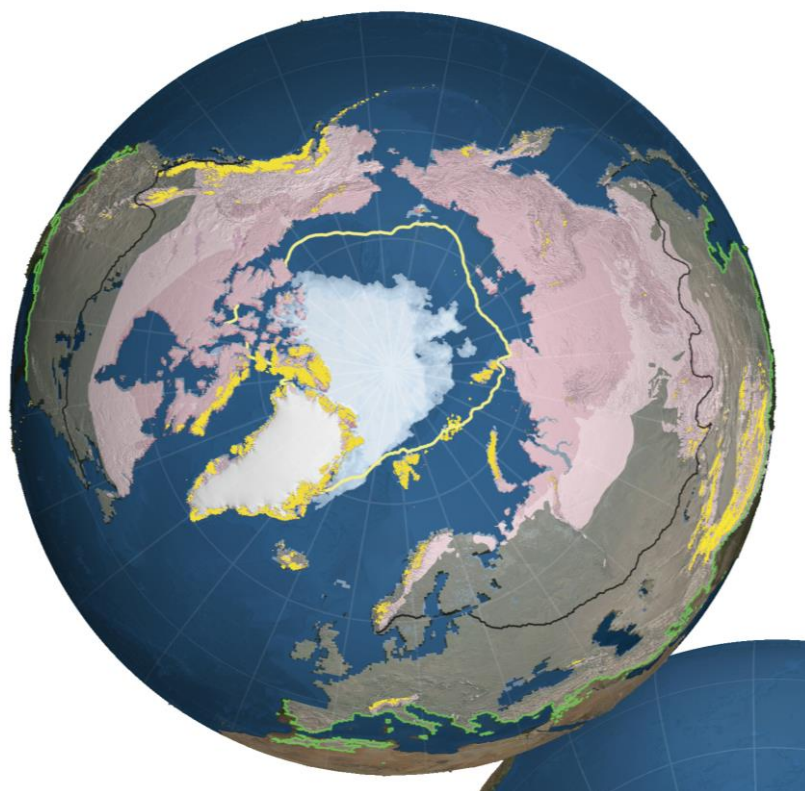


## La fonte des glaces de l'Arctique

Auteur : Valérie MASSON-DELMOTTE

Chercheur senior CEA, Institut Pierre-Simon Laplace/Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement (CEA-CNRS-UVSQ, Paris Saclay)

Au cours du xx<sup>e</sup> siècle, la surface de l'Arctique (au nord de 60° N) s'est réchauffée deux fois plus vite que les autres régions terrestres. Des changements spectaculaires, en particulier pour la cryosphère (ensemble des endroits où l'eau est présente à l'état solide – neige ou glace) (figure 1) rendent le changement climatique « visible », avec des impacts importants sur les écosystèmes et les activités humaines, et agissent aussi en retour sur le système climatique planétaire.



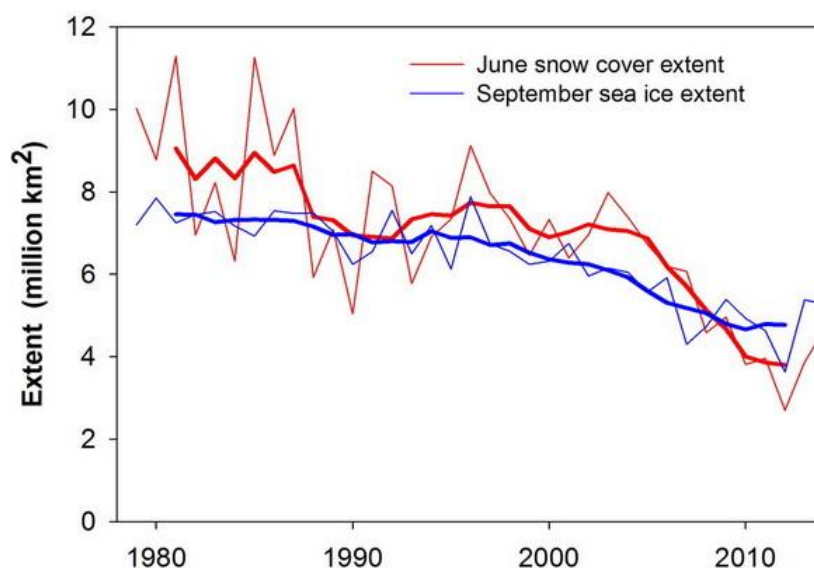
**Figure 1.** La cryosphère de l'Arctique : banquise (extension observée en septembre 2012, en bleu-gris), et moyenne entre 1979 et 2012 (trait jaune). Pergélisol continu (en rose foncé) et discontinu (en rose clair). Extension maximale vers le sud du manteau neigeux (trait vert) et extension médiane (trait noir). La calotte glaciaire du Groenland (en dégradé de blancs) et les glaciers (zones jaunes) sont également représentés. Source : IPCC AR5 WG1, chapitre 4 [1].

Le manteau neigeux arctique dépend des précipitations et de la température de l'air, surtout au printemps et à l'automne. Son évolution, suivie par satellite depuis 1967, montre un recul de la zone couverte de neige, surtout au printemps (mai-juin) (figure 2). Ce manteau neigeux a des effets importants sur la température des sols en hiver (effet isolant) et sur la fraction de l'ensoleillement qui est réfléchi vers l'espace (effet d'albédo). Le recul de la zone couverte de neige au printemps est une rétroaction qui

amplifie le réchauffement. Il affecte les écosystèmes terrestres et le cycle de l'eau, ainsi que les activités humaines qui en dépendent.

Le réchauffement affecte aussi les sols gelés de l'Arctique (le pergélisol), en augmentant la profondeur de la zone active (qui dégèle en été, et regèle en hiver), jusqu'à plusieurs dizaines de centimètres, et réduit l'extension du pergélisol continu. Depuis 20 à 30 ans, la dégradation du pergélisol en Sibérie, Alaska ou Canada provoque des mouvements de sol et augmente l'érosion des berges des fleuves ou du littoral. Le réchauffement a également réduit la durée et l'épaisseur de la glace formée à la surface des lacs et des cours d'eau arctiques.

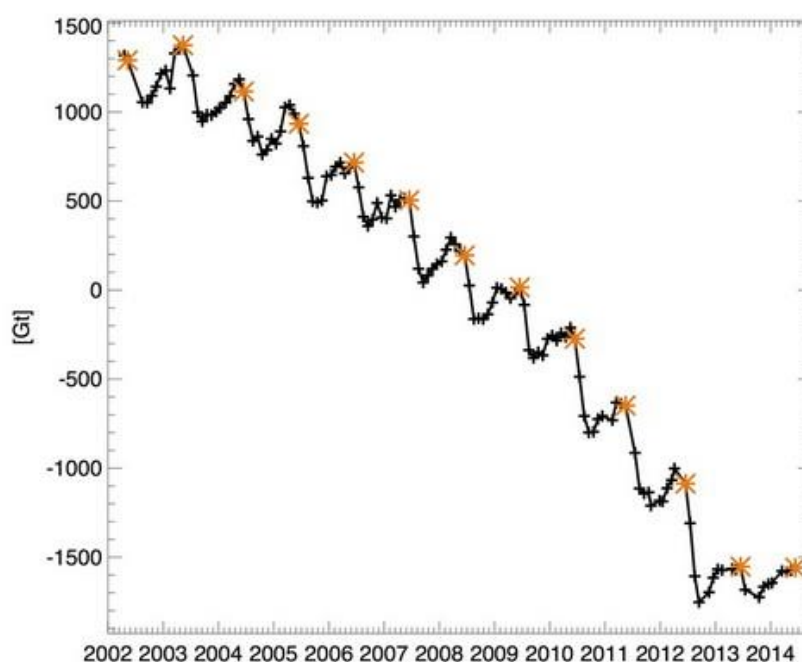
Lorsque la température de la mer est inférieure à son point de congélation ( $-1,8\text{ °C}$  pour l'eau salée), il se forme de la glace de mer, ou banquise. Cette banquise a un double effet d'isolant entre l'océan et l'atmosphère, et d'albédo. Du fait de l'inertie thermique de l'eau de mer, la banquise arctique atteint son extension maximale en mars, et son extension minimale en septembre. Les mesures par satellites depuis 1979 montrent un recul à toutes les saisons, moins marqué en fin d'hiver ( $-2,6\%$  par décennie), et plus important en fin d'été ( $-13,3\%$  par décennie) (figure 2), particulièrement spectaculaire en 2007 et en 2012. L'épaisseur de la banquise arctique peut atteindre au maximum 3,5 mètres, si elle s'accumule pendant plusieurs années. En hiver, cette épaisseur a perdu entre 1,3 et 2,3 mètres entre 1980 et 2008. La banquise est aussi plus jeune : en 1980, environ 1/4 de la banquise arctique avait plus de 4 ans ; cette glace ancienne ne représente plus que 10 % en 2014 (au nord du Groenland et du Canada). Le recul de la glace de mer affecte les écosystèmes marins par les modifications de la luminosité, de la température et de la salinité des eaux de mer, et modifie les modes de déplacement humains (voies maritimes *versus* déplacements sur la banquise). Il amplifie le réchauffement à la surface des continents riverains, peut favoriser l'érosion du littoral par la houle et intensifier le cycle de l'eau par l'évaporation rendue possible sur l'océan libre. Le fait que cela modifie la circulation atmosphérique à nos latitudes fait l'objet de nombreux travaux de recherche.



**Figure 2.** Suivi par satellite de l'extension du manteau neigeux sur les continents autour de l'Arctique au mois de juin (en rouge), et de la surface de l'océan Arctique, recouverte de glace de mer, au mois de septembre (en bleu). Les traits fins représentent les données pour chaque saison, et les traits plus épais une moyenne sur plusieurs années (lissage sur 5 ans).

Source : [http://www.arctic.noaa.gov/reportcard/snow\\_cover.html](http://www.arctic.noaa.gov/reportcard/snow_cover.html) [3].

Le réchauffement estival augmente aussi la durée et l'extension de la fonte des petits glaciers de l'Arctique et de la calotte du Groenland. Cette dernière est la seconde plus grande masse terrestre de glace, après l'Antarctique, et représente aujourd'hui une surface de 1,7 million de kilomètres carrés, et un volume de 2,85 millions de kilomètres cubes, soit l'équivalent de 7,4 mètres de niveau des mers. Sa perte de glace, détectée depuis 1990, est en accélération. La fonte des glaciers de l'Alaska, de l'Arctique canadien et de la périphérie du Groenland contribue, avec le réchauffement des océans en profondeur et leur dilatation thermique, à la montée du niveau des mers. Elle modifie également la salinité des océans.



**Figure 3.** Changements du bilan de masse du Groenland (en gigatonnes : les augmentations reflètent l'enneigement hivernal, et les diminutions sont dues à la fonte et l'écoulement) par rapport à la moyenne de 2002-2014 (pour chaque mois), à partir des mesures du satellite GRACE.  
Source : [http://www.arctic.noaa.gov/reportcard/greenland\\_ice\\_sheet.html](http://www.arctic.noaa.gov/reportcard/greenland_ice_sheet.html) [3].

Les archives naturelles du climat (sédiments marins, lacustres, anneaux de croissance des arbres ou carottes de glace) permettent de situer ces changements récents dans le contexte de la variabilité naturelle du climat. En Arctique, le réchauffement de surface actuel ainsi que le recul de la banquise sont exceptionnels par rapport aux 1 400 années précédentes. Sur le plus long terme, il y a eu des périodes de climat arctique plus chaud qu'actuellement : l'orbite terrestre, différente, augmentait l'ensoleillement estival arctique au début de la période interglaciaire actuelle (il y a environ 8 000 ans), ou bien lors de la période interglaciaire précédente (il y a environ 125 000 ans). Ces périodes sont étudiées pour comprendre les impacts à long terme de ces réchauffements et tester les modèles de climat ou d'écoulement du Groenland, utilisés pour évaluer les risques futurs.

L'évolution climatique de l'Arctique est marquée par une variabilité forte, d'une année à l'autre, d'une décennie à l'autre, due au transport de chaleur par les vents et les courants marins. La confrontation entre simulations de l'évolution du climat en réponse aux facteurs naturels (activité du Soleil et des volcans, variabilité spontanée du climat) et aux facteurs anthropiques (gaz à effet de serre et particules de pollution) permet d'évaluer l'influence humaine sur les changements récents. À grande échelle, c'est l'influence humaine qui domine pour le réchauffement arctique, le recul des surfaces enneigées et englacées des 50 dernières années. En revanche, le réchauffement du Groenland, depuis une vingtaine d'années, est dû

pour 1/3 à l'influence humaine sur le climat, et pour 2/3 à la configuration de la circulation atmosphérique de cette période, qui a donc accéléré ce réchauffement.

Les risques d'évolution future sont explorés à l'aide de simulations du climat, en réponse à différents scénarios de rejet de gaz à effet de serre : plus ceux-ci seront importants, plus le réchauffement global et celui de l'Arctique seront importants, d'ici 2100. Dans tous les cas, il faut s'attendre à une poursuite de la déglaciation de l'Arctique : baisse de l'extension du manteau neigeux de 7 à 25 % sur les continents, diminution de l'extension de pergélisol proche de la surface de 37 à 81 %, diminution de l'extension de banquise en septembre de 43 à 94 %, avec la possibilité d'un océan Arctique libre de glace en fin d'été d'ici 2040 dans le scénario de fortes émissions de gaz à effet de serre. De nombreux glaciers sont en déséquilibre avec le climat actuel, et leur recul est inévitable. Pour le Groenland, l'augmentation de la fonte et les changements d'albédo associés renforceront la perte de masse, pouvant contribuer de l'ordre de 1 à 16 cm à la montée du niveau des mers d'ici à 2100, avec une augmentation de l'écoulement plus incertaine. L'étude des climats passés et la modélisation de la calotte du Groenland suggèrent qu'il existe un seuil de réchauffement global (de l'ordre de 1 à 4 °C de plus par rapport au climat pré-industriel) conduisant, sur le long terme, à une déglaciation irréversible du Groenland, sur plusieurs siècles à plusieurs millénaires, correspondant à plusieurs mètres d'augmentation du niveau des mers.

La fonte des glaces de l'Arctique est surveillée attentivement, en combinant des réseaux de mesure au sol, des recherches participatives (avec les populations autochtones), et des données de télédétection spatiale. Elle est également étudiée à l'aide d'un ensemble de modèles de climat, de glaciers, de calotte, testés par rapport au climat actuel et aux changements passés, et qui progressent en permanence. Il reste en effet de nombreuses incertitudes, parmi lesquelles les interactions entre la circulation océanique et la fonte des glaces du Groenland. Cette fonte des glaces de l'Arctique sera amenée à se poursuivre, même dans les scénarios les plus optimistes de maîtrise des rejets de gaz à effet de serre.

#### **Pour en savoir plus :**

- [1] Le 5<sup>e</sup> rapport du GIEC  
IPCC (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1 535 p.  
(<http://www.climatechange2013.org>)
- [2] Le numéro spécial de *La Météorologie* sur le changement climatique :  
<http://documents.irevues.inist.fr/handle/2042/56350>
- [3] Les fiches de la NOAA sur l'évolution du climat et de la cryosphère arctique :  
<http://www.arctic.noaa.gov/reportcard/>
- [4] Le rapport de l'UNEP sur la cryosphère :  
[http://www.unep.org/geo/geo\\_ice/](http://www.unep.org/geo/geo_ice/)
- [5] Les réponses aux questions sur le changement climatique :  
<http://www.climat-en-questions.fr/>
- [6] Masson-Delmotte V., Gauthier E., Gremillet D., Huctin J.M. & Swingedouw D., éditeurs (sous presse). *Le Groenland, climat, écologie et société*. CNRS éditions

*Fiches de l'Institut océanographique :*

- [7] Anny Cazenave, avril 2012 : *La hausse actuelle du niveau de la mer*  
<http://www.institut-ocean.org/images/articles/documents/1335166854.pdf>
- [8] Laurent Labeyrie, mars 2013 : *Le Fer dans l'Océan, en relation avec la productivité primaire et le climat*



Institut  
océanographique

Fondation Albert I<sup>er</sup>, Prince de Monaco

<http://www.institut-ocean.org/images/articles/documents/1362389931.pdf>

[9] Édouard Bard, août 2013 : *Évolution du niveau de la mer*

<http://www.institut-ocean.org/images/articles/documents/1376989284.pdf>

[10] Michel Petit, octobre 2013 : *L'éclairage du cinquième rapport du Giec sur l'océan*

<http://www.institut-ocean.org/images/articles/documents/1382334713.pdf>