



for a living planet

RÉTROACTIONS DU CLIMAT EN ARCTIQUE : LES IMPLICATIONS MONDIALES RÉSUMÉ EXÉCUTIF

Martin Sommerkorn & Susan Joy Hassol, Auteurs

Avec la contribution de : Mark C. Serreze & Julienne Stroeve, Cecilie Mauritzen, Anny Cazenave & Eric Rignot, Nicholas R. Bates, Josep Canadell & Michael Raupach, Natalia Shakhova & Igor Semiletov

Publié par le Programme Arctique du WWF International

DEPUIS QUELQUES DÉCENNIES, l'Arctique s'est réchauffé à peu près deux fois plus que le reste du globe. Le changement *climatique* d'origine anthropique a affecté l'Arctique plus tôt que prévu. La conséquence en est que le changement climatique est déjà en train de déstabiliser des systèmes importants de l'Arctique comme la glace de mer, la calotte glaciaire du Groenland ou les glaciers de montagne. Certains aspects du cycle du carbone de l'Arctique sont également modifiés, notamment par l'altération des propriétés des sols gelés et de la végétation et par le relargage croissant de méthane par les sols, les

“Le changement climatique d'origine anthropique a affecté l'Arctique plus tôt que prévu.”

“Il y a de plus en plus de preuves et une préoccupation croissante quant au fait que ces rétroactions commencent à accélérer le réchauffement mondial bien plus vite que les projections.”

lacs et les zones humides. L'impact de ces changements sur le système physique de l'Arctique, les systèmes biologiques et les hommes qui l'habitent est important, et on s'attend à ce qu'il s'amplifie au cours de ce siècle et au-delà.

Aux conséquences régionales du changement climatique en Arctique s'ajoutent les impacts mondiaux. Agissant comme le réfrigérateur de l'Hémisphère Nord, un Arctique gelé joue un rôle central dans la régulation du système climatique de la planète. Le climat de l'Arctique a des rétroactions importantes sur le système climatique planétaire. Nombre d'entre elles sont aujourd'hui altérées dans un

Arctique qui se réchauffe rapidement. Il y a de plus en plus de preuves et une préoccupation croissante quant au fait que ces rétroactions commencent à accélérer le réchauffement mondial bien plus vite que les projections qui sont aujourd'hui considérées par les décideurs politiques. Des observations récentes suggèrent fortement que le changement climatique pourrait bientôt pousser certains systèmes à leur point de rupture, avec des implications mondiales. Par exemple, la chaleur supplémentaire absorbée par un océan de plus en plus dépourvu de glace en été accélère déjà le réchauffement local et régional et empêche la reconstitution de la glace de mer. Les scientifiques craignent également que les rétroactions de l'Arctique augmentent le réchauffement régional et mondial au point d'altérer d'autres rétroactions climatiques.

Alors que le rôle important de l'Arctique dans le système climatique mondiale est reconnu depuis longtemps, des recherches récentes contribuent beaucoup à la compréhension des liens clés, tels que les interactions entre l'Océan Arctique et l'atmosphère. En même temps, la science qui évalue les conséquences régionales et mondiales du changement climatique en

Arctique progresse rapidement. Combinés, ces indicateurs de plus en plus nombreux renforcent notre compréhension du lien entre les changements climatiques en Arctique et le réchauffement mondial et permettent d'évaluer quel niveau de réchauffement mondial peut constituer une dangereuse interférence humaine avec le système climatique. Éviter de telles interférences en stabilisant les émissions de gaz à effet de serre au niveau requis est l'objectif affiché de la Convention Cadres des Nations Unies sur les Changements Climatiques. Les rétroactions mondiales liées au changement climatique en Arctique suggèrent que seules les contraintes les plus ambitieuses sur les concentrations de gaz à effet de serre pourraient être suffisantes pour éviter de telles interférences. Cela souligne la nécessité d'incorporer continuellement les dernières informations scientifiques pour déterminer les limites acceptables.

“Les rétroactions mondiales liées au changement climatique en Arctique suggèrent que seules les contraintes les plus ambitieuses sur les concentrations de gaz à effet de serre pourraient être suffisantes pour éviter de telles interférences.”

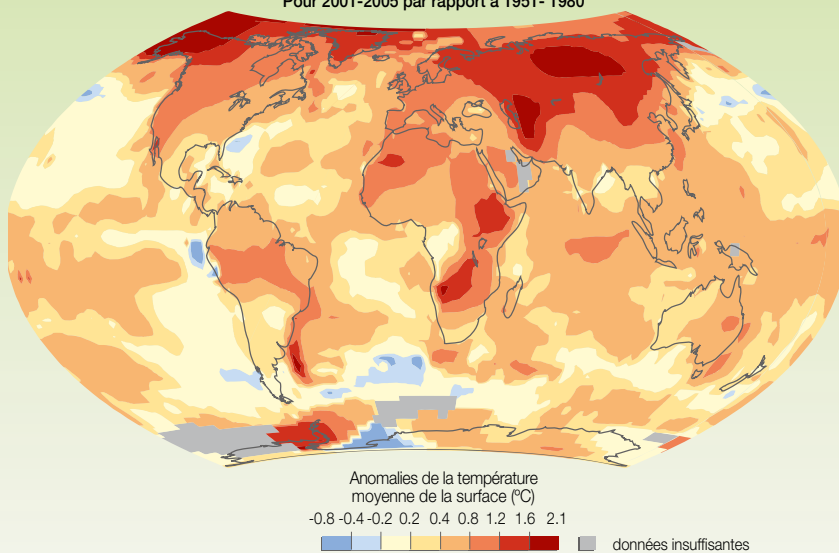
Le changement climatique en Arctique affecte le reste du monde en modifiant la circulation atmosphérique et océanique qui influent sur les conditions météorologiques, et en amplifiant la fonte des calottes glaciaires et des glaciers qui fait augmenter le niveau mondial des mers et en modifiant les concentrations de gaz à effet de serre. Ce rapport fournit une image mise à jour et complète de pourquoi et comment les changements climatiques en Arctique jouent sur le reste du monde. Il est de fait pertinent pour les décisions politiques à prendre concernant les réductions de gaz à effet de serre atmosphériques. En particulier, le rapport décrit les découvertes les plus récentes concernant les principales rétroactions d'ampleur mondiale pour les décennies à venir.

EN SOMME, des aspects importants du système climatique mondial, qui affecte directement de nombreuses populations, subissent déjà les effets du changement climatique de l'Arctique. Cette évaluation des connaissances les plus récentes montre que de nombreuses rétroactions du climat en Arctique rendront le changement climatique plus grave que ce qui a été indiqué par d'autres projections récentes, y compris celles du dernier rapport du GIEC en 2007. Certaines de ces rétroactions pourraient même interagir entre elles. Des analyses à jour des conséquences globales du changement en Arctique mettent en évidence la nécessité de réviser les seuils d'interférence humaine avec le système climatique jugés dangereux. Elles conduisent à exiger une rigueur renforcée pour rester en deçà de ces seuils, par un effort mondial pour réduire les émissions anthropiques de gaz à effet de serre.

Le changement climatique en Arctique

Les rétroactions du climat en Arctique, sur lesquelles se focalise ce rapport ont lieu dans le contexte d'un changement climatique rapide et important en Arctique. Les hausses de température, qui font fondre rapidement les glaces sur la terre et la mer ainsi que le permafrost, sont parmi les changements climatiques observés les plus radicaux. Ce qui suit est un bref résumé de ces changements, qui constituent le point de départ pour la discussion sur les rétroactions du climat en Arctique et leurs implications pour le monde.

Augmentation des températures annuelles
Pour 2001-2005 par rapport à 1951-1980



Source : Hansen, J., et al. *Global Temperature Changes*, Prot. Natl. Acad. Sci. 103, 2006.

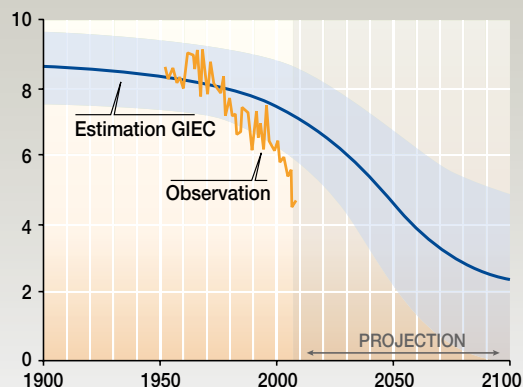
Augmentation des températures de l'air

Les températures de l'air en Arctique ont augmenté presque deux fois plus que la moyenne mondiale au cours des dernières décennies. Cette « amplification en l'Arctique » du réchauffement mondial résulte largement de la réduction de la réflectivité de la surface, due à la perte de neige et de glace, en particulier la glace de mer. L'année 2007 a été la plus chaude enregistrée en Arctique. Des recherches récentes ont conclu que ce réchauffement contient une « empreinte » humaine claire. Les précipitations augmentent en Arctique à un taux supérieur à la moyenne mondiale. Il s'agit d'une conséquence attendue du réchauffement causé par l'homme.

Déclin de la glace de mer

L'étendue des glaces de mer s'est fortement réduite en toutes saisons, avec des glaces de mer estivales déclinant de manière plus significative - au-delà des projections du GIEC en 2007. Près de 40 % des glaces de mer existantes en 1970 avaient disparu en 2007, l'année où l'étendue de glace de mer estivale a atteint minimum. Et en 2008, pour la première fois, les passages Nord-Est et Nord-Ouest ont été observés sans glace. Entre 2004 et 2008 seulement, l'étendue de glace épaisse, celle qui persiste pendant plusieurs années, a décliné de 42%, soit 1.5 millions de kilomètres carrés, à peu près la taille de l'Alaska. Cette glace multi annuelle étant remplacée par de la glace « jeune », la glace de l'Arctique devient de plus en plus vulnérable à la fonte.

Etendue minimale de la glace de mer estivale en Arctique
Million de kilomètres carrés

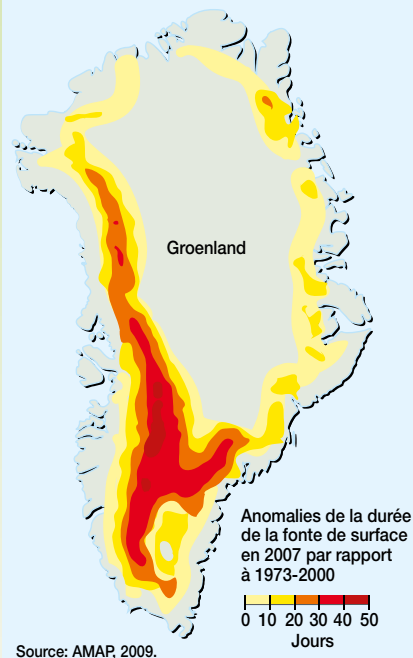


Source : Stroeve et al., 2007, updated

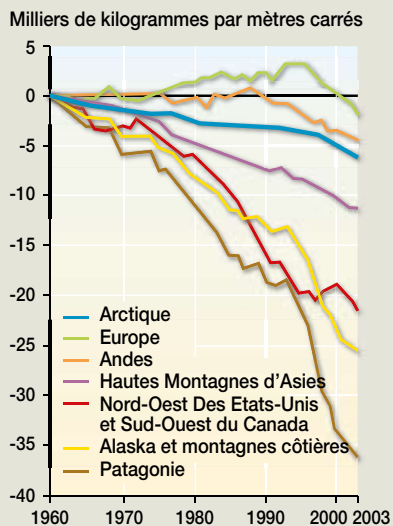
Fonte de la calotte glaciaire du Groenland

La perte de glace issue de la calotte glaciaire du Groenland a augmenté ces dernières années, et est plus rapide que ce qui était prévu par les modèles climatiques. L'écoulement plus rapide des glaciers vers la mer semble être la cause la plus importante de l'augmentation de la perte de masse. De plus, la fonte de la surface de la calotte glaciaire s'est accélérée : la fonte de 2007 a été la plus intensive jamais observée. La zone touchée une fonte de surface était 60 % plus grande qu'en 1998, l'année de la deuxième plus grande fonte observée.

Evolution des durées de fonte à la surface



Evolution de la masse des glaciers



Source : Dyurgerov and Meier, 2005.

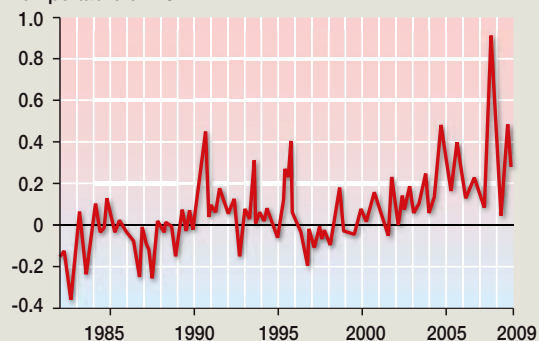
Accélération du retrait des glaciers

Des pertes massives de glacier ont été observées en Arctique, ce qui est cohérent avec la tendance globale. Certains glaciers sont appelés à disparaître complètement dans les prochaines décennies. Les glaciers de l'Alaska s'amenuisent particulièrement rapidement. Jusqu'à récemment, les glaciers Scandinaves augmentaient en masse, alors que ceux du Svalbard (archipel situé au Nord de la Scandinavie) ne montraient aucun changement. En effet, l'augmentation des chutes de neiges hivernales dépassait ou égalait la fonte estivale dans ces zones. Cela s'est renversé ces dernières années ; aujourd'hui, les glaciers Scandinaves et du Svalbard perdent clairement de la masse.

Réchauffement de la surface des Océans

Le retrait des glaces de mer permet à l'eau d'absorber plus de chaleur issue du soleil. Les eaux de surface de l'Océan Arctique se sont donc réchauffées ces dernières années. En 2007, certaines eaux de surface libres de glace étaient plus chaudes de 5°C que la moyenne des températures mesurées jusqu'ici. L'Océan Arctique s'est aussi réchauffé du fait de l'afflux d'eau plus chaude venant des Océans Pacifique et Atlantique.

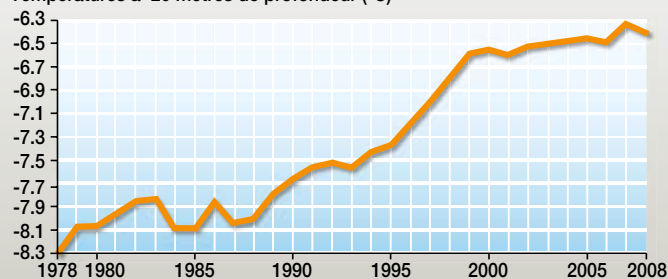
Températures de surface de l'Océan Arctique
Température en °C



Source : NOAA, 2009.

Permafrost à Deadhorse, Alaska

Températures à 20 mètres de profondeur (°C)



Source : US climate impacts report, 2009.

Réchauffement et dégel du Permafrost

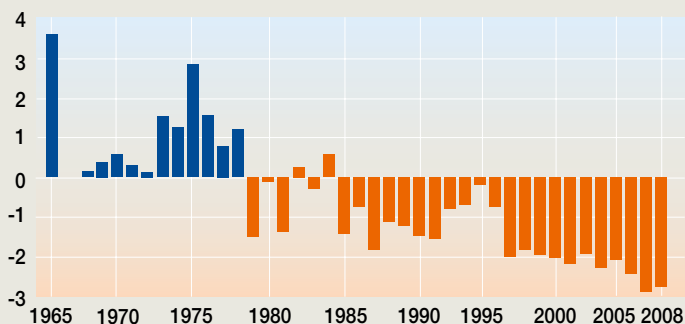
Le Permafrost a continué à se réchauffer et à dégeler à ses marges. La profondeur de la couche active, qui dégèle à la saison chaude augmente dans de nombreuses zones. Le permafrost qui se dégrade affecte les zones humides de manière significative. Les projections montrent une large disparition de lacs et zones humides même dans des zones qui étaient auparavant des zones continues de permafrost.

Déclin des neiges, glaces de lacs et de rivières

L'étendue de la couverture neigeuse a continué et devrait continuer à décliner, malgré l'augmentation attendue des chutes de neige hivernales dans certaines zones. L'allongement de la saison sans neige a des impacts majeurs dans l'accélération du réchauffement atmosphérique local, en réduisant la réflectivité de la surface. La durée de la couverture de glace sur les rivières et les lacs a également continué à décliner. Cela est particulièrement apparent à travers la précocité de la rupture des glaces au printemps..

Anomalies de la couverture neigeuse dans l'hémisphère nord.

Million de kilomètres carrés



Source : GSL, Rutgers University, 2009

Découvertes clef de cette évaluation

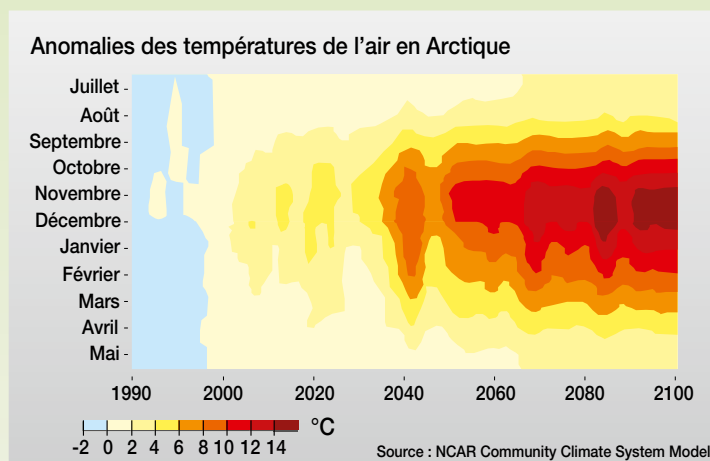
■ L'amplification du réchauffement mondial en Arctique aura des impacts fondamentaux sur les conditions météorologiques et le climat de l'Hémisphère Nord.

(Chapitre 1, *Rétroactions de la circulation Atmosphérique*)

■ **La réduction de la glace de mer amplifie le réchauffement.** La couverture réduite de glace des mers amplifie déjà le réchauffement de l'Arctique plus tôt que prévu. Cette amplification sera davantage prononcée au fur et à mesure que la couverture de glace se réduira dans les décennies à venir. .

■ **Le réchauffement amplifié se répand sur les terres.** Le réchauffement atmosphérique amplifié en Arctique se répandra probablement sur les terres des latitudes élevées, ce qui accélèrera la dégradation du permafrost, et aura pour conséquences un relargage plus important des gaz à effet de serre actuellement coincés dans le sol gelé. Ce relargage provoquera un plus ample réchauffement dans l'Arctique et dans le monde.

■ **Les conditions météorologiques sont altérées.** Le réchauffement additionnel en Arctique affectera les conditions météorologiques en Arctique et ailleurs, en modifiant le gradient de température dans l'atmosphère et la circulation atmosphérique. Cela risque aussi d'affecter les températures et les précipitations en Europe et en Amérique du Nord. Ces changements affecteront l'agriculture, la foresterie et les ressources en eau.



■ Le système mondial de circulation océanique sera modifié par la forte influence du réchauffement de l'Arctique.

(Chapitre 2, *Rétroactions de la circulation océanique*)

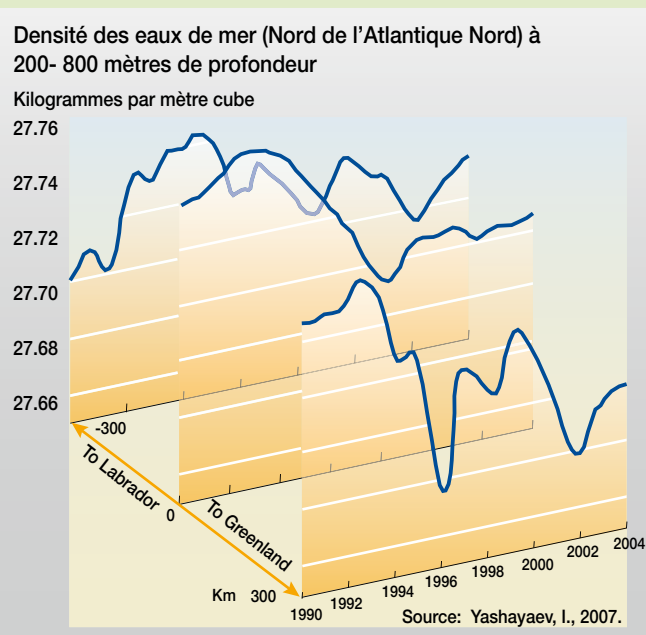
■ **Les changements de la circulation océanique ont des conséquences sur les populations.** Que ce soit à travers des changements climatiques importants ou des fluctuations climatiques de décennies en décennies, l'Océan contribue aux variations climatiques de la terre.

■ **Les changements en Arctique peuvent modifier la circulation des océans à l'échelle mondiale.** En causant des changements atmosphériques qui affectent les océans au delà de l'Arctique, et par les connexions directes de la circulation océanique entre l'Océan Arctique et les autres océans, les changements en Arctique peuvent modifier la circulation mondiale des océans.

■ **Les connexions de l'Océan Arctique changent.** L'Océan Arctique est connecté à l'« océan global » via les Océans Atlantiques et Pacifiques. L'eau qui arrive dans l'Océan Arctique depuis les océans Atlantiques et Pacifiques s'est réchauffée au cours des dernières décennies. Bien qu'il y ait une augmentation des apports en eau froide dans l'Océan Arctique issue de la fonte des glaces et de l'augmentation des précipitations et du flux des rivières, il n'y a jusqu'ici que peu d'indicateurs d'une augmentation de l'apport d'eau fraîche par l'Arctique. Les changements en terme de température et de salinité, et leurs effets sur la densité provoquent des inquiétudes du fait de leur capacité à modifier l'intensité de la circulation océanique mondiale.

■ **La circulation mondiale des océans ne changera pas brusquement, mais changera de manière significative au cours de ce siècle.** Il n'y a que peu d'indications que les changements de la circulation ont déjà commencé. Cependant, il est probable que l'intensité de la circulation changera dans le futur. Cette évaluation conforte la projection 2007 du GIEC d'une réduction de 25% en moyenne de la circulation d'ici à 2100.

■ **Les populations sont affectées non seulement par les changements de l'intensité de la circulation des océans, mais aussi par les changements des trajectoires de la circulation.** Cette évaluation souligne la possibilité que les courants dans l'Océan Atlantique Nord changent leur trajectoire. Les différents courants océaniques font circuler des eaux aux caractéristiques différentes, qui soutiennent différents écosystèmes. De ce fait, les changements de trajectoire des courants océaniques affecteront les pêcheries et d'autres ressources marines.



■ La perte de glace issue de la calotte glaciaire du Groenland a augmenté et contribuera de manière significative à l'augmentation mondiale du niveau des mers. .

(Chapitre 3 Rétroactions de la calotte glaciaire et de l'augmentation du niveau des mers)

■ **L'augmentation du niveau des mers s'accélère.** Le niveau des mers a augmenté au cours de ces 50 dernières années et son rythme d'augmentation s'est accéléré. L'augmentation des 15 dernières années est environ deux fois plus élevée que celle des décennies précédentes.

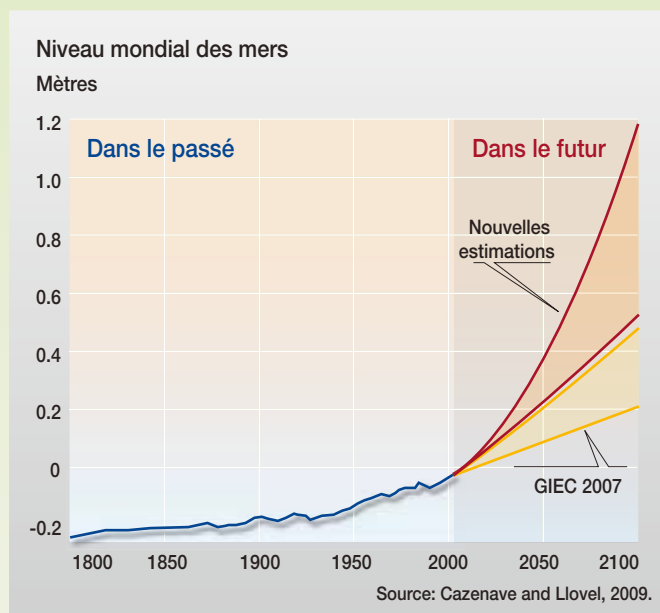
■ **Expansion thermique et fonte des glaces issues des terres provoquent l'augmentation du niveau des mers.** Le réchauffement de l'Océan et les apports croissants d'eaux issues de la fonte des glaciers et calottes glaciaires sont les principaux contributeurs à l'augmentation du niveau des mers. Au cours des 15 dernières années, l'expansion thermique, la fonte des glaciers et les pertes massives de calotte glaciaire ont chacun contribué à environ un tiers de l'augmentation observée du niveau des mers.

■ **Les calottes glaciaires fondent. Les calottes glaciaires du Groenland et de l'Antarctique fondent plus vite que prévu. Les rythmes de fonte sont sensibles au climat et s'accroissent avec l'augmentation des températures terrestres et océaniques.**

■ **La fonte des calottes glaciaires sera le contributeur principal à la future augmentation du niveau des mers.**

Avec le réchauffement en cours, la fonte des calottes glaciaires devrait continuer de manière irréversible et sera le premier contributeur à l'augmentation du niveau des mers pendant longtemps, bien au-delà de ce siècle.

■ **Le niveau des mers augmentera plus vite que prévu.** Le niveau de la mer augmentera de plus d'un mètre d'ici 2100, encore plus que ce qui était prévu auparavant, largement à cause de la perte croissante de masse des calottes glaciaires. L'augmentation du niveau des mers sera plus forte dans certaines zones que dans d'autres. Les zones côtières de basse altitude sont particulièrement en danger.



■ Les systèmes marins de l'Arctique constituent actuellement un puit de carbone considérable, mais la continuation de ce « service » dépend fortement des impacts du changement climatique sur les glaces, les apports d'eau fraîche et l'acidification des océans.

(Chapitre 4, *Rétroactions du Cycle carbone marin*)

■ L'Océan Arctique est un important puit de carbone.

Aujourd'hui, l'Océan Arctique est un puit net de dioxyde de carbone d'importance mondiale, en l'absorbant de l'atmosphère. Il est responsable de 5 à 14 pour cent de l'absorption mondiale de dioxyde de carbone par les Océans.

■ On s'attend à court terme à une augmentation de l'absorption de carbone par l'Océan Arctique.

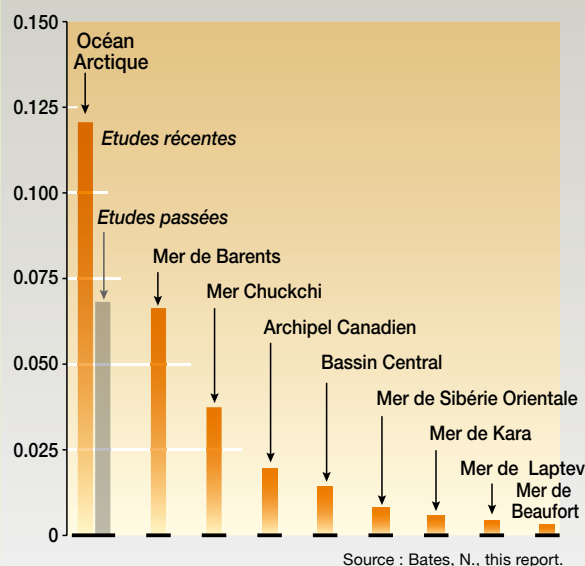
A court terme, on s'attend à ce que de nouvelles pertes de glace, des taux de croissance du phytoplancton en augmentation, et d'autres changements physiques et environnementaux qui augmenteront l'absorption de dioxyde de carbone par la surface des eaux de l'Arctique.

■ On s'attend à une émission nette de carbone sur le long terme.

Le relargage de larges stocks de carbone, issus des masses terrestres environnant l'Arctique par les rivières se déversant dans l'Océan risque de renverser la tendance de court terme, menant à une augmentation nette du relargage de dioxyde de carbone vers l'atmosphère aux cours des siècles à venir.

■ **Le cycle du carbone marin de l'Arctique est très sensible au changement climatique.** Le cycle du carbone marin de l'Arctique et les échanges de dioxyde de carbone entre l'océan et l'atmosphère sont particulièrement sensibles aux changements climatiques. Ils sont fortement influencés par des processus physiques et biologiques eux-mêmes sujets aux impacts du changement climatique, tels que la couverture de glace de mer, la croissance saisonnière des plantes marines (telles que le phytoplancton), la circulation et l'acidification océaniques, les températures et les apports des rivières, ce qui rend les projections incertaines.

Absorption de dioxyde de carbone issu de l'Atmosphère
Gigatonnes de carbone par an



■ Les écosystèmes terrestres de l'Arctique vont continuer à absorber du carbone, mais le réchauffement et les changements de l'hydrologie de surface causeront un relâchement de carbone bien plus important.

(Chapitre 5, *Rétroactions du cycle du carbone terrestre*)

■ **Les terres d'Arctique stockent de grandes quantités de carbone.** Les régions circumpolaires du nord, notamment les sols et zones humides de l'Arctique contiennent deux fois plus de carbone que l'atmosphère.

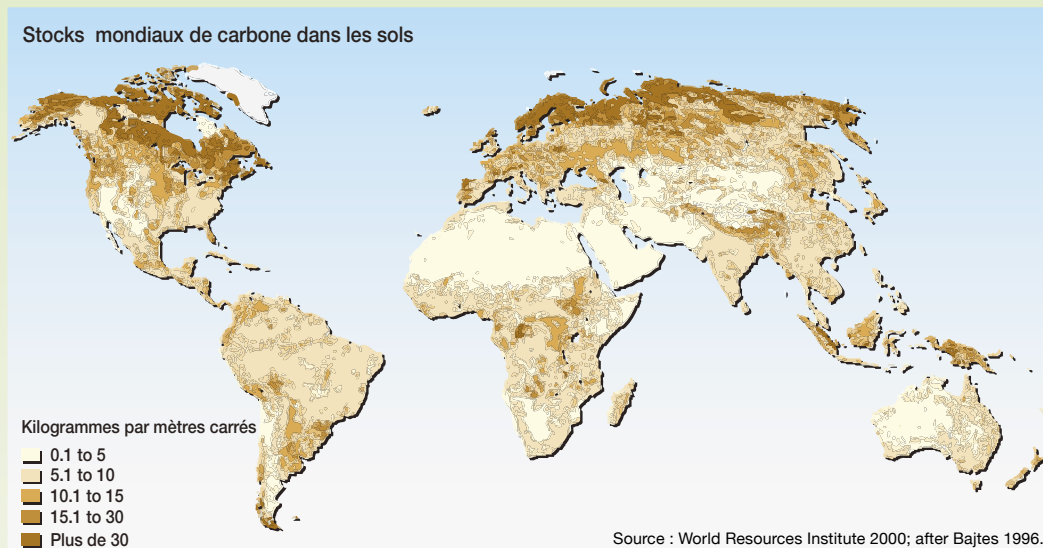
■ **Les émissions de dioxyde de carbone et de méthane augmentent du fait du réchauffement.**

Le réchauffement actuel en Arctique provoque déjà des émissions supplémentaires de dioxyde de carbone et de méthane. La plus grande partie du carbone relâché par le dégel des sols est vieille de plusieurs milliers d'années, ce qui montre que la matière organique dans ces sols peut se décomposer facilement.

■ **L'absorption de carbone par la végétation augmente.**

Des saisons de croissance plus longues et la lente migration vers le nord de la végétation boisée provoquent une augmentation de la croissance des plantes et une accumulation du carbone dans les régions du nord.

■ **Les émissions de carbone dépasseront l'absorption au fur et à mesure que le réchauffement aura lieu.** Les émissions futures de carbone de l'Arctique dans l'atmosphère seront plus importantes que le stockage, et les changements de paysage auront pour conséquence une plus grande absorption de l'énergie du soleil, ce qui accélèrera le changement climatique.



■ La dégradation du permafrost sous-marin de l'Arctique relargue déjà du méthane issu des réserves massives de carbone gelé sous marin. Ce phénomène devrait s'amplifier avec un réchauffement renforcé.

(Chapitre 6, *Rétroactions des hydrates de méthane*)

■ **De grandes quantités de méthane sont gelées dans l'Arctique sous forme d'hydrates de méthane.** Le méthane est un gaz à effet de serre puissant. Une grande quantité de méthane est congelée dans les hydrates de méthane, qu'on trouve dans les sédiments des océans et le permafrost. Il y a plus de carbone stocké dans les hydrates de méthane que dans l'ensemble des réserves prouvées de charbon, de pétrole et de gaz naturel.

■ **Les plateaux continentaux contiennent l'essentiel de ces hydrates.** La plus grande partie des hydrates de méthane est stockée dans les dépôts des plateaux continentaux, en particulier dans les plateaux Arctiques. Ces hydrates sont séquestrés en dessous et à l'intérieur du permafrost sous-marin. Comme les hydrates de l'Arctique sont contrôlés par le permafrost, ils se déstabilisent quand le permafrost sous-marin dégèle.

■ **Le dégel du permafrost sous-marin relargue déjà du méthane.** Les températures actuelles en Arctique provoquent la fonte du permafrost sous-marin. Le permafrost dégelé ne parvient pas à coincer de manière fiable les dépôts d'hydrate, ce qui mène à un relargage massif de méthane dans les eaux des océans. Du fait de la faible profondeur d'une grande partie des couches de l'Arctique, beaucoup de méthane atteint l'atmosphère sans être oxydé (il n'est pas transformé en dioxyde de carbone). On ne sait pas encore à quel point ce rejet contribue à la concentration mondiale actuelle de méthane dans l'atmosphère. Le méthane est environ 25 fois plus puissant comme gaz à effet de serre que le dioxyde de carbone.

■ **Les hydrates augmentent en volume lors qu'ils sont déstabilisés.** De plus, lorsque les hydrates de méthane sont déstabilisés, le méthane présent dans ces hydrates augmente considérablement en volume. La forte pression qui en résulte pourrait mener à un brusque « jaillissement » de méthane.

■ **Les hydrates les plus à risque se trouvent dans le plateau Est sibérien.** Le dépôt de méthane le plus grand, le moins profond et donc le plus vulnérable se trouve sur le plateau Est sibérien. Une augmentation des émissions de méthane au dessus de ce plateau a été observée, mais on ne sait pas encore si le récent réchauffement de l'Arctique en est responsable.

Le plateau Arctique de Sibérie Orientale contient les dépôts d'hydrate de méthane les plus susceptibles d'être relâchés



Prévision des dépôts d'hydrates de méthane



Eaux d'une profondeur de moins de 50 mètres

Source : Jacobsen et al, 2004.