

Source : <https://global-climat.com/2018/07/29/les-modeles-climatiques-actuels-pourraient-sous-estimer-les-changements-a-long-terme/>

Téléchargement 03 08 2018

# Les modèles climatiques actuels pourraient sous- estimer les changements à long terme

Par [Johan Lorck](#) le 29 juillet 2018

**Une analyse des périodes chaudes passées questionne la capacité des modèles à simuler le fonctionnement du climat sur le long terme.**

A l'échelle du centenaire au millénaire, les différences entre les observations paléoclimatiques et les résultats des modèles continue d'intriguer. La comparaison est difficile car dans le passé, divers facteurs, notamment les gaz à effet de serre et les paramètres astronomiques, ont eu un poids variable. Les chercheurs ont jusqu'à présent pu constater que les données paléo suggèrent une hausse des températures et une élévation du niveau de la mer plus importantes que les modèles. On parle ici de Sensibilité Climatique du Système Terre, une évaluation qui prend en compte les rétroactions lentes, à l'échelle du millénaire. Comme celles liées au cycle du carbone ou à l'albédo modifié par les calottes glaciaires.

Une équipe internationale de scientifiques originaires de 17 pays [a publié](#) dans la revue *Nature Geoscience* une nouvelle analyse qui passe en revue les périodes chaudes passées comparables à la situation actuelle. Il en ressort qu'un réchauffement global, même limité à 2°C au-dessus du niveau préindustriel, a pu entraîner dans le passé un déplacement rapide des zones climatiques et des écosystèmes. Les données paléo montrent que les calottes polaires pourraient se réduire significativement pour des périodes de plusieurs milliers d'années. Un réchauffement rapide des pôles relâcherait un surplus de gaz à effet de serre, et le niveau de la mer monterait alors de plusieurs mètres au cours des prochains millénaires. Ces observations montrent que les modèles climatiques risquent de sous-estimer les changements à long terme. En raison de l'absence de certains processus de rétroaction, les données paléo indiquent une sensibilité climatique de long terme deux fois plus importante.

Alors que les projections des modèles climatiques semblent fiables pour des changements d'amplitude modérés au cours des prochaines décennies, les données paléo s'en distinguent surtout pour les projections de réponse à long terme.

Plusieurs périodes de temps ont été identifiées au cours des 3,5 derniers millions d'années comme ayant été de 0,5 à 2°C plus chaudes que l'époque préindustrielle. Ce qui nous intéresse directement au regard de la situation présente. Les archives révèlent des réchauffements plus marqués aux hautes latitudes que dans les régions tropicales, avec un effet d'amplification plus important que dans les simulations issues des modèles.

L'étude confirme que la migration des écosystèmes et des zones climatiques s'effectuera en général vers les pôles, ou vers des zones de plus haute altitude. Le dégel du permafrost pourrait en outre relâcher du gaz carbonique et du méthane additionnels, ce qui causerait un réchauffement

supplémentaire. Les observations des époques chaudes passées suggèrent qu'avec seulement 2°C de plus, le CO<sub>2</sub> additionnel issu du permafrost et des sols ne peut être négligé.

Un réchauffement même limité de 1,5 à 2°C au-dessus du niveau préindustriel sera suffisant pour causer une fonte substantielle du Groenland et de l'Antarctique à long terme, et engendrer une hausse du niveau de la mer de plus de 6 mètres qui persistera des milliers d'années. Des vitesses de montée du niveau de la mer supérieures à celles de ces dernières décennies sont donc probables.

Rappelons qu'en fonction des scénarios d'émissions de gaz à effet de serre, les projections de température globale pour la fin du siècle vont de 1,6°C (entre 0,9 et 2,4°C) avec le scénario RCP 2.6 à 4,3°C (de 3,2 à 5,5°C) pour le scénario RCP 8.5. Les modèles prévoient un réchauffement plus important sous les hautes latitudes, la température de l'Arctique étant amplifiée d'un facteur deux à trois. Ce qui signifie un réchauffement de 3°C (RCP 2.6) à 12°C (RCP 8.5) dans cette région.

D'après ce qui a eu lieu dans le passé, on peut penser que même si les émissions sont réduites, le réchauffement continuera au-delà de 2100 et pendant des siècles, voire à l'échelle millénaire. Ceci en raison de rétroactions à long terme liées à la perte de glace et au cycle du carbone.

Les modèles sont calibrés sur les récentes observations, simplifiant certains processus (comme les nuages et les aérosols) ou négligent des processus qui sont importants sur le long terme (comme la dynamique des calottes de glace et le cycle du carbone).

Des exemples de périodes chaudes avec des géographies similaires à celle d'aujourd'hui peuvent être trouvées pendant l'Optimum thermique Holocène (11 000-5000 ans avant aujourd'hui) et le dernier Interglaciaire (LIG, 129 000-116 000 ans avant aujourd'hui). Le LIG peut aussi être comparé à l'interglaciaire Marine Isotope Stage (MIS) 11.3 (il y a 410 000 à 400 000 ans) pour lequel des reconstructions climatiques existent aussi.

Ces périodes de réchauffement ont été marquées par des paramètres orbitaux différents, et donc des distributions spatiales et saisonnières différentes d'insolation. Les concentrations de gaz à effet de serre étaient proches des niveaux préindustriels et leur température dans la fourchette de ce qui est prévu dans un avenir proche.

Pour examiner les climats passés avec des concentrations de gaz à effet de serre supérieures à 450 ppm (comme prévu pour RCP2.6), nous devons regarder plus loin dans le temps, vers la période chaude du Pliocène moyen (MPWP), il y a 3.3-3.0 millions d'années. Le CO<sub>2</sub> atmosphérique se situait alors entre 300 et 450 ppm. Des intervalles encore plus anciens, tels que l'optimum climatique précoce de l'Eocène (EECO, ~ 53-51 Ma), offrent l'opportunité d'étudier des scénarios extrêmement riches en CO<sub>2</sub> (900-1,900 ppm) comparables au scénario RCP8,5 (> 1200 ppm). Cependant, ces deux périodes avaient des configurations continentales significativement différentes d'aujourd'hui, ce qui rend la comparaison avec l'époque actuelle plus délicate.

Le réchauffement de surface de l'Optimum thermique Holocène ( HTM) par rapport aux conditions préindustrielles fut en moyenne inférieur à 1°C et s'exprime principalement dans les proxies de l'hémisphère nord qui sont sensibles à la saison chaude. Notons que c'est la période dont la reconstruction est la plus détaillée car basée sur la disponibilité des données et des approches plus précises de la chronologie.

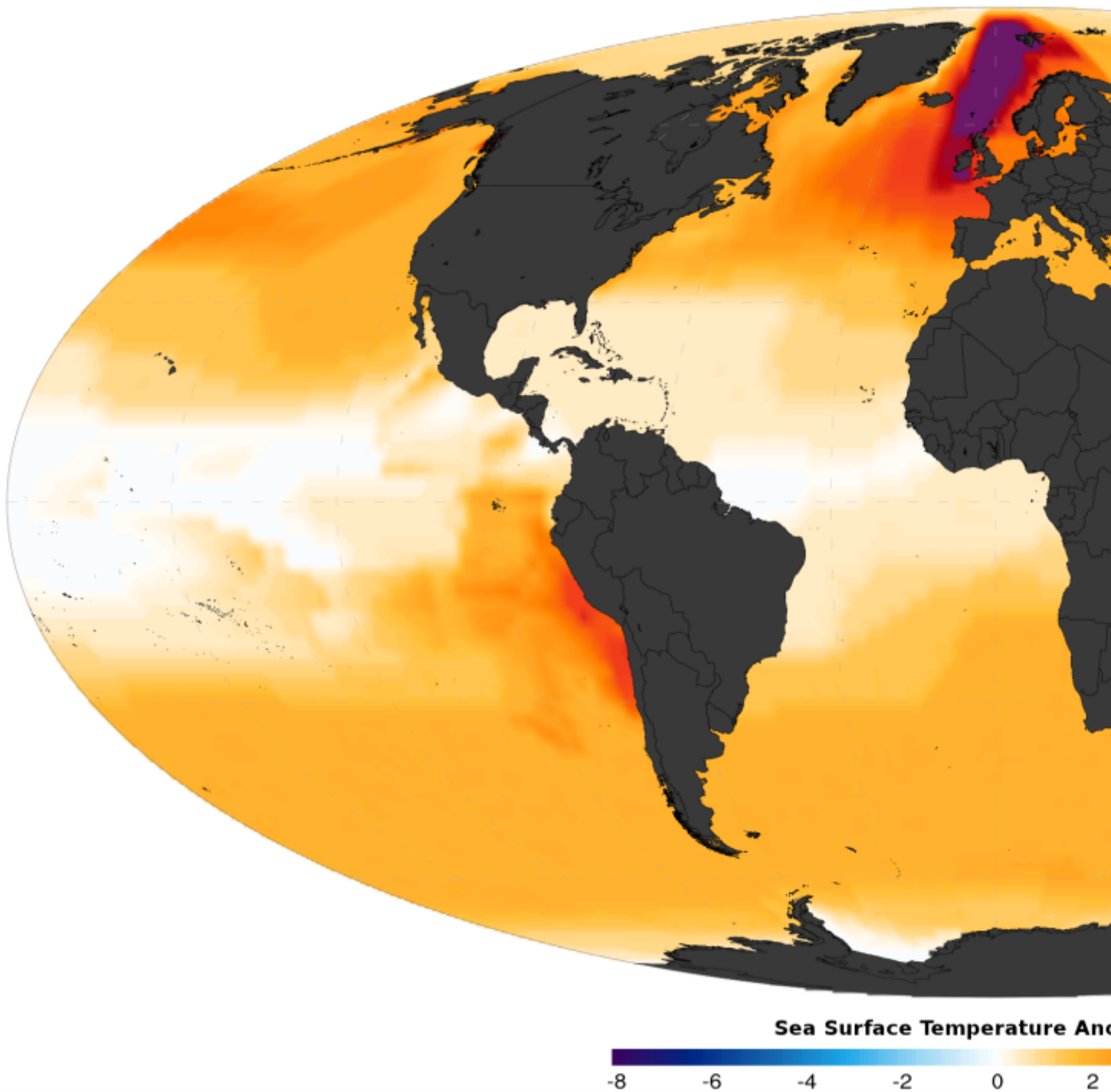
Le HTM s'est produit alors que la couverture de glace et le niveau de la mer n'avaient pas atteint l'équilibre postglaciaire et que les calottes glaciaires continentales en Amérique du Nord et en

Scandinavie continuaient à reculer. Il est probable que le réchauffement du HTM soit régional, plutôt que global. Les données de carottes de glace montrent que le forçage radiatif dû aux gaz à effet de serre pendant le HTM fut légèrement inférieur aux valeurs préindustrielles. Comparativement aux conditions préindustrielles, la configuration orbitale du HTM a grandement augmenté l'ensoleillement estival dans les hautes latitudes septentrionales et réduit l'ensoleillement hivernal sous le cercle polaire arctique. En moyenne annuelle, l'insolation du HTM fut plus élevée aux latitudes élevées, mais légèrement inférieure dans les tropiques. La température du globe et des hautes latitudes auraient été plus élevées (au moins pendant l'été) qu'aujourd'hui, tandis que les climats des basses latitudes étaient légèrement plus froids, ce qui correspond au forçage orbital.

La température moyenne à la surface de la mer (SST) du LIG (vers – 125 ka) a probablement été au moins 0,5°C plus élevée que celle de la période préindustrielle. En utilisant une échelle de SST à la température de surface globale de 1,6, cela implique que la température de surface globale était probablement d'environ 0,8 C plus chaude que la température préindustrielle et suivait un fort maximum induit orbitalement dans l'hémisphère nord. Avec une insolation à 65° de latitude nord encore plus importante que pendant l'Holocène. Il y a eu au LIG une augmentation des concentrations de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère jusqu'à des niveaux légèrement supérieurs à ceux de l'époque préindustrielle. Comme dans le HTM, il existe d'importantes différences spatiales et temporelles dans l'expression du réchauffement. Les régions extratropicales ont connu un réchauffement plus prononcé, les régions tropicales un faible réchauffement ou même un léger refroidissement.

Les reconstructions de température montrent un signal d'amplification polaire prononcé dans l'Arctique pendant le LIG, des températures supérieures de 1-4 °C pour les océans des hautes latitudes nord et des températures à la surface des terres supérieures de 3-12°C par rapport à la période préindustrielle. Comme pour le HTM, le réchauffement du LIG causé par une insolation plus élevée en été semble être plus représentatif du réchauffement régional des hautes latitudes.

Le Pliocène moyen (MPWP), il y a 3.3-3.0 millions d'années, a été soumis à un taux de CO<sub>2</sub> élevé (jusqu'à 450 ppm) par rapport au HTM et au LIG. La concentration de CO<sub>2</sub> à cette époque était la plus semblable au scénario RCP2.6, et de trois à quatre fois inférieur aux concentrations prévues d'ici à l'an 2100 pour le scénario RCP8.5. Les modèles climatiques simulent une augmentation des températures tropicales de 1,0-3,1 ° C pour le RCP2,6 avec un forçage du CO<sub>2</sub> de 405 ppm, généralement en accord avec les reconstructions de proxy MPWP aux basses latitudes. Une forte amplification polaire est observée pour le MPWP. Par exemple, les proxies provenant de l'Atlantique nord et du nord-est de la Russie indiquent une augmentation de la température de l'air de surface de 8°C pendant le MPWP. Ces changements régionaux de température sont similaires au réchauffement projeté à 2100 pour le scénario RCP8.5, en dépit de l'augmentation beaucoup plus faible du CO<sub>2</sub> pendant le MPWP, et suggèrent que les modèles actuels pourraient sous-estimer la réponse de l'Arctique aux concentrations de CO<sub>2</sub> accrues.



### Anomalies des températures de surface de la mer au Pliocène.

Bien que les glaciers alpins, certaines parties de l'inlandsis groenlandais et certains secteurs de l'Antarctique aient eu moins de glace au cours du maximum Holocène qu'aujourd'hui, le niveau de la mer était encore de 26 m à 9 m inférieur au niveau actuel ce qui implique la présence de restes des calottes glaciaires continentales. La glace du Groenland s'est rétractée au minimum entre 5 et 3 ka, peut-être une réponse lente au réchauffement du HTM.

Les reconstructions globales du niveau de la mer de 6 à 9 m plus élevées qu'aujourd'hui durant le LIG nécessitent un recul substantiel d'au moins une des calottes glaciaires du Groenland et de l'Antarctique, mais probablement une réduction significative des deux par rapport à leur volume actuel. Alors que les dernières simulations de calottes glaciaires et de modèles climatiques permettent un recul substantiel de l'inlandsis antarctique occidental et potentiellement de certaines parties de

l'Antarctique oriental, les données d'observation directes manquent encore. La calotte groenlandaise a également été réduite de manière significative pendant le réchauffement du LIG et celui du MIS11.3 avec pour ce dernier une calotte glaciaire résiduelle dans la partie nord du Groenland. La datation de l'exposition cosmogénique des matériaux sous-glaciaires sous Summit, au Groenland, suggère la perte d'une partie de calotte groenlandaise durant certains intervalles chauds du Pléistocène.

Des calottes glaciaires existaient au Groenland et en Antarctique pendant le MPWP, mais leur configuration est incertaine. Une élévation du niveau de la mer reconstituée de 6 m ou plus implique une quantité de glace globale nettement inférieure à celle présente pendant le MPWP. Les résultats des modèles suggèrent une calotte groenlandaise significativement réduite, alors que les données géologiques montrent des signes de déglaciation dans l'ouest de l'Antarctique et potentiellement aussi sur le bassin sous-glaciaire de Wilkes dans l'Antarctique de l'Est.

Le forçage radiatif au cours des 800 000 dernières années par les gaz à effet de serre (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> et N<sub>2</sub>O) fut souvent plus faible et rarement plus élevé que les valeurs préindustrielles. Les taux d'augmentation des gaz à effet de serre beaucoup plus lents. Sur la période 1987-2016, les concentrations annuelles mondiales de gaz à effet de serre ont augmenté en moyenne de 19 ppm par décennie pour le CO<sub>2</sub> (avec des taux de croissance généralement croissants sur cet intervalle de 30 ans), de 57 ppb par décennie pour le CH<sub>4</sub> et de 8 ppb par décennie pour le N<sub>2</sub>O. Lors de la dernière déglaciation, les données de carottes de glace à haute résolution (WAIS Divide et Taylor Glacier, Antarctica) révèlent des hausses 10 fois plus lentes (~ 2 ppm par décennie pour le CO<sub>2</sub>, ~ 20 ppb par décennie pour le CH<sub>4</sub> et ~ 1 ppb par décennie pour le N<sub>2</sub>O).

Les analyses de la variabilité du CO<sub>2</sub> et de la température de l'hémisphère Nord au cours du dernier millénaire suggèrent une libération nette de CO<sub>2</sub> due au réchauffement de la biosphère terrestre (2-20 ppm par °C) sur des échelles décennales à centennales. Pendant les périodes de réchauffement à court terme en période préindustrielle (lorsque le CO<sub>2</sub> était plutôt constant), la libération nette de carbone terrestre due à la respiration accrue du sol et de la biomasse semble compenser la croissance des plantes associée aux effets de fertilisation par des températures plus élevées. Une réponse à court terme similaire peut être attendue pour le réchauffement régional futur.

Le taux d'accumulation de la tourbe est positivement corrélé avec la température d'été, mais il s'agit d'un processus relativement lent. Les réservoirs de tourbe ont progressivement augmenté au cours de l'Holocène, entraînant une séquestration à long terme du carbone.

Les tourbières se développeront probablement dans un monde plus chaud de 2°C sur des échelles de temps centennales à millénaires, bien que la taille de ce puits soit difficile à estimer. Si le réchauffement est rapide (décennal à centenaire), le carbone peut être libéré par la respiration plus rapidement qu'il ne peut s'accumuler par la croissance de la tourbe. Si le réchauffement est plus lent (du centenaire au millénaire), la croissance de la tourbe peut dépasser les pertes respiratoires, produisant un puits de carbone net.

Un dégel généralisé du pergélisol et une augmentation de la fréquence et / ou de la gravité des feux pourraient contrecarrer les effets de puits de carbone de la croissance de la tourbe à long terme. Aujourd'hui, environ 1.330-1.580 gigatonnes de carbone (GtC) sont stockées dans des sols gelés pérennes, dont ~ 1.000 GtC (plus que l'inventaire de carbone atmosphérique moderne) sont situés dans les 0-3 m supérieurs du sol. Ce carbone gelé est susceptible de dégeler la couche supérieure de pergélisol lors du réchauffement futur et les risques de libération de carbone peuvent être évalués dans

les relevés de carottes de glace.

Bien que les données détaillées soient limitées, la variation observée du CO<sub>2</sub> et du CH<sub>4</sub> dans les carottes de glace suggère que le risque de libération prolongée de carbone du pergélisol est faible si le réchauffement peut être limité. Les rejets additionnels de CO<sub>2</sub> et de CH<sub>4</sub> au début des interglaciaires (s'ils étaient liés au réchauffement du pergélisol) n'ont pas été suffisants pour déclencher un emballement ou « runaway greenhouse warming ».

Si le réchauffement futur est beaucoup plus élevé que celui observé pour les interglaciaires passés, le dégagement de carbone du permafrost demeure en revanche une préoccupation sérieuse qui ne peut être évaluée sur la base des données paléo présentées dans l'étude.

Le risque de rejets massifs massifs de CH<sub>4</sub> ou de CO<sub>2</sub> qui pourraient entraîner un effet de serre incontrôlé dans des scénarios de réchauffement modérés de RCP2.6 semble limité. Cependant, la quantité de carbone libérée par le pergélisol sous forme de CO<sub>2</sub> peut atteindre jusqu'à 100 GtC . On ne peut pas exclure la libération nette de carbone terrestre si le réchauffement futur est significativement plus rapide ou plus important que celui observé au cours des interglaciaires passés, concluent les auteurs de l'étude.

Les augmentations passées de CO<sub>2</sub> étaient principalement dues aux changements dans les pompes physiques et biologiques de l'océan et aux interactions entre les océans et les sédiments, ainsi qu'au cycle d'altération des roches. La reconstitution des réservoirs de carbone océanique au cours des épisodes chauds passés reste un défi, et le risque de réduction significative de l'absorption du CO<sub>2</sub> par l'océan ou de perturbation de la circulation méridienne Atlantique (AMOC) à l'avenir avec des rétroactions sur le cycle du carbone n'est pas bien défini.

Les modélisations de la calotte groenlandaise suggèrent une déglaciation au-dessus d'un certain seuil de température, mais le seuil dépend du modèle. Les relevés marins des rejets de sédiments au sud du Groenland suggèrent que la calotte était sensiblement plus petite qu'actuellement pendant trois des cinq derniers interglaciaires avec une déglaciation presque complète du sud du Groenland durant MIS11.3. Ceci suggère que le seuil de déglaciation du sud serait déjà dépassé avec une amplification de température polaire associée à un réchauffement global persistant de 2°C.

Les concentrations de radionucléides cosmogéniques dans le substrat rocheux à la base de Summit, au Groenland, ont été interprétées comme suggérant plusieurs périodes d'exposition de la calotte occidentale au cours du dernier million d'années. En revanche, l'âge de la glace basale au sommet du Groenland suggère un dôme de glace persistant du nord du Groenland au moins depuis un million d'années. Le dôme de glace du Groenland sud existait pendant le LIG mais a fondu quelque temps avant 400 ka. Les enregistrements marins suggèrent la persistance de glace dans l'est du Groenland pendant au moins les trois derniers millions d'années, ce qui impliquerait des seuils de température différents pour la déglaciation des différentes parties du Groenland.

Des données observationnelles suggèrent des épisodes de recul important des secteurs marins de l'Antarctique de l'ouest. On sait maintenant que les secteurs marins de la calotte glaciaire de l'Antarctique de l'Est présentent aussi des risques d'effondrement. Le principal indicateur d'une contribution substantielle de l'Antarctique à l'élévation globale du niveau de la mer dans les interglaciaires antérieurs reste les archives du niveau de la mer. La survie de certaines parties du Groenland lors du LIG nécessite un recul significatif d'au moins une partie de l'Antarctique. Les

reconstructions des hauts niveaux de la mer du Pliocène nécessitent une contribution substantielle de l'Antarctique de l'ouest et de l'est, mais sont soumises à des incertitudes majeures.

La hausse du niveau de la mer s'est accélérée au cours du siècle dernier de 1,2 mm par an entre 1901 et 1990 à 3,0 mm au cours des deux dernières décennies. Les changements du niveau de la mer lors du LIG étaient probablement compris entre 3 et 7 mm par an (moyenne de 1 000 ans), avec une probabilité de 5% pour un taux supérieur à 11 mm par an. Par exemple, les récifs coralliens fossiles exposés de l'ouest de l'Australie suggèrent qu'après une période de stabilité du niveau de la mer (127 à 120 ka), le niveau de la mer a rapidement augmenté de 2,5 à près de 8,5 mètres, c'est-à-dire 6 mm par an. Les preuves indirectes de l'élévation du niveau de la mer à partir des mesures isotopiques de la mer Rouge lors du LIG permettent d'obtenir des taux de croissance allant jusqu'à 16 mm par an.

En conclusion, les données paléo montrent qu'un réchauffement de 1,5 à 2°C est suffisant pour déclencher une fonte substantielle à long terme de la glace au Groenland et en Antarctique et provoquer une élévation du niveau de la mer pouvant durer des millénaires.

Malgré les incertitudes significatives dans le climat et les reconstructions de CO<sub>2</sub> pour la plupart des intervalles chauds passés, cette sous-estimation est probablement due au fait que les modèles manquent ou simplifient potentiellement des processus clés.