est pas significatif pour la simulation climatique : avec cette dernière, nous voulons savoir comment la moyenne à long terme de la température et des précipitations en Europe aura changé pendant la décennie 2090–2099 au cas où la concentration de CO_2 dans l'atmosphère serait alors deux fois plus élevée qu'avant l'industrialisation. Les calculs sur le climat ont donc pour objet des moyennes à long terme, en météorologie ils portent sur l'état momentané de l'atmosphère locale. Les facteurs déterminants sont très différents : le climat global moyen à long terme dépend principalement des flux d'énergie entrant et sortant de l'atmosphère, alors que le temps momentané local est une question de distribution de l'énergie à l'intérieur de l'atmosphère. Le flux entrant – venant de l'extérieur – dépend en premier lieu du rayonnement solaire incident ainsi que de la réflexion de ce dernier par les nuages, les particules d'air et le sol. Le rayonnement sortant – le flux d'énergie vers l'extérieur – est déterminé par la constitution de la surface de la Terre, les nuages et la composition de l'atmosphère, en particulier les concentrations de gaz à effet de serre. Si les flux entrant et sortant ne sont pas égaux, le contenu d'énergie de l'atmosphère se modifie jusqu'à ce qu'un nouvel équilibre soit établi. Ces flux entrant et sortant ne se modifient que lentement, souvent au cours de décennies. En outre, certaines composantes du système de la Terre, les océans par exemple, ne réagissent que très lentement et ralentissent l'adaptation des grandeurs climatiques. Les températures globales moyennes à long terme se calculent aisément à partir de ces changements lents.

La distribution régionale à court terme des masses d'air chaud et froid, des nuages et précipitations, ou des courants atmosphériques, est en revanche en grande partie chaotique et ne peut donc être calculée que sur peu de jours. Les fluctuations en un lieu donné sur peu de jours sont beaucoup plus grandes que les tendances à long terme et se déroulent beaucoup plus rapidement.

Prenons comme comparaison simple une casserole d'eau bouillante sur une plaque de cuisinière : l'ascension des bulles d'air, dont la distribution est chaotique, correspond à la météo, la température de la plaque correspond au flux d'énergie entrant. Nous n'avons aucune possibilité de prévoir la « météo », c'est-à-dire quand et où, dans l'instant qui suit, une bulle va monter et quelle sera sa taille. Mais lorsque nous tournons le bouton de la plaque vers le bas, que nous modifions donc le flux incident externe, nous pouvons prévoir avec certitude que le « climat » va changer, c'est-à-dire qu'en moyenne moins de bulles, et aussi moins de grosses bulles, monteront. Si nous tournons le bouton vers le haut, les bulles deviendront plus grosses et plus nombreuses. En observant le changement de la taille moyenne des bulles lorsque nous tournons le bouton, nous pouvons formuler un modèle simple qui nous permet de faire une prévision sur la taille caractéristique des bulles en fonction de la température de la plaque (le climat), sans connaître la position exacte des bulles individuelles (la météo).

Le réchauffement climatique est-il « incorporé » dans les modèles ?

On prétend parfois que les modèles climatiques seraient construits de manière à ce qu'ils fassent apparaître un réchauffement. Ceci n'est pas le cas. Les modèles climatiques se fondent sur les lois physiques et contiennent des processus observés. De plus, des influences externes, telles que le rayonnement solaire incident et les concentrations de gaz à effet de serre, sont prédéfinies. Dans d'anciens modèles climatiques, il fallait corriger certains processus (corrections dites « de flux »), parce qu'ils conduisaient avec le temps à des développements irréalistes. Dans la plupart des modèles utilisés aujourd'hui, ces corrections ne sont plus nécessaires. Des adaptations du modèle, pour obtenir des résultats correspondant le mieux possible aux mesures, sont effectuées aujourd'hui avant tout pour des processus pris isolément. Il n'est toutefois guère possible de modifier ainsi de façon ciblée le résultat de l'ensemble du modèle et l'évolution climatique résultante. Les résultats les plus importants qui peuvent être tirés des modèles et qui sont aussi observés dans la réalité découlent de la physique et de processus connus et ne sont pas donnés à l'avance : ces résultats décrivent notamment le réchauffement global de l'atmosphère, l'humidité relative constante, l'augmentation de la teneur de l'atmosphère en vapeur d'eau, la concentration spatiale et temporelle des précipitations, la pénétration de chaleur dans l'océan, le recul de la couverture de glace arctique ou la montée du niveau de la mer.

Comment vérifier des modèles climatiques ?

Les modèles climatiques combinent une grande variété de processus très complexes. Certains de ces processus – par exemple les propriétés radiatives de gaz – peuvent être simulées et mesurées en laboratoire. En revanche, les changements de l'effet de serre ne peuvent pas être déterminés en laboratoire. L'effet de serre atmosphérique est en réalité beaucoup plus complexe que l'image fortement simplifiée de la « serre ». Il s'agit d'une absorption et émission permanentes de rayonnement par des molécules de gaz dans des couches d'air qui deviennent toujours plus froides et plus ténues avec l'altitude. De telles conditions ne peuvent guère être reproduites en laboratoire ni saisies en détail dans l'atmosphère réelle au moyen d'appareils sophistiqués de mesure du rayonnement. Nous sommes donc dépendants de calculs mathématiques et physiques compliqués déjà à propos de l'effet de serre. Et ce dernier n'est qu'un parmi de nombreux processus. Toutefois, nous pourrions comparer les résultats des modèles climatiques avec la réalité mesurée, donc p.ex. la température globale moyenne, en faisant calculer le passé aux modèles. Ceci n'est cependant possible que si nous avons suffisamment de mesures fiables au sujet du passé. Le problème est que les mesures deviennent de moins en moins fiables et de moins en moins abondantes plus nous reculons dans le passé. A ceci s'ajoute que les techniques de mesure et les appareils ont changé avec le temps. C'est pourquoi nous ne savons souvent pas si des changements des valeurs climatiques mesurées reflètent des processus atmosphériques réels ou sont à attribuer à des changements des techniques de mesure ou à des problèmes liés aux méthodes de dépouillement et interprétation des mesures (ou aux deux). Lorsqu'on compare les valeurs mesurées avec celles des modèles climatiques et constate des différences, il n'est pas clair de prime abord si c'est le modèle qui est « faux » ou si c'est la mesure. Mais il y a aussi des fluctuations naturelles à l'aide desquelles la qualité de modèles climatiques peut être vérifiée. L'éruption du Pinatubo en juin 1991 a entraîné un refroidissement planétaire d'environ 0.4 °C. Or des modèles

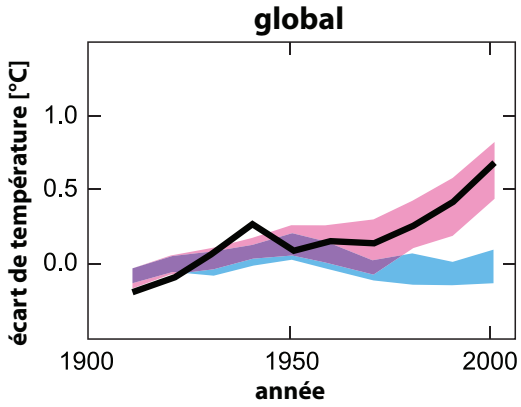

Figure 2:
Évolution de la température globale à la surface de la Terre au 20e siècle, calculée à l'aide de modèles (barre rose) et mesurée (trait noir). La barre bleue correspond aux modélisations sans influence humaine sur les concentrations de gaz à effet de serre.
(source : GIEC RE4 GTI)

climatiques ont prévu correctement ce refroidissement peu après l'éruption.

Des modèles peuvent-ils être « meilleurs » que des mesures ?

En ce qui concerne la température à la surface de la Terre, les valeurs mesurées à partir du milieu du 19e siècle semblent être à peu près fiables, du moins à l'échelon planétaire. Certaines mesures locales comportent certes des erreurs – tant dans le sens positif que négatif – mais ces fautes se compensent toutefois en grande partie si l'on effectue une moyenne globale. En outre, pour chaque station de mesure, seul l'écart par rapport à la température moyenne est utilisé, si bien que des erreurs systématiques (constantes) lors de la mesure, dues p.ex. à de mauvais réglages des instruments ou à des influences environnementales, n'ont guère d'effet. Du fait que les températures sont semblables sur des distances relativement grandes, des erreurs grossières peuvent être éliminées par des comparaisons entre stations voisines. Il apparaît aussi, par exemple, que l'effet d'îlots de chaleur urbains n'a pas une grande influence, car les valeurs relatives au réchauffement planétaire ne changent pas substantiellement si le calcul ne prend en compte que des stations en zone rurale. La température globale moyenne semble donc convenir pour vérifier la qualité des modèles climatiques. Dans la figure 2, différents résultats de modèles (représentés comme barre rose englobant le domaine des différentes modélisations) sont comparés à la température mesurée (ligne noire). Les résultats de modèles sans influence humaine sont représentés en bleu. La correspondance est assez bonne – à une exception près pendant les années 1940. La raison de cette divergence est restée longtemps obscure. Puis l'on a constaté que la technique de mesure des températures des océans, qui était saisie le plus souvent à partir de bateaux, a fortement changé pendant et après la Seconde Guerre mondiale. Une étude [1] est parue récemment qui essaie de corriger cette irrégularité. La correction qui s'ensuit de la température globale moyenne rapproche les mesures des résultats des modèles, sans toutefois conduire à un recouvrement complet. Mais cet exemple montre que des divergences avec les valeurs mesurées ne doivent pas être attribuées forcément à des lacunes des modèles. Ceci est encore plus nettement le cas pour les températures dans la basse atmosphère, calculées à partir de données satellitaires. A cet égard, on a enregistré pendant des années une grande différence entre les tendances des données satellitaires de température et les modèles climatiques, les données satellitaires indiquant un réchauffement beaucoup plus faible. Il y a quelques années, il est apparu que le programme pour le traitement des données satellitaires contenait une faute élémentaire – une erreur de signe. Une fois cette faute corrigée, la différence entre données satellitaires et modélisations a pratiquement disparu. Ces dernières années, lors de divergences de ce genre, on a trouvé souvent l'erreur dans les mesures, et non pas dans les modèles – ceci même pour la température, qui est pourtant relativement simple à mesurer. Pour d'autres valeurs de mesure – comme p.ex. les précipitations, qui sont distribuées géographiquement de façon beaucoup moins homogène, ou l'humidité, au sujet de laquelle il existe beaucoup moins de bonnes données – il est encore bien plus difficile de vérifier les modèles à l'aide de mesures.

Le hasard complique les comparaisons

Un autre problème réside dans le fait que le climat de la Terre présente, à part les influences extérieures, de nombreuses fluctuations fortuites, et ceci pas seulement durant des jours, mais aussi des années, voire des décennies pour certains aspects. S'il existait de nombreuses Terres identiques, dont les atmosphères ne présenteraient au départ que des différences infimes, il s'ensuivrait – dans une fourchette définie par les influences

extérieures – autant d'évolutions climatiques différentes. L'évolution observée du climat sur notre planète est donc une variante bien définie parmi de nombreuses autres possibles. On ne peut donc pas admettre qu'un modèle climatique tombe exactement sur cette variante : il suit seulement l'une des nombreuses évolutions possibles. C'est pourquoi on fait tourner si possible le même modèle de nombreuses fois et calcule ensuite la moyenne des résultats. Et c'est pourquoi aussi une comparaison n'a de sens que si les valeurs utilisées, tirées des modèles, sont des moyennes sur une longue période, de vingt à trente ans, et non pas sur une année ou une décennie isolée. Il s'est avéré aussi que la moyenne de différents modèles est souvent plus proche de la réalité que chacun des modèles pris isolément.

Comparaison entre modèles

Une possibilité de déterminer le degré d'incertitude des modèles est de les comparer entre eux. Les modèles sont programmés différemment et prennent en compte en partie d'autres processus, et ceci de différentes manières. Des divergences ou correspondances entre les modèles donnent ainsi des indications sur les incertitudes par rapport à des aspects les plus divers. Toutefois tous les modèles reposent sur plus ou moins les mêmes connaissances et processus. Il serait théoriquement possible qu'il existe d'importants processus inconnus qui feraient défaut dans tous les modèles. Ceci est cependant improbable, car les modèles existants, qui incluent les processus connus, reproduisent dans les grandes lignes correctement – autant que cela est vérifiable – la réalité observée. Un processus inconnu, qui changerait substantiellement les résultats des modèles, accroîtrait les divergences par rapport à la réalité. Il faudrait donc qu'il existe un autre processus inconnu qui compense cette divergence par pur hasard, ce qui est improbable.

Quelles informations les modèles climatiques fournissent-ils, et lesquelles pas ?

Les modèles climatiques sont encore loin d'être parfaits aujourd'hui. De nombreux processus n'y sont pris en compte que de façon encore très rudimentaire. Et les modèles actuels ne reproduisent pas encore correctement plusieurs phénomènes, p.ex. El Niño ou la distribution des températures à la surface de la mer sous les tropiques. La simulation de la formation des nuages et de leurs transformations est depuis des années l'un des plus grands problèmes de la modélisation et reste encore en grande partie non résolue. Les modèles reproduisent néanmoins relativement bien, à supposer qu'ils soient connus, les changements climatiques à long terme et à grande échelle dans le passé, du moins dans les grandes lignes. Les modèles climatiques ont prévu aussi assez bien par exemple le refroidissement planétaire provoqué par l'éruption du Pinatubo. Ils semblent donc être à la hauteur pour rendre compte, au moins dans les grandes lignes, des effets de changements du régime radiatif dans les conditions actuelles. Cependant, il n'est pas de prime abord évident qu'il en sera encore ainsi à l'avenir, car les fluctuations dans le passé, qui peuvent être assez bien établies par des mesures ou des reconstitutions, se déroulent dans un cadre relativement étroit en comparaison de ce que nous attendons dans l'avenir. La question est de savoir si les modèles sont encore à peu près fiables lorsque les concentrations de gaz à effet de serre sont beaucoup plus élevées, que la banquise arctique et les glaciers disparaissent, que les grandes calottes glaciaires se désagrègent et que la végétation change. Ce sont des processus et conditions pour lesquelles nous trouvons certes des parallèles dans le passé lointain, mais nous avons trop peu de données et de connaissances solides sur ces temps reculés. En outre, les changements se déroulent aujourd'hui beaucoup plus vite qu'alors, c'est-à-dire en cent ans au lieu de dizaine de milliers ou millions d'années.

« Les modèles climatiques sont faux, mais utiles »

Les modèles climatiques peuvent donc fournir des indications importantes et utiles pour certains aspects, mais pas pour d'autres. Ou comme l'expriment parfois des climatologues : « Les modèles climatiques sont faux, mais quand même utiles. » Cela signifie que les modèles climatiques – comme d'ailleurs tous les modèles et théories scientifiques – ne reproduiront jamais la réalité complète. En ce sens, les résultats d'une modélisation climatique sont donc toujours « faux », mais ils fournissent quand même des résultats importants et aident à comprendre et simuler certains aspects et processus. Un modèle de prévision météorologique est aussi « faux » en ce sens, car il néglige de nombreux processus, mais il est assez « juste » pour prévoir le temps des trois prochains jours. Mais lors de l'interprétation des résultats de modèles climatiques, il est très important de savoir où se situent leurs limites, quels résultats sont dignes de confiance et lesquels ne le sont pas.

En dépit des nombreuses incertitudes, nous pouvons tirer des modèles de nombreuses indications utiles. Comme nous l'avons vu, les résultats sont relativement bons pour l'évolution à long terme des températures moyennes planétaires et probablement aussi continentales. Le domaine d'incertitude qui subsiste est attribuable pour moitié environ aux lacunes du savoir relatif à l'évolution

de la couverture nuageuse et aux changements du cycle du carbone terrestre (changements de l'absorption et du rejet de CO_2 par les plantes et les océans) ; l'autre moitié tient à l'incertitude à l'égard de l'ampleur des émissions de gaz à effet de serre dans l'avenir.

Bien que les modèles actuels aient toujours encore du mal à reproduire correctement le cycle de l'eau, quelques résultats au sujet de processus concernant les précipitations en général sont dignes de confiance : dans la plupart des modèles, il est manifeste, et aussi plausible du point de vue de la physique, que les précipitations se concentreront à l'avenir de façon accrue là où il pleut beaucoup déjà aujourd'hui. En d'autres termes, il pleuvra encore davantage et plus fort dans les régions qui sont aujourd'hui déjà très pluvieuses, et il fera encore plus sec là où le climat est déjà sec aujourd'hui. Il semble également clair que la zone subtropicale s'agrandira vers le nord. C'est ainsi que des régions telles que l'espace méditerranéen, situées aujourd'hui côté pôle au bord de la zone subtropicale, doivent s'attendre à une intensification du climat subtropical et à une forte augmentation du temps sec en été et en automne (fig. 3).

Les modèles présentent en revanche une grande lacune en ce qui concerne la simulation des courants ou circulation atmosphériques. Des modifications de la circulation, tant lors de phénomènes saisonniers – comme p.ex. El Niño – que pour des configurations de courte durée, sont insuffisamment couvertes par les modèles ou simulées de manière très différente selon les modèles. Or ce sont précisément ces changements de la circulation qui déterminent en grande partie les effets régionaux du réchauffement climatique global. Et ce sont ces changements régionaux qui nous concernent effectivement, nous les êtres humains, et qui sont déterminants p.ex. pour les mesures d'adaptation. Il existe donc à cet égard un grand besoin d'amélioration.

Comment améliorer encore les modèles climatiques ?

Plusieurs domaines font l'objet de travaux visant à améliorer les modèles climatiques. Il y a d'une part la définition spatiale, c'est-à-dire la distance entre les points du réseau. Plus la distance est courte, meilleure sera la prise en compte de processus à petite échelle. La résolution dépend directement de la capacité de calcul de l'ordinateur. Elle doit être choisie de manière à ce que les calculs sur plusieurs centaines d'années puissent être effectués en un temps raisonnable (c'est-à-dire en quelques semaines). Peut-être pourrait-on trouver aussi dans les méthodes mathématiques utilisées pour le calcul des améliorations qui raccourcissent le temps de calcul et permettent ainsi d'accroître la résolution. Avec une résolution nettement meilleure, c'est-à-dire des distances entre les points du réseau de seulement quelques kilomètres, des processus importants peuvent être pris en compte directement par le modèle et n'ont plus besoin d'être évalués indirectement par calculs de relation.

Le problème de la résolution spatiale peut être résolu aujourd'hui en partie par des modèles climatiques régionaux. Ces derniers ne simulent que l'atmosphère d'une région, par exemple celle au-dessus de l'Europe, avec des distances beaucoup plus petites entre les points du réseau. Ils reprennent les valeurs de modèles climatiques globaux au bord de la région et poursuivent ensuite le calcul dans la région avec des réseaux à mailles plus fines. Ils offrent ainsi une meilleure résolution. Le problème des changements à grande échelle des perturbations atmosphériques ou d'El Niño n'est toutefois pas résolu de cette manière, car ceux-ci sont repris des modèles globaux. Il

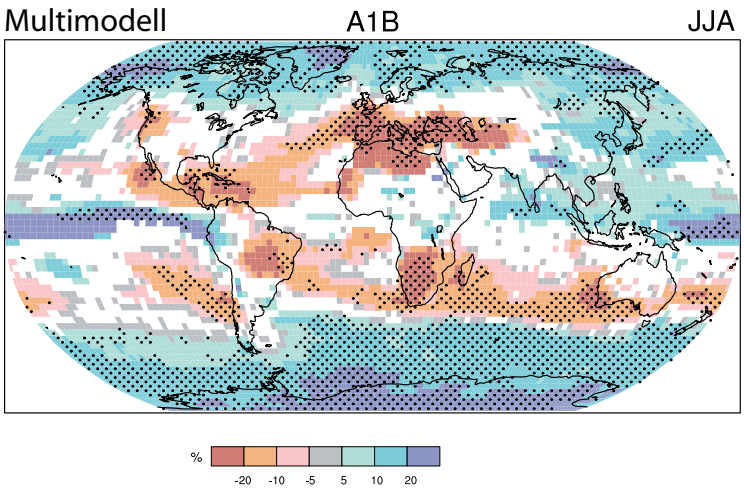

Figure 3:
Modélisation des changements des précipitations à la fin du 21e siècle en comparaison de la fin du 20e siècle.
(source: GIEC RE4 GTI)

Personnes de contact :
Prof. Martin Beniston
Institut des sciences de l'environnement (ISE)
Université de Genève, 1227 Carouge / Genève
martin.beniston@unige.ch

Prof. Reto Knutti
Institut für Atmosphäre und Klima (IAC)
ETH Zürich, 8092 Zürich
reto.knutti@env.ethz.ch

Prof. Thomas Stocker
Physikalisches Institut – Klima- und Umweltphysik
Universität Bern, 3012 Bern
stocker@climate.unibe.ch

s'avère que pour de nombreux aspects, les résultats de ces modèles régionaux dépendent encore fortement des particularités du modèle global qui fournit les données de base. Il faut attendre de voir si le problème des changements de la circulation peut être mieux abordé avec une meilleure résolution et/ou d'autres améliorations des modèles globaux.

Une autre possibilité d'amélioration se présente pour la simulation de processus pris isolément, en particulier ceux qui ne peuvent être décrits qu'indirectement : elle réside dans les corrélations observées avec des valeurs de mesure connues. Des progrès sont régulièrement obtenus à cet égard, mais considérés dans leur contexte général, ce ne sont toutefois que des avancées relativement petites.

Pour conclure

Les modèles climatiques couvrent les processus réels à grande échelle dans l'atmosphère et l'océan et fournissent des évaluations quantitatives des changements à venir du climat si la composition de l'atmosphère, surtout sa teneur en gaz à effet de serre et en particules solides, est modifiée. Bien que des tendances importantes puissent être évaluées aussi à l'échelon régional, des incertitudes considérables subsistent, notamment à propos des grandeurs influencées par le cycle de l'eau. Malgré tout, des évolutions se dessinent clairement, par exemple l'augmentation des précipitations aux hautes latitudes et sous les tropiques, ou le temps plus sec dans l'espace méditerranéen. Même s'il existe encore de nombreuses possibilités d'amélioration des modèles, nous ne pourrons jamais prévoir exactement les conditions futures à l'échelon local, ceci en raison de la grande complexité du système climatique, de l'évolution inconnue des émissions de gaz à effet de serre et d'une part de hasard qui se superpose à tous les développements. Il existe, comme dans toutes les questions qui touchent à l'avenir, une certaine incertitude dans le contexte de laquelle des décisions doivent être prises. Grâce à la connaissance des lois physiques et de nombreux processus du système climatique, des modèles sont à disposition comme soutien objectif à la prise de décision. C'est au monde politique et à la société de prendre les décisions en relation avec les évolutions possibles que les modélisations mettent en évidence.

Citation :
[1] Kennedy et al., 2011, Journal of Geophysical Research, Vol. 116, D14104 (download: ftp://ftp.astr.ucl.ac.be/publi/2011_08_03-08h24-hugues.goosse-13.pdf)

Pour en savoir plus :
Knutti R., 2008: «Should we believe model predictions of future climate change?» Philos. Transactions Roy. Soc. A, Vol. 366: S. 4647–4664 (téléchargement : www.iac.ethz.ch/people/knuttir/papers/knutti08ptrs.pdf)