

# Pourquoi la banquise disparaît plus vite que prévu

Les modèles climatiques sous-estiment la réduction de la banquise arctique au cours des trente dernières années. C'est en particulier parce qu'ils négligent le comportement mécanique de la glace.



**PAR Pierre Rampal**, chercheur au Centre Nansen pour l'environnement et la télédétection à Bergen, en Norvège,



**ET Jérôme Weiss**, directeur de recherche au laboratoire de glaciologie et géophysique de l'environnement du CNRS et de l'université Joseph-Fourier, à Grenoble.

Lauréats du prix La Recherche 2012 mention environnement.

## L'essentiel

- > LES MODÈLES DE CLIMAT sous-évaluent la réduction de surface et d'épaisseur de la banquise arctique.
- > LA DISPARITION DE LA GLACE s'autoentretient : le rayonnement solaire chauffe plus l'eau liquide.
- > L'AUGMENTATION DE LA SURFACE D'EAU LIQUIDE liée à la fracturation et à la dérive de la banquise, ignorée par les modèles, explique une grande part de la différence entre ceux-ci et les observations.

**E**n mai 2013, les autorités russes ont été contraintes d'évacuer en urgence le personnel de la station polaire scientifique Severny Polius 40 installée sur la banquise de l'Arctique. La fonte anormale des glaces et l'apparition de fractures aux alentours laissent planer de trop lourdes menaces. Cet incident témoigne une nouvelle fois de la dégradation spectaculaire de la fine pellicule glacée qui recouvre l'océan Arctique.

Depuis le début des observations par satellites, en 1979, sa surface diminue en effet d'environ 10 % tous les dix ans sous l'impact du réchauffement climatique. Et en ce début de XXI<sup>e</sup> siècle, le recul s'accélère. Ainsi, en septembre 2012, la banquise a atteint sa plus petite extension :

les glaces pérennes, qui n'avaient pas disparu à la fin de l'été boréal, ne couvraient plus que 3,4 millions de kilomètres carrés. Moins de la moitié de la superficie observée au début des années 1980 ! En septembre 2013, l'extension minimale de la banquise atteignait 5,1 millions de kilomètres carrés, nettement au-dessous de la moyenne entre 1980 et 2010.

Cette rétraction des glaces, observée grâce aux satellites, pose un problème. En effet, les modèles du climat global sur lesquels le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat s'appuie pour étudier le réchauffement de la planète la sous-estiment tous fortement [1]. En outre, l'épaisseur moyenne de cette banquise a, elle aussi selon les mesures, été divisée par deux depuis le début des années 1980 [2]. Un amincissement quatre fois plus rapide que celui calculé par les mêmes modèles [fig. 1] [3] !

Comment expliquer un tel décalage ? C'est la question que nous nous sommes posée il y a déjà quelques années, et à laquelle nous avons en partie répondu. Nous avons en effet montré que les modèles négligent notamment des processus mécaniques qui contribuent pourtant de façon majeure au déclin spectaculaire de la banquise. Et que ces processus expliquent plus des deux tiers de l'écart entre les prévisions et la réalité.

Tous les étés, la banquise arctique fond en partie, sous l'action de la chaleur apportée par le Soleil. L'hiver, quand celui-ci disparaît, la mer gèle à nouveau là où elle était découverte. L'extension de la glace suit donc un cycle annuel. Une bonne mesure de son état général est son extension minimale, observée à la fin du mois de septembre.

La réduction de cette surface minimale depuis une trentaine d'années n'est pas



Les zones d'eau liquide qui séparent les morceaux fracturés de la banquise dans l'océan Arctique absorbent le rayonnement solaire beaucoup plus fortement que la glace. Cela favorise le réchauffement de l'océan. © ANGELIKA RENNER

surprenante en soi. C'est en effet dans le Grand Nord que la hausse des températures de surface liée au réchauffement climatique global a été la plus forte : 2 °C en plus depuis cinquante ans, près de quatre fois plus que sur le reste du globe. Mais son ampleur est inattendue.

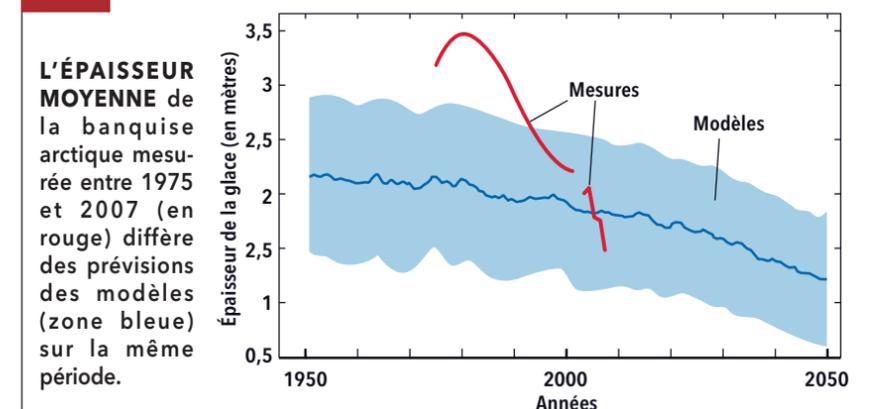
**Mouvement permanent.** Jusqu'à très récemment, la réduction de la surface de la banquise était surtout attribuée à l'emballement du réchauffement climatique aux hautes latitudes, en lien avec une modification de l'albédo. Ce paramètre, qui mesure la capacité d'une surface à réfléchir le rayonnement solaire vers l'espace, varie de 0 pour un corps opaque à 1 dans le cas d'un miroir parfait. Du fait de sa blancheur, la banquise en bon état a un albédo proche de 0,8 : elle réfléchit environ 80 % du rayonnement solaire.

Mais en été, lorsqu'elle se rétracte, l'océan se retrouve à l'air libre. Avec un albédo inférieur à 0,2, celui-ci absorbe

davantage le rayonnement solaire et se réchauffe en surface. Résultat, moins il y a de banquise, plus l'océan superficiel se réchauffe, ce qui accélère toujours plus la fonte estivale et retarde l'englacement en début d'hiver. Le réchauffement va donc en s'accroissant, tout comme le déclin des glaces de mer.

Mais les modèles négligent un élément essentiel : la dynamique de déplacement de la banquise. En effet, celle-ci est en mouvement permanent. Elle dérive et se déforme sans cesse sous l'effet des vents et des courants marins. Les déplacements sont parfois rapides, avec des vitesses dignes de celles >>>

**Fig.1** L'écart entre les mesures et les modèles



## Pourquoi la banquise disparaît plus vite que prévu

►►► d'un bon marcheur, ou au contraire très lents, de l'ordre de quelques mètres par heure. Les changements de rythme comme de direction sont aussi fréquents que soudains et fortement contraints par le comportement mécanique de la banquise elle-même.

Cette couche de glace, épaisse de quelques mètres, a en effet la particularité de se déformer comme un matériau fragile : elle se casse là où les efforts mécaniques sont les plus forts. La banquise est ainsi entaillée de fractures allant de quelques mètres à plusieurs centaines de kilomètres de long [4]. Et c'est cette fragmentation qui lui permet de se mouvoir plus facilement.

Les déplacements associés à ces fractures peuvent paraître erratiques. Mais

en les observant sur de grandes échelles de temps (la saison et au-delà) et d'espace (400 kilomètres au minimum), on découvre une cohérence. Une circulation générale se dessine même, avec en particulier un courant transpolaire qui pousse peu à peu les glaces vers l'océan Atlantique à travers le détroit de Fram, entre le nord du Groenland et l'archipel norvégien du Svalbard [5].

En 2009, l'analyse des trajectoires de plus de 600 bouées dérivantes enchâssées dans la banquise depuis une trentaine d'années nous a permis de mesurer une accélération spectaculaire de ces déplacements depuis trente ans. Elle est de l'ordre de 30 % pour les vitesses de la dérive dans l'ensemble du bassin arctique et de 150 % pour les vitesses de déformation de la glace, directement liées à sa fracturation [6]. La glace se déforme d'autant plus qu'elle est fracturée.

Or la dérive de la banquise et sa fracturation jouent un rôle majeur dans l'évolution du bilan de masse glaciaire. Celui-ci correspond, rappelons-le, à la différence entre la quantité de glace qui se forme durant l'hiver boréal, entre octobre et mars, et celle qui est exportée hors du bassin arctique ou qui fond dès

le retour du Soleil, d'avril à septembre. Dérive et fracturation agissent sur ce bilan au travers de deux mécanismes.

D'abord, en s'amincissant sous l'effet du réchauffement climatique, la pellicule de glace se fragilise. Elle se déforme, se fracture plus aisément sous l'action des vents et des courants marins et se morcelle. Des chenaux d'eau libre apparaissent entre les radeaux de glace. Ces chenaux font chuter l'albédo moyen de l'océan Arctique, renforçant ainsi le cercle vicieux décrit précédemment [fig. 2].

**Mécanismes de dérive.** Mais surtout, puisqu'elles dérivent plus vite, les glaces de mer résident aussi moins longtemps dans l'Arctique. Elles sont exportées plus rapidement vers l'Atlantique via le détroit de Fram, où elles finissent par fondre. En d'autres termes, la banquise dispose de moins de temps pour s'épaissir au fil des ans. De la même manière, une dérive accélérée le long du courant transpolaire ne sera pas complètement compensée par un regel hivernal. D'où un bilan de masse négatif.

Pour nous, cette évolution récente de la dérive de la banquise et de sa frac-



**Le courant transpolaire traverse l'océan Arctique de la mer de Laptev au détroit de Fram. Il pousse les morceaux de banquise vers l'océan Atlantique, où ils fondent plus rapidement.** © INFOGRAPHIE BRUNO BOURGEOIS

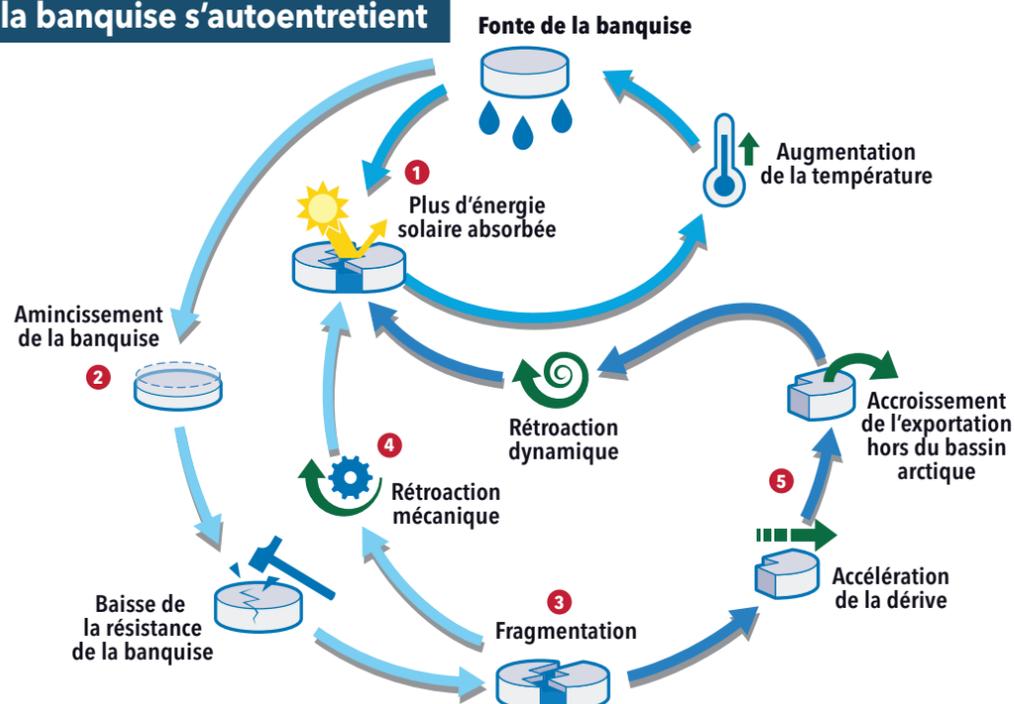
turation explique une grande partie de l'écart entre les observations et les modèles. L'accélération de la dérive glaciaire n'est en effet pas reproduite par les modèles climatiques actuels notamment en raison d'une mauvaise représentation de la mécanique « cassante » de la glace. Le lien entre l'état des glaces (concentration et épaisseur) et l'intensité de leurs mouvements s'en trouve considérablement affaibli. Cela empêche toute simulation des mécanismes de dérive que nous venons de décrire et conduit *in fine* à sous-estimer fortement la vitesse du déclin glaciaire.

Pour vérifier notre hypothèse, nous avons recalculé le bilan de masse de la

banquise arctique entre 1979 et 2007 en imposant une augmentation des vitesses d'exportation des glaces hors du bassin arctique identique à celle mesurée sur la même période dans tout le bassin par les bouées dérivantes. Résultat : l'accélération de cette exportation glaciaire permet d'expliquer de 60 % à 80 % de l'écart entre les observations et les simulations climatiques. Cela confirme le rôle clé de la dynamique de la glace et de son comportement mécanique dans l'évolution récente de la banquise. Néanmoins, on ne peut exclure l'existence d'imperfections supplémentaires dans les modèles, ou l'intervention d'autres processus encore inconnus ou mal évalués.

### Fig.2 La fonte de la banquise s'autoentretient

**LA FONTE DE LA GLACE** s'amplifie elle-même par un mécanisme thermique direct (1) : les zones fondues absorbent mieux que la glace l'énergie solaire, ce qui contribue d'autant plus à l'augmentation de la température de l'océan. La fonte amincit aussi la banquise (2) qui, moins résistante, se fragmente plus facilement (3). Cela renforce la fonte de deux façons : par rétroaction mécanique, les fractures augmentant la surface d'eau liquide (4) et par rétroaction dynamique, les plaques de glace fragmentées dérivant plus facilement hors du bassin arctique (5).



© INFOGRAPHIE BRUNO BOURGEOIS

## Banquise, calotte polaire et niveau des océans

**Calotte polaire et banquise sont deux objets différents. La première est un énorme glacier qui se forme sur un continent par accumulation et transformation de couches neigeuses. C'est le cas au Groenland ou en Antarctique. Épaisses de plusieurs kilomètres, ces calottes se déforment et s'écoulent très lentement vers l'océan sous l'effet de leur propre poids, donnant naissance à d'énormes langues de glace flottante dont se détachent les icebergs. Leur fonte ou le vèlage d'icebergs libèrent de l'eau douce dans les océans, contribuant ainsi à l'élévation de leur niveau. La banquise est, quant à elle, de l'eau de surface de l'océan, qui gèle lorsque sa température descend sous  $-1,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Son déclin n'a donc aucune conséquence directe sur le niveau des eaux.**

Par exemple, quand vient l'été, la couche neigeuse déposée au cours de l'hiver précédent à la surface de la banquise peut fondre partiellement. Des mares peu profondes apparaissent. Elles absorbent l'énergie solaire bien plus efficacement que la neige. Elles se réchauffent, accentuant la fonte des glaces sous-jacentes. Selon certains de nos collègues, le fait de ne pas prendre en compte ce processus dans les modèles expliquerait une autre partie (dont l'ampleur n'est pas encore chiffrée) de l'incapacité de ces derniers à reproduire le récent déclin de la banquise.

Que pouvons-nous en déduire sur le comportement futur des glaces de mer et leur devenir ? Quand le bassin Arctique sera-t-il totalement libre de glace en fin d'été ? L'exercice demeure périlleux. Néanmoins, étant donné que l'ensemble des modèles climatiques placent cette échéance vers la fin du XXI<sup>e</sup> siècle et que, comme on l'a vu, ils sous-estiment fortement le déclin observé, on peut logiquement en déduire qu'elle aura lieu bien avant. Quoi qu'il en soit, l'océan Arctique subit et subira des changements profonds et irréversibles. Il s'agit désormais de les appréhender sérieusement tant du point de vue des conséquences climatiques, environnementales, économiques et, bien sûr, géopolitiques. ■

[1] J.C. Stroeve *et al.*, *GRL*, 34, L09501, 2007 ;

*GRL*, 39, L16502, 2012.

[2] R. Kwok *et al.*, *GRL*, 36, L15501, 2009.

[3] P. Rampal *et al.*, *J. Geophys. Res.*, 116, C00D07, 2011.

[4] J. Weiss et D. Marsan, *Images de la physique*, 65, 2011.

[5] P. Rampal *et al.*, *J. Geophys. Res.*, 114, C10014, 2009.

[6] P. Rampal *et al.*, *J. Geophys. Res.*, 114, C05013, 2009.

#### Pour en savoir plus

► « Les pôles, enjeu planétaire », *Les Dossiers de La Recherche* n° 51, octobre 2012.

► <http://bit.ly/ImagesPhysiqueBanquise>  
J. Weiss et D. Marsan, « De la banquise à la croûte terrestre : les lois d'échelle de la fracturation », *Images de la physique*, 2011.

► <http://nsidc.org>