

Les glaces de mer

Marie-Noëlle Houssais

Que les glaces de mer soient issues de la congélation des océans n'a pas toujours été une évidence. En ce milieu du 18^e siècle, Buffon lui-même niait toute capacité à geler de l'eau de mer, voyant la source des glaces dans les apports fluviaux des continents. Une haute mer sans aucune glace devait exister à l'approche du pôle.

Longtemps il a été question de combattre ce milieu hostile plutôt que de le comprendre. Il faudra attendre le 19^e siècle avec le voyage du Fram en Arctique pour que, de l'ère de l'exploration on passe à celle de l'expédition scientifique. A bord du Fram, un explorateur norvégien de renom : Fridtjof Nansen. Depuis la découverte en 1884 des débris de l'épave de la Jeannette transportés à des milliers de kilomètres du lieu de son naufrage, on se doutait que les glaces n'étaient pas immobiles et qu'un grand courant devait traverser l'océan Glacial Arctique. Nansen amène le Fram à se faire prendre dans les glaces et le laisse dériver au gré des vents et des courants. De cette expédition sortira une théorie majeure de l'océanographie, la théorie d'Ekman, expliquant l'effet du vent sur les courants de surface.

Les forces en présence.

D'après les observations de Nansen, les glaces qui enserrent le Fram ne dérivent pas dans le lit du vent mais plutôt à droite du vent, dans une direction faisant un angle de 20 à 40° avec ce dernier. Il explique ce résultat surprenant par les effets de la rotation terrestre et attribue

d'emblée les effets observés à l'action conjuguée de trois forces en présence : la force de Coriolis, la force du gradient de pression et le frottement. En 1835, Coriolis a mis en évidence, pour un mouvement dans un repère tournant, une accélération secondaire (c'est-à-dire dont l'existence est subordonnée à ce mouvement), dite *accélération de Coriolis*, qui contribue à dévier (vers la droite dans l'hémisphère Nord, vers la gauche dans l'hémisphère Sud) le mouvement sans changer l'intensité de sa vitesse. Dans le cas de l'océan de surface, il faut prendre en compte l'effet des forces de frottement dues au vent. On sait maintenant que ces forces ne s'exercent que sur une couche de quelques dizaines de mètres d'épaisseur dont la dynamique est cruciale pour la transmission d'énergie de la surface vers l'intérieur du fluide. Mais lorsque Fridtjof Nansen observe la dérive capricieuse du Fram, ces notions de *couche limite* sont encore inconnues. Il confie la démonstration mathématique de la structure du mouvement au célèbre Vilhelm Bjerknes, alors professeur à l'Université de Stockholm, qui soumet le problème à l'un de ses étudiants, Vagn Walfrid Ekman. L'histoire raconte qu'Ekman en vint à bout en l'espace d'une nuit. Il suppose que la dérive des glaces de mer peut être traitée comme la réponse d'un courant de surface à l'action du vent. Il a de plus l'idée d'appliquer le modèle de viscosité turbulente qui exprime les forces de frottement à partir d'un coefficient de viscosité turbu-

lente et du cisaillement vertical du courant moyen. La théorie d'Ekman montre ainsi que le vent exerce son influence sur une couche de surface dont l'épaisseur est fonction de la latitude et de la viscosité de l'océan mais que, quelque soit cette épaisseur, le transport de masse intégré sur la totalité de la couche est toujours dirigé à 90° à droite du vent dans l'hémisphère Nord et ne dépend pas de la valeur de la viscosité.

Indicateurs de la dynamique océanique, les glaces de mer sont aussi des indicateurs très précieux de la variabilité climatique. Couvrant à peine 25 millions de km² au maximum de leur étendue, en fin d'hiver austral, d'une épaisseur moyenne de l'ordre du mètre, elles pèsent pourtant peu dans l'inertie du système climatique au regard des calottes glaciaires. Mais il suffit de regarder les prévisions des modèles climatiques du Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat pour se convaincre de leur importance.

L'océan Arctique pourrait devenir libre de glace en été d'ici quelques décennies ! On savait déjà que l'étendue des glaces arctiques accusait une diminution persistante de 3 à 4 % par décennie depuis le milieu du 20^e siècle et que l'épaisseur des glaces sur un large domaine de l'Arctique avait subi un amincissement de 40% entre les années 60 et les années 90. Les mesures satellitales disponibles depuis les années 70 ont montré que la diminution d'étendue la plus forte concernait les glaces pluriannuelles subsistant en été et que le

signal s'était accéléré récemment avec la perte de 1.5 millions de km² entre 2006 et 2007. Cette accélération doit être imputée en grande partie au fort pouvoir réfléchissant de la glace qui, blanche, réfléchit de 50 à 80 % du rayonnement solaire. L'océan, bleu, ne réfléchit que 15 à 20 % de cette énergie. Lorsque la glace fond et que la proportion d'eau libre augmente, le pouvoir réfléchissant de la surface diminue et la quantité d'énergie solaire absorbée augmente, amplifiant le réchauffement de la surface et la fonte de glace. Cette rétroaction positive, à laquelle participe aussi l'effet des nuages, confère aux glaces de mer un rôle d'amplificateur des fluctuations climatiques. Ainsi, de témoin du réchauffement climatique, elles en deviennent un acteur. La mise en évidence la plus claire de ces emballements du système climatique liés aux glaces est certainement l'augmentation de la température aux pôles qui, sur la période récente, est double de celle observée en moyenne sur le globe.

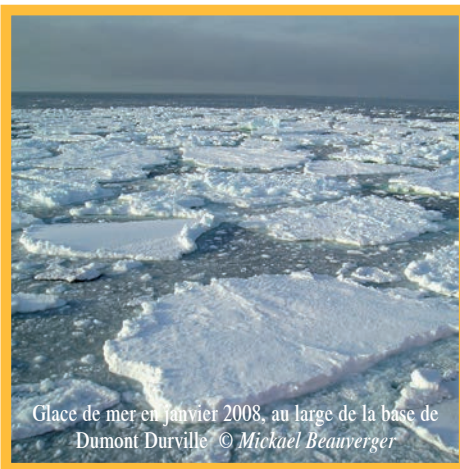
Pourtant, les glaces de mer possèdent leurs propres ressorts. La croissance de glace est un phénomène amorti : plus la glace est épaisse plus sa croissance est lente et, inversement, plus elle est mince (notamment en fin d'été), plus sa croissance (en automne) sera importante. Ainsi, jusque récemment, la banquise hivernale se reconstruisait en dépit des diminutions estivales. Cette compensation saisonnière semble néanmoins avoir marqué le pas puisqu'en 2005 et 2006, la banquise hivernale a connu pour la première fois une brusque diminution. Contrairement aux calottes glaciaires, formées au cours des millénaires par une accumulation lente mais persistante de précipitations neigeuses,

Les glaces de mer

les glaces de mer ont la mémoire courte. Pour moitié d'entre elles en Arctique et presque la totalité autour du continent antarctique, la fonte estivale tend à effacer chaque été les effets de la congélation hivernale. Pourtant leur influence sur le climat s'exerce à plus long terme au travers d'interactions avec l'océan. Au contraire des glaces terrestres, l'enjeu d'une fonte de la banquise arctique n'est pas l'augmentation du niveau des mers (un glaçon fondant dans un liquide ne fait pas augmenter le niveau de ce liquide). Il est dans la modification de la circulation océanique dont l'un des moteurs essentiels est la formation d'eau dense dans les régions polaires. Ce processus de *convection*, résultat de la déstabilisation des eaux de surface sous l'effet du refroidissement, contrôle la branche profonde de la circulation dite *thermohaline*.

La circulation thermohaline

Dans les régions polaires, les pertes de chaleur de l'océan vers l'atmosphère, et donc la convection, sont limitées par l'effet isolant de la glace. Par contre, la congélation tend à renforcer la convection par l'expulsion de la majorité des sels en solution dans l'eau de mer, sous forme de saumures déposées dans la couche de surface. La glace de mer est ainsi environ dix fois moins salée que l'eau de mer dont elle est issue. Cette propriété est depuis longtemps exploitée par les populations Inuits qui utilisent la banquise comme source d'eau *douce* pour leur consommation. Du point de vue de l'océanographe, on a là un lien indissociable entre la formation-fonte des glaces de mer et le renouvellement des



Glace de mer en janvier 2008, au large de la base de Dumont Duville. © Mickael Beauverger

eaux profondes de l'océan. En période de croissance, on forme ainsi sur les plateaux arctiques et antarctiques des eaux denses très salées qui plongent le long du talus continental et viennent alimenter la circulation profonde océanique. A l'inverse, une fonte excessive des glaces marines abaisse la salinité des couches de surface océaniques, stabilise la colonne d'eau et tend à réduire la formation d'eau profonde.

La circulation thermohaline océanique est le gardien de l'équilibre thermique de la planète, notamment parce qu'elle transporte l'énergie reçue du Soleil depuis les tropiques vers les pôles. En ce sens, elle se positionne aussi comme un contrôleur essentiel du maintien des banquises polaires. Ainsi, si la fonte des glaces de mer a le potentiel de ralentir la circulation thermohaline océanique, elle devra subir elle-même les effets de ce ralentissement : moins de chaleur aux pôles signifie une banquise plus étendue. **Le couple océan-glace de mer n'a pas fini de faire parler de lui.**

Marie-Noëlle Houssais.

LOCEAN, Unité Mixte de Recherche CNRS/UPMC / IRD / MNHN, Paris