

Le phénomène climatique de l'Oscillation Nord-Atlantique

A-t-elle une influence sur la date de dégel des lacs de l'hémisphère nord?

L'Oscillation Nord-Atlantique est un phénomène climatique de grande échelle qui définit le climat d'une grande partie de l'hémisphère nord. Etant donné que son influence s'exerce principalement en saison hivernale, l'EAWAG a cherché à savoir si l'Oscillation Nord-Atlantique influait sur le moment du dégel des lacs de l'hémisphère nord. Il s'est alors avéré que la zone d'influence de l'Oscillation Nord-Atlantique s'était décalée au cours des 130 dernières années. Son activité se fait aujourd'hui sentir jusqu'en Sibérie mais elle touche moins l'Amérique du Nord.

La dépression d'Islande centrée sur l'Islande et l'anticyclone des Açores qui s'étend de ce groupe d'îles à la péninsule ibérique constituent le couple climatique le plus important de l'Atlantique Nord (Fig. 1). Le gradient nord-sud qui s'installe entre ces deux pôles au niveau de la pression au sol

n'est évidemment pas constant mais varie en fonction de leur intensité respective. Le va-et-vient de l'air au-dessus de la région nord-atlantique dû à ces fluctuations dans le temps est appelé Oscillation Nord-Atlantique (NAO, «North Atlantic Oscillation»). Si ce phénomène a une action particulière-

ment forte sur les pays au contact direct de l'Atlantique Nord, il influence également le climat d'une grande partie du reste de l'hémisphère nord, notamment aux latitudes élevées [1]. Ainsi, la température moyenne de l'hémisphère nord est liée à la NAO qui expliquerait quasiment un tiers de sa variabilité. L'influence de la NAO sur le climat de l'hémisphère nord est particulièrement sensible de la fin de l'automne au début du printemps.

Implications météorologiques de la NAO

L'Oscillation Nord-Atlantique est généralement décrite à l'aide de l'indice NAO. Cet indice est calculé à partir de la différence de pression au niveau de la mer entre deux stations météo situées près des centres respectifs de la dépression d'Islande et de l'anticyclone des Açores [1]. Si cette différence est très grande, c'est-à-dire si la pression est très faible au-dessus de l'Islande et très forte au-dessus des Açores, l'indice NAO est positif. Il est négatif dans le cas inverse d'une faible différence de pression due à une intensité plus faible de la dépression d'Islande et de l'anticyclone des Açores (Fig. 2).

Un indice NAO élevé en hiver indique donc un fort gradient méridien de pression (aligné sur le méridien) sur l'Atlantique Nord. Ce gradient induit de forts vents d'ouest qui transportent vers l'est et donc vers l'Europe de l'air chaud et humide en provenance de la mer (Fig. 1). Cette dynamique apporte des hivers doux et humides à l'Europe et à une grande partie de l'Asie centrale. A l'inverse, un indice NAO faible est le reflet d'un gradient méridien de pression peu prononcé qui ne génère sur l'Atlantique Nord que des vents d'ouest de faible force et se traduit donc par des hivers secs et froids en Europe. La situation est exactement inverse à l'est du Canada où un fort indice NAO équivaut à de forts vents de nord et donc à des hivers froids tandis qu'un indice NAO faible correspond à des vents de nord plus modérés et donc des hivers plus doux. Les

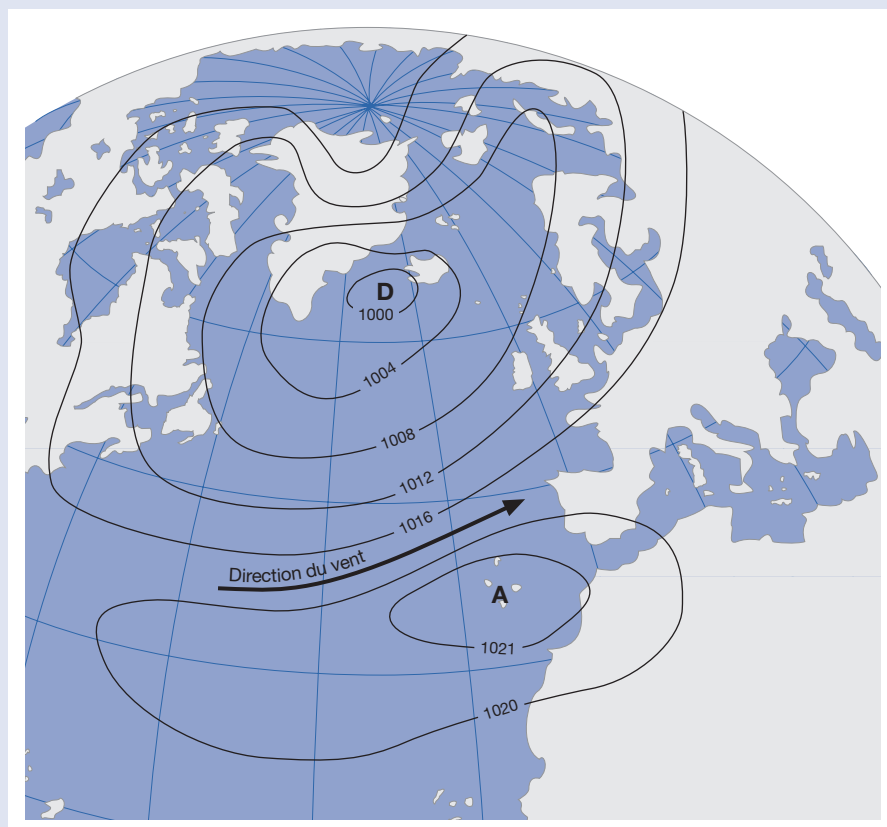


Fig. 1: Distribution de la pression atmosphérique moyenne de janvier au niveau de la mer sur l'Atlantique Nord pendant la période 1941-1970. Sont indiqués la dépression d'Islande, l'anticyclone des Açores et la direction principale des vents qui soufflent sur l'Europe en provenance de l'Atlantique. D'après [2], modifié.



Beat Müller, EAWAG

Le lac Baïkal est complètement gelé pendant 4 à 5 mois par an.

inversions, rares, de la répartition normale des pressions sur l'Atlantique Nord (fortes pressions sur l'Islande et faibles pressions sur les Açores) provoquent un déplacement massif vers le sud des masses d'air polaire qui atteignent l'Europe où elles génèrent des hivers extrêmement froids [2]. Cela s'est produit pour la dernière fois en janvier 1963, date à laquelle même le lac de Zurich avait gelé.

Analyse de séries de données historiques

Le moment de la fonte du bouclier de glace des lacs dépend fortement de la température de l'air en hiver et au printemps (voir aussi l'article p. 19). Etant donné que c'est pendant cette période que l'influence de la NAO sur le climat est la plus forte, on peut supposer qu'elle influe également sur la date de dégel des lacs situés dans son rayon d'action. Cette hypothèse a été testée sur différents lacs de l'hémisphère nord pour lesquels de longues séries de données d'observation de la fonte des glaces étaient disponibles [3–6]. Nous nous pencherons ici sur quatre lacs représentatifs: le Kallavesi en Finlande, le lac de St-Moritz dans les Alpes suisses, le lac Baïkal en Sibérie et le lac Mendota dans le Wisconsin aux USA.

Pour savoir s'il existait réellement un rapport entre la NAO et le dégel de ces quatre lacs, nous avons étudié la corrélation entre les séries de données sur les dates de dégel et les indices NAO saisonniers. Dans l'ensemble, nous nous attendions à observer une corrélation négative étant donné que les indices élevés sont synonymes d'hivers

doux et donc probablement d'un dégel des lacs plus précoce et inversement. D'autre part, pour appréhender les fluctuations dans le temps de l'influence de la NAO, nous avons étudié ces corrélations pour une série de fenêtres de 50 ans qui se succèdent en se chevauchant de 1865–1914 à 1947–1996.

Les coefficients de corrélation obtenus sont représentés en courbes de niveau «contour plots» bidimensionnels dans la figure 3. Pour ce faire, les coefficients de corrélation sont représentés à la fois en fonction de la saison pour laquelle un indice NAO a été calculé et en fonction des fenêtres de données historiques. Les corrélations négatives significatives correspondent aux plages bleues foncées dans les graphiques. Elles indiquent le moment d'une influence probable de la NAO sur la date de dégel du lac correspondant.

La zone d'influence de la NAO s'est-elle déplacée?

Etant donné que l'influence de la NAO sur la température de l'air en Finlande est particulièrement forte [1], nous nous attendions à observer une forte corrélation entre la date de dégel du Kallavesi et l'indice NAO. Nos résultats vont effectivement dans ce sens: Sur toute la durée d'observation, il existe une corrélation négative significative entre le moment de la fonte des glaces et l'indice NAO de l'hiver et du printemps immédiatement précédents (Fig. 3). La corrélation maximale atteinte pour le Kallavesi correspond à une variance commune de 43%, ce qui signifie que 43% de la variabilité de la date de dégel s'expliquent statistiquement par la variabilité de l'indice NAO. Ce pour-

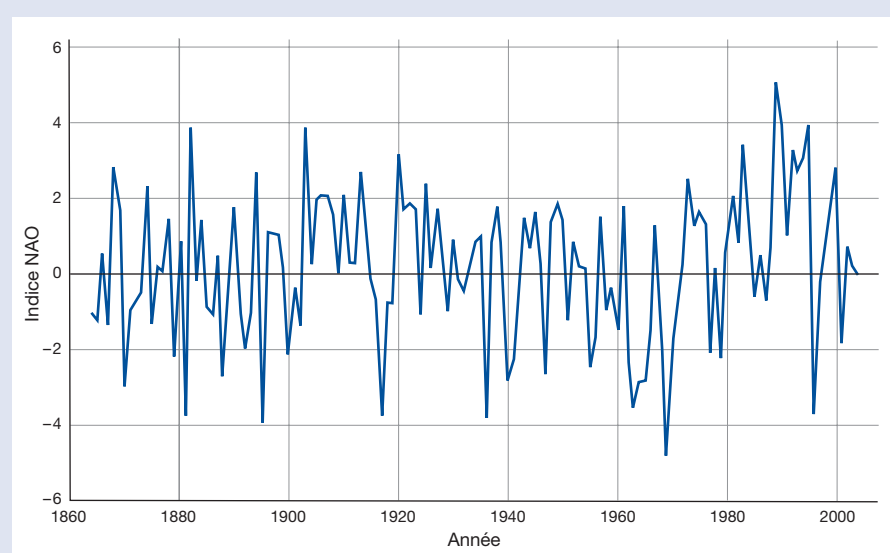


Fig. 2: Fluctuations de l'Oscillation Nord-Atlantique (NAO) en hiver (de décembre à mars) depuis 1864 au vu de l'indice NAO. D'après [1], modifié.

centage est étonnamment élevé, si on considère la grande simplicité de l'indice utilisé par rapport à la complexité des processus climatiques qui agissent sur le Kallavesi.

Le lac de St-Moritz se situe dans une région dont la température est bien moins influencée par la NAO qu'elle ne l'est en Finlande. Nos résultats ne font donc que suggérer une faible relation entre la date de dégel et les indices NAO hivernaux de la dernière période d'observation (Fig. 3). La variance commune atteint tout de même 11% dans ce cas.

Au lac Baïkal, l'influence de la NAO hivernale sur le moment de la fonte des glaces s'est considérablement renforcée au cours des dernières années [5]. Avant la fenêtre 1918–1967, l'oscillation Nord-Atlantique n'avait pas d'influence notable sur le dégel (Fig. 3); dans les périodes qui suivent, la part de la variance de la date de dégel expliquée par l'indice NAO progresse jusqu'à atteindre 16%.

Mais le résultat le plus étonnant de notre étude concerne le lac Mendota (Fig. 3). Dans la deuxième moitié du XX^e siècle, la température du centre de l'Amérique du Nord a été assez peu influencée par la NAO.

La faible corrélation observée entre la date de dégel du lac Mendota et les indices NAO hivernaux des dernières périodes de mesure corrobore cette observation. Si toutefois on remonte plus loin dans le passé, on constate une augmentation du coefficient de corrélation négative qui va jusqu'à indiquer une variance commune comparable à celle calculée pour le Kallavesi pour la période actuelle. Couplé au décalage déjà observé dans le cas du lac Baïkal et soupçonné dans celui du lac de St-Moritz, ce résultat suggère un déplacement vers l'est de la zone d'influence de l'Oscillation Nord-Atlantique au cours des 130 dernières années. Il semble en effet que la NAO ait eu

par le passé une influence beaucoup plus importante qu'actuellement sur le climat de l'Amérique du Nord et qu'à l'inverse, cette influence se soit renforcée en Sibérie.

Pour tenter de conforter les résultats présentés ici, nous nous consacrons actuellement à l'étude d'autres lacs répartis sur différentes régions de l'hémisphère nord. Les premiers résultats indiquent que ces lacs sont eux aussi soumis à l'influence de l'Oscillation Nord-Atlantique. Il semble d'autre part que l'Oscillation Arctique, étroitement liée à la NAO, ait également un rôle à jouer à leur niveau.

Les travaux de recherche présentés ici ont été effectués dans le cadre des projets européens REFLECT, CLIME et Euro-lim-pacs.

David M. Livingstone, voir portrait p. 22.

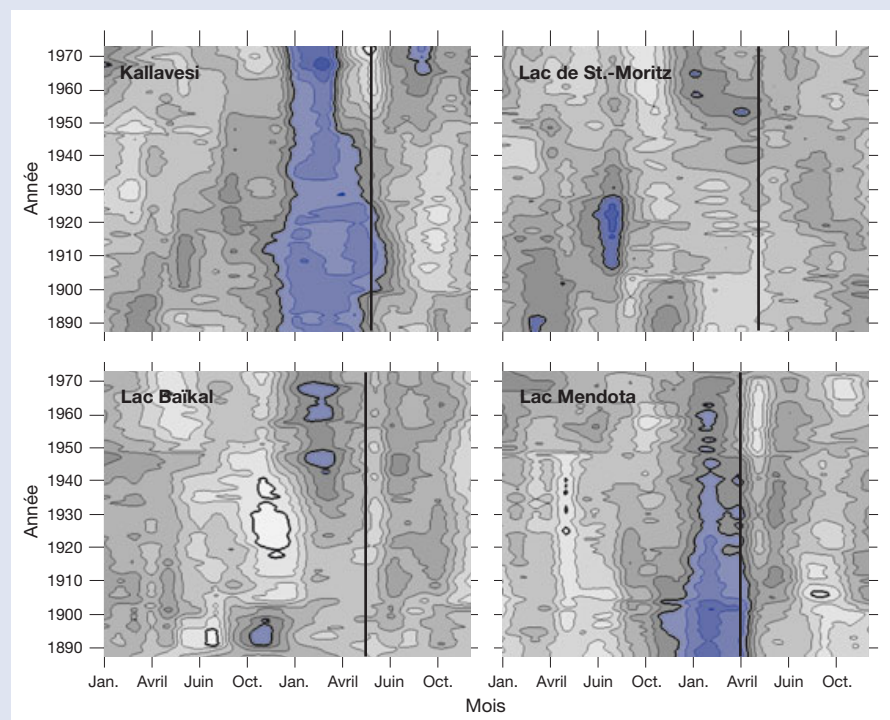


Fig. 3: Représentation en courbes de contour («contour plots») des coefficients de corrélation (r) entre la date de dégel et les indices saisonniers de l'Oscillation Nord-Atlantique (NAO) pour 4 lacs de différentes parties de l'hémisphère nord: Kallavesi, Finlande; Lac de St-Moritz, Suisse; Lac Baïkal, Sibérie; Lac Mendota, Wisconsin, USA. Les indices saisonniers de la NAO (axe horizontal) portent respectivement sur 3 mois (de janvier à mars par ex.). Toutes les corrélations ont été calculées en fenêtres de 50 ans (axe vertical) (de 1871 à 1920 par ex.). Pour une représentation plus simplifiée, seul le mois central des saisons et l'année centrale des fenêtres ont été indiqués respectivement en abscisse et en ordonnée. Les coefficients de corrélation négative significatifs sont indiqués par les plages bleues. L'espacement des courbes de contour est de 0,1. Les lignes épaisses qui entourent les plages bleu foncé et les zones gris clair correspondent respectivement à $r = -0,3$ et à $r = +0,3$. Les valeurs $r = \pm 0,28$ et $r = \pm 0,36$ sont respectivement significatives à $p = 0,05$ et à $p = 0,01$. La ligne verticale indique la date moyenne de dégel du lac correspondant. D'après [3], modifié.

[1] Hurrell J.W. (1995): Decadal trends in the North Atlantic Oscillation: regional temperatures and precipitation. *Science*, 269, 676–679.

[2] Moses T., Kiladis G.N., Diaz H.F., Barry R.G. (1987): Characteristics and frequency of reversals in mean sea level pressure in the North Atlantic sector and their relationship to long-term temperature trends. *Journal of Climatology* 7, 13–30.

[3] Livingstone D.M. (2000): Large-scale climatic forcing detected in historical observations of lake ice break-up. *Verhandlungen der Internationalen Vereinigung der Limnologie* 27, 2775–2783.

[4] Livingstone D.M. (2000): Der grossskalige Einfluss der nordatlantischen Oszillation auf das Auftauen von Seen in der nördlichen Hemisphäre. *EAWAG Jahresbericht 1999*, Dübendorf, S. 39–40.

[5] Livingstone D.M. (1999): Ice break-up on southern Lake Baikal and its relationship to local and regional air temperatures in Siberia and to the North Atlantic Oscillation. *Limnology and Oceanography* 44, 1486–1497.

[6] Stralle D., Livingstone D.M., Weyhenmeyer G.A., George D.G. (2003): The response of freshwater ecosystems to climate variability associated with the North Atlantic Oscillation. In: *The North Atlantic Oscillation: Climate significance and environmental impact* (eds. J.W. Hurrell, Y. Kushnir, G. Ottersen and M. Visbeck). American Geophysical Union, Geophysical Monographs Series Volume 134, 263–279.