

tempêtes diverge du courant-jet, traversant l'Atlantique Nord directement vers le Sud de l'Europe et la Méditerranée, où cela apporte un temps plus humide et doux. L'Europe du Nord, au contraire, connaît alors une période de froid sec.

Quant à savoir s'il faut traiter l'OA et le NAO comme deux modes distincts de la variabilité naturelle du climat, les avis des climatologues sont partagés. Certains affirment que le NAO n'est qu'une manifestation nord-atlantique de l'OA ; pour d'autres, les dynamiques sont assez différentes pour justifier un traitement séparé. Si les deux indices sont souvent très corrélés, leurs comportements divergent parfois de façon importante, comme cela fut le cas durant l'hiver 2011-2012.

Il est difficile de distinguer les changements météorologiques liés aux oscillations naturelles du climat de ceux dus aux émissions anthropiques de gaz à effet de serre. Comme ces deux phénomènes se superposent, il est nécessaire d'utiliser des méthodes statistiques pour les sépa-

rer. Des études récentes ont apporté de nouveaux éléments qui renforcent l'idée selon laquelle le réchauffement global et la fonte de la banquise arctique modifient nos hivers actuels en perturbant les rythmes normaux de l'OA et du NAO.

Des conditions réunies pour un temps hivernal

En revenant sur les années 1960, nous constatons que les indices OA et NAO étaient surtout négatifs, conduisant à des hivers plus neigeux et plus froids que la moyenne le long de la côte Est des États-Unis et en Europe du Nord. Il n'y a pas de raison de soupçonner que cette décennie d'hivers rudes ait été liée à autre chose qu'à la variabilité naturelle des indices OA et NAO. Cependant, des années 1970 aux années 1990, l'indice NAO a été le plus souvent positif, à une exception près. Il en a résulté des hivers doux, qui ont coïncidé avec la prise de conscience par la société du problème du réchauffement

global. Cela a conduit de nombreux scientifiques à faire l'hypothèse que l'augmentation des concentrations de gaz à effet de serre expliquerait ce qui semblait être une longue série d'hivers à indice NAO positif. Les modèles auxquels le GIEC se réfère prédisaient que cette tendance allait se poursuivre avec l'augmentation continue des gaz à effet de serre. Et pourtant, la prédominance des hivers à indices OA et NAO fortement positifs s'est inversée peu avant l'an 2000.

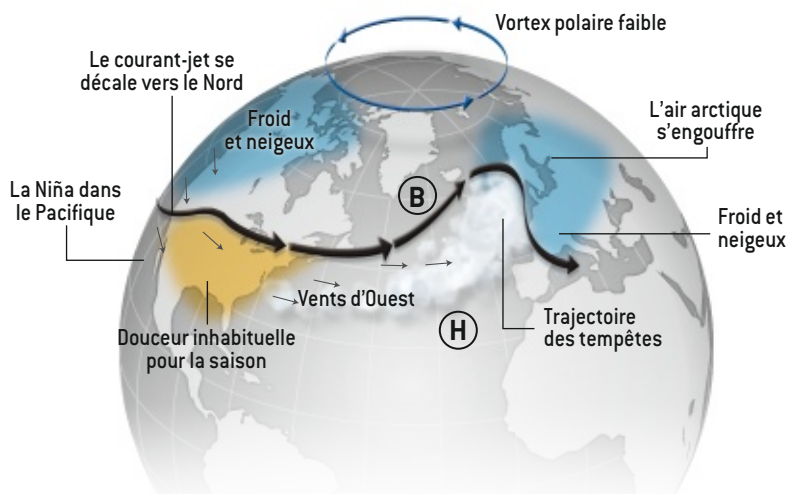
Le fait que cette série d'hivers à indice NAO positif ait pris fin ne signifie pas qu'on se soit trompé en supposant qu'il y avait un rapport entre la hausse des concentrations de gaz à effet de serre et l'oscillation nord-atlantique. Mais ce qui n'avait pas été anticipé à l'époque, c'est l'accélération de l'amplification arctique depuis la fin des années 1990. À partir du moment où les effets du réchauffement global se sont fait sentir au-dessus du cercle polaire, les conditions climatiques ont entamé une phase que Jim Overland et ses collègues de la NOAA ont qualifiée de « période arctique chaude ». Cette période a été caractérisée par un recul rapide de la banquise arctique, du pergélisol et des glaciers continentaux, mais aussi par la fonte en surface de l'inlandis du Groenland – la calotte de glace qui recouvre 80 pour cent de cette île.

Dans chacun de ces changements, le processus dit de rétroaction glace-albédo jouerait un rôle crucial. Il s'agit de la diminution de l'albédo (la réflexion vers l'espace du rayonnement solaire incident sur une région), diminution due à la fonte de la couverture de glace, des surfaces terrestres et maritimes plus sombres se retrouvant exposées. La rétroaction glace-albédo inquiète beaucoup les scientifiques, car le recul de la banquise estivale expose davantage d'eau de mer. Celle-ci absorbe le rayonnement solaire, ce qui conduit à une hausse de la température des eaux de surface et à deux principaux effets de rétroaction. Premièrement, une partie de la chaleur en excès renforce encore davantage la fonte estivale de la banquise. Deuxièmement, l'océan libère lentement le reste de cet excédent de chaleur dans l'atmosphère au cours de l'automne. La pression atmosphérique et l'humidité augmentent dans l'Arctique et réduiraient les différences de température entre les latitudes arctiques et moyennes.

Une hausse de la pression atmosphérique arctique et une diminution du gradient de

CE QUI S'EST PASSÉ DURANT L'HIVER 2011-2012

Des conditions atmosphériques inhabituelles ont conduit à une étrange combinaison de conditions météorologiques extrêmes aux États-Unis et en Europe en 2012. Les oscillations OA et NAO sont souvent synchronisées, avec des indices soit positifs, soit négatifs pour les deux. Durant l'hiver 2011-2012, les deux indices étaient positifs en décembre et début janvier, mais l'OA est devenu négatif à partir de la mi-janvier et jusqu'au début février. Ce changement a permis à de l'air arctique d'envahir l'Europe centrale et de l'Est, où il a apporté un temps très froid et neigeux. En même temps, la combinaison d'un OA négatif et d'un événement La Niña a entraîné des conditions très froides et neigeuses en Alaska. La Niña a aussi influé sur la trajectoire du courant-jet dans le Nord des États-Unis, permettant à de l'air doux du golfe du Mexique de remonter sur l'Est des États-Unis.



Banquise antarctique : une dynamique différente

Si le déclin accéléré de la banquise Arctique fait depuis quelques années la une des journaux, en particulier à l'occasion des records successifs du minimum d'extension estivale, la situation de l'autre côté de la planète semble bien différente.

Le suivi satellitaire de l'extension des glaces de mer antarctiques sur la période 1978-2012 montre même une faible tendance positive pour l'extension spatiale à certaines saisons (une hausse de 0,3 pour cent par an en automne, mais une baisse de 0,08 pour cent par an en hiver). Ces tendances sont toutefois peu significatives, en raison des fortes fluctuations interannuelles et de l'importante variabilité spatiale. En particulier, le déclin est marqué autour de la péninsule Antarctique et de la mer de Weddell, alors que le secteur de la mer de Ross a plutôt vu une extension récente des glaces de mer vers le Nord. Concer-

nant l'épaisseur, autre paramètre crucial pour juger l'évolution de la couverture de glace, on ne dispose pas, à ce jour, de suffisamment de données dans l'hémisphère Sud pour établir une quelconque tendance. Quoi qu'il en soit, aucun déclin généralisé de la banquise australe n'est observé, contrairement à l'Arctique.

Les raisons de ces différences, encore mal comprises, sont diverses. En premier lieu, à la différence de l'Arctique où, du moins jusqu'aux années 1980, la majeure partie du bassin demeurait prise par les glaces toute l'année, la banquise antarctique est saisonnière, réduite en été depuis longtemps. Cette banquise saisonnière subit des fluctuations interannuelles plus marquées du fait de sa plus faible « inertie », ce qui rend difficile le dégagement d'une tendance à long terme.

Une autre raison pourrait résulter de la combinaison de la géogra-

phie et de la circulation atmosphérique australe. L'Antarctique, continent entouré d'un océan, implique que les glaces de mer sont en « dérive libre ». Cela signifie qu'elles sont entraînées par les vents de surface alors que la glace de l'Arctique est bloquée par les côtes canadiennes et groenlandaises proches, ce qui crée des efforts mécaniques internes à la glace. La composante vers le Nord de la circulation atmosphérique circum-Antarctique étant importante, les glaces de mer peuvent être déportées vers le Nord, ouvrant ainsi plus au Sud des zones d'eau libre qui pourront regeler en surface. Cela pourrait expliquer la variabilité régionale constatée.

En outre, il a été montré récemment que, dans l'Arctique, l'association de l'aminçissement de la couche de glace et des contraintes mécaniques, qui fragilisent la banquise, entraîne son déclin. Du fait de la dérive libre de la

banquise australe, la mécanique des glaces jouerait un rôle plus limité sur l'évolution globale en Antarctique.

Par ailleurs, et paradoxalement, l'accroissement (très relatif) des glaces de mer antarctiques résulterait du réchauffement climatique ! En effet, dans les zones polaires, un réchauffement peut renforcer les précipitations neigeuses qui participent au bilan positif de masse de la banquise en l'épaississant par le dessus. Ce mécanisme est souvent évoqué également pour les glaces continentales. En conclusion, si la banquise australe ne joue pour l'instant pas le rôle de sentinelle du changement climatique comme la banquise boréale, son absence d'évolution marquée n'est pas en contradiction avec le réchauffement global.

Jérôme Weiss

Laboratoire de glaciologie et géophysique de l'environnement, (CNRS/Univ. Joseph Fourier), Grenoble

température favorisaient le développement de conditions OA et NAO négatives au cours de l'hiver. Cette situation affaiblirait le vortex polaire et le courant-jet, qui deviendraient moins efficaces pour empêcher les masses d'air arctique froides, avec leur teneur en eau élevée, de s'étendre vers les latitudes moyennes et d'y apporter des épisodes de froid intense et de chutes de neige importantes. De surcroît, un courant-jet affaibli présenterait une trajectoire plus ondulante, et pourrait ainsi enfermer certaines régions dans un régime froid pendant une durée importante. Combinés, ces motifs perturbés de circulation atmosphérique tendraient à provoquer des épisodes de froid hivernal plus fréquents et plus longs en Amérique du Nord et en Europe.

D'autres facteurs peuvent jouer un rôle. Il en est ainsi du phénomène d'oscillation australe El Niño ou ENSO (*El Niño Southern Oscillation*). Il s'agit d'une autre oscillation climatique puissante touchant l'océan Pacifique tropical, un phénomène très irrégulier dont la période évolue entre deux et sept ans : un réchauffement des eaux de surface de l'Est de l'océan Pacifique tropical (événement El Niño) s'accompagne de hautes pressions atmosphériques dans le Pacifique Ouest ; inversement, un refroidissement des eaux à l'Est de l'océan Pacifique (événement

La Niña) s'accompagne de basses pressions dans le Pacifique Ouest.

L'impact de l'Oscillation australe El Niño/La Niña se ressent jusque sur la côte Est des États-Unis, où le courant-jet se décale vers le Sud au cours des années El Niño, ce qui entraîne un temps hivernal plus froid et humide. Inversement, le courant-jet se décale vers le Nord au cours des années La Niña, ce qui produit un hiver plus doux et sec dans cette même région.

Réunies, les conditions d'indices OA et NAO négatifs pendant les années El Niño pourraient renforcer le risque d'hivers froids le long de la côte Est des États-Unis ; c'est ce qui s'est produit en 2009-2010. Les conditions d'indices OA et NAO négatifs peuvent également s'opposer aux effets de La Niña et empêcher les hivers doux attendus : ainsi, durant l'hiver 2010-2011, les températures basses et les chutes de neige record à New York et à Philadelphie ont surpris les prévisionnistes qui, à partir de l'événement La Niña en cours, attendaient des conditions plus douces.

Les changements dans l'Arctique ont beau suggérer pour l'avenir des vagues de froid plus fréquentes et de durée plus longue, nous ne pouvons jamais savoir avec certitude comment cela se traduira pour une année donnée : les prévisions

■ BIBLIOGRAPHIE

J. A. Francis et S. J. Vavrus, **Evidence linking arctic amplification to extreme weather in mid-latitude**, *Geophysical Research Letters*, vol. 39, L06801, 2012.

C. H. Greene *et al.*, **An arctic wild card in the weather**, *Oceanography*, vol. 25, pp. 7-9, 2012.

J. E. Overland *et al.*, **The recent arctic warm period**, *Tellus*, vol. 60(4), pp. 587-597, 2008.

J. Weiss, **Recul des banquises et réchauffement climatique**, *Dossier Pour la Science*, n° 54, janvier-mars 2007.

C. H. Greene et A. J. Pershing, **Climate drives sea change**, *Science*, vol. 315, pp. 1084-1085, 2007.