

## Le vent, amplificateur des changements climatiques de l'âge glaciaire

*Comment expliquer les oscillations climatiques très brutales du dernier âge glaciaire ? La modélisation montre que, parmi les autres composantes du système couplé océan-glace-atmosphère, le régime des vents a joué un rôle important par son action sur la dérive de la banquise vers le sud.*

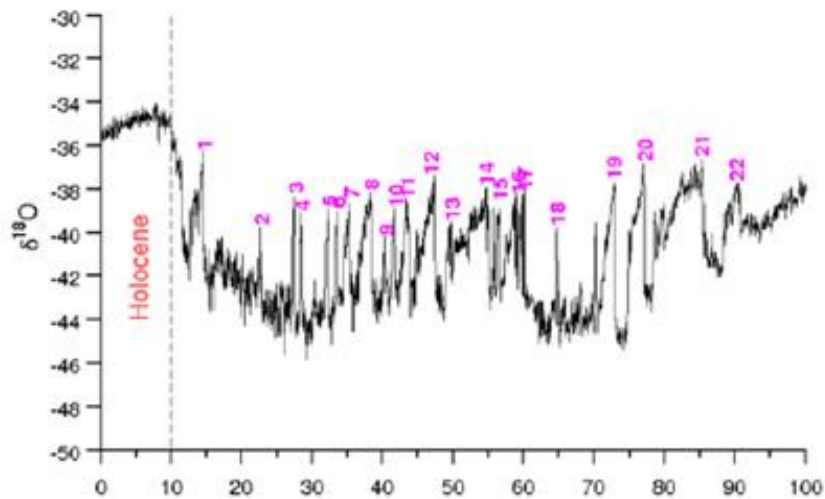


L'étude des événements climatiques passés aide à comprendre les interactions entre l'atmosphère, l'océan et les continents. La Terre a déjà connu des changements climatiques très brutaux, et ceux qui se sont produits au dernier âge glaciaire intéressent beaucoup les climatologues. Connus sous le nom d'événements Dansgaard-Oeschger (DO), ils consistaient en un réchauffement très brutal (jusqu'à 16°C sur le Groenland en quelques décennies) suivis d'une période de refroidissement plus progressif, et survenaient en moyenne tous les 1000 à 2000 ans, entre 30 000 et 60 000 ans avant le présent.

On admet généralement que les variations de la circulation méridienne de retournement de l'Atlantique (MOC) y ont joué un rôle. Cette circulation à grande échelle est due aux différences de densité de l'eau de mer et aux vents ; elle peut schématiquement être décrite par un écoulement vers le Nord en surface (Gulf Stream et dérive Nord Atlantique) et un retour vers le Sud en profondeur. Ses variations ne peuvent à elles seules expliquer les fortes variations de température observées. Leur effet sur le climat des hautes latitudes est en fait fortement amplifié par la glace de mer, et en particulier par l'effet rétro-actif de son pouvoir réfléchissant, mesuré par l'albédo. Si l'océan transporte plus de chaleur vers le nord dans l'océan Atlantique, la glace de mer Arctique fond. L'océan Arctique de surface absorbe alors plus de radiations solaires et se réchauffe, amplifiant ainsi la fonte initiale de la glace.

Si la rétro-action due à l'albédo est assez bien connue, il n'en est pas de même d'une rétro-action atmosphérique par laquelle le vent peut modifier la répartition des glaces et donc agir en retour sur la réponse de la température de l'air à un changement dans l'intensité de la MOC.

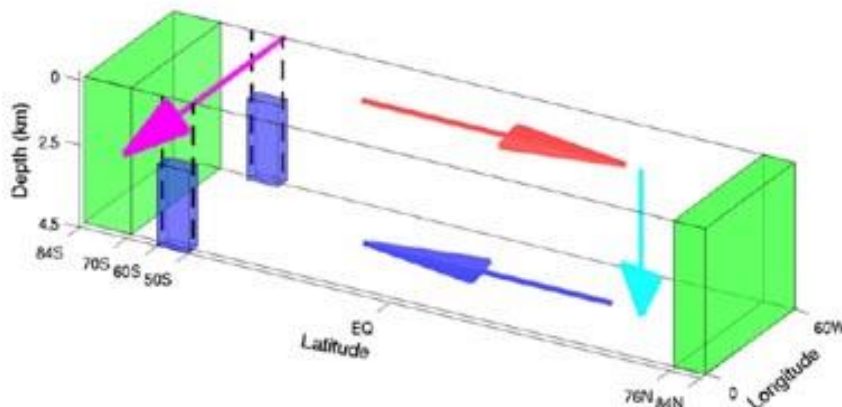
.../...



*Le rapport isotopique  $\delta^{18}\text{O}$ , témoin fidèle de la température de l'air, montre l'évolution du climat au Groenland depuis 100.000 ans. Les évènements DO (numéros) sont absents de la période interglaciaire la plus récente (Holocène).*

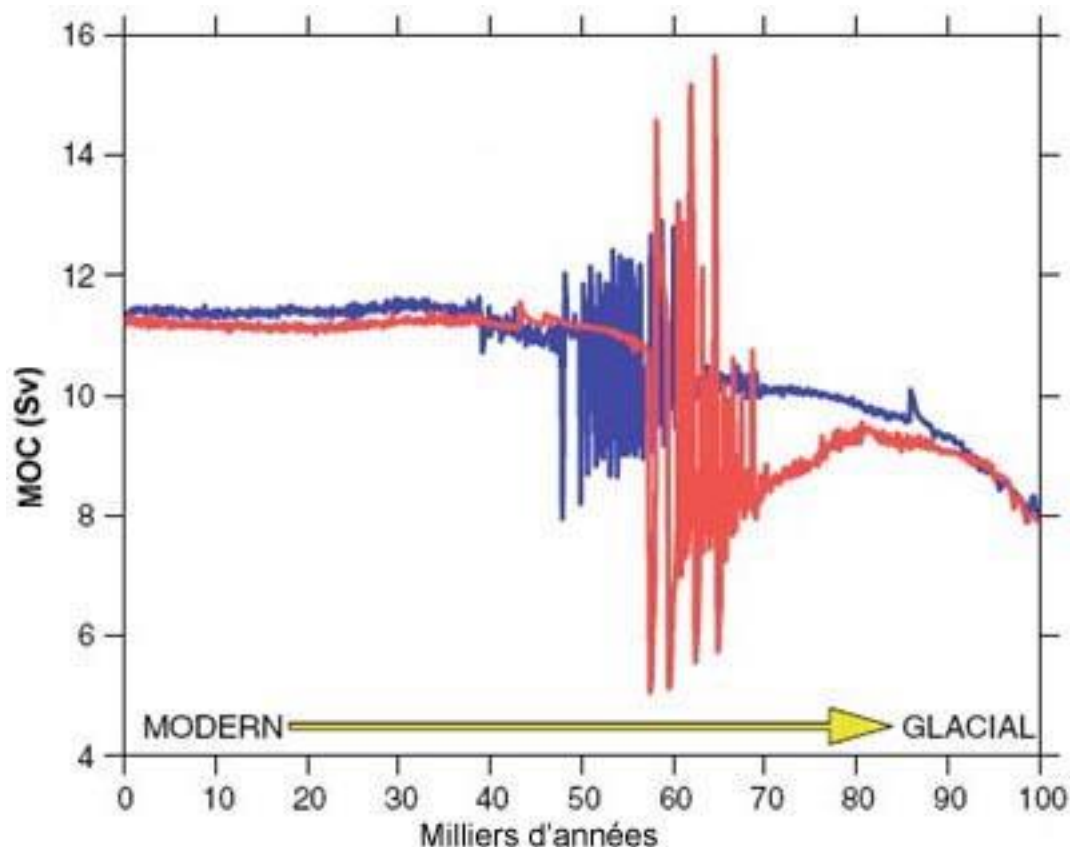
Cette étude a consisté à simuler le système couplé océan-glace-atmosphère pour mieux comprendre l'influence qu'a pu avoir les changements de circulation atmosphérique sur sa stabilité et sur la variabilité abrupte millénaire caractéristique des climats glaciaires. Les chercheurs ont comparé les résultats de simulations numériques où le vent évolue en interaction avec le climat avec d'autres où le vent suit un cycle saisonnier constant quelles que soient les conditions climatiques et océaniques. Ils ont utilisé un modèle couplé océan-atmosphère-glace de complexité intermédiaire entre celle des modèles conceptuels très simples et celle des modèles utilisés pour la prédiction du climat.

La géométrie du modèle est fortement idéalisée. Elle consiste en un bassin océanique dont les dimensions correspondent approximativement à celles de l'Océan Atlantique. Un canal périodique est présent aux latitudes subpolaires de l'hémisphère Sud afin de représenter le Courant Antarctique Circumpolaire. L'espace est découpé en mailles horizontales de  $2^\circ$  de côté et en 19 couches de 50 à 450 m d'épaisseur. Cette approche doublement idéalisée (géométrie et physique) est nécessaire étant données les longues échelles de temps mises en jeu. En effet, faire ces simulations avec un modèle couplé de circulation générale, comme ceux utilisés pour la prédiction du climat sur le 21ème siècle, demanderait des ressources informatiques qui sont bien au-delà de ce qui existe aujourd'hui. Cette approche est également justifiée par le fait que pour établir des relations causales entre différents processus physiques dans un système couplé complexe, il est nécessaire de conduire des expériences de sensibilité aux paramètres.



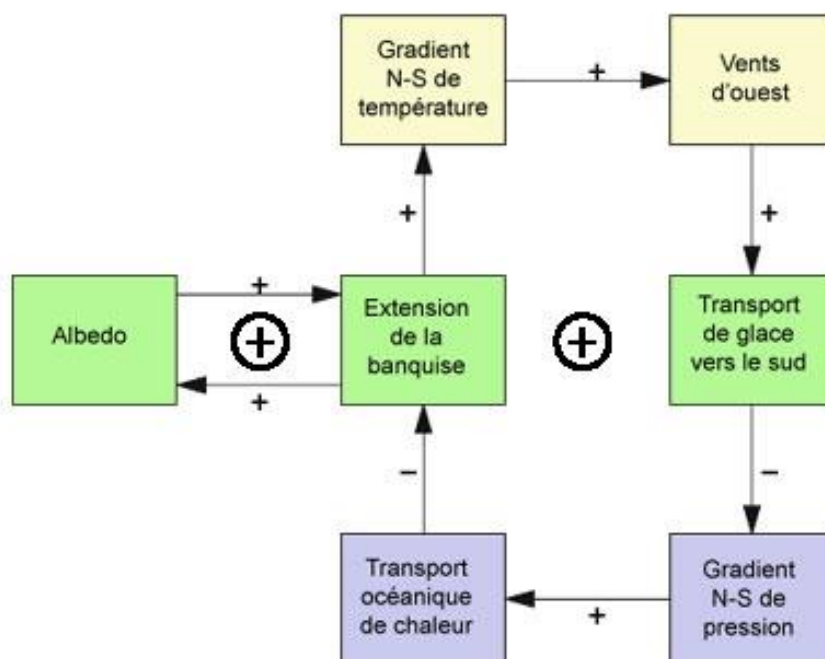
*Géométrie du modèle. Les flèches indiquent la circulation grossière générée dans le bassin*

L'expérience de base a consisté à refroidir le système climatique sur une très longue durée (100 000 ans), avec ou sans prise en compte de l'interaction entre le vent et le climat; d'autres simulations plus ciblées ont permis d'affiner l'analyse. Un premier résultat est que, aux climats intermédiaires, la MOC perd sa stabilité et subit de très fortes oscillations d'échelle millénaire dont la structure temporelle et spatiale ressemble aux évènements DO observés. Cette simulation est en accord avec les archives paléoclimatiques enregistrées dans les carottes de glace du Groenland qui montrent que les évènements DO ont eu lieu pour des valeurs intermédiaires du volume des calottes glaciaires. Le modèle montre aussi que l'interaction entre le vent et le climat augmente l'amplitude des oscillations et les déplace vers des climats plus froids.



*Intensité de la MOC (en Sverdrups, 1 Sv = 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/s) au cours du refroidissement progressif simulé, avec (rouge) ou sans (bleu) prise en compte de l'interaction entre le vent et le climat*

Par quels mécanismes cette interaction augmente-t-elle l'amplitude de la variabilité abrupte millénaire ? Si la rétro-action positive liée à l'albédo est simple, les processus atmosphériques, océaniques et impliquant la banquise interagissent de façon très complexe dans une chaîne de relations de cause à effet qui est généralement difficile à établir. Dans le cas présent cependant, les auteurs ont pu établir les relations causales qui surviennent dans le système couplé océan-glace-atmosphère. L'effet de l'interaction entre le vent et le climat se combine avec la rétro-action glace-albédo pour augmenter l'amplitude des oscillations : une nouvelle boucle de rétro-action positive émerge dans le système couplé. C'est à travers son effet sur l'export de glace de mer que l'interaction entre le vent et le climat est capable d'amplifier la réponse atmosphérique à un changement de circulation océanique.



*Mécanismes de rétro-action positive entre l'atmosphère (beige), la glace (vert) et l'océan (mauve), et reposant sur l'albédo (à gauche) et le rôle des vents (à droite). Selon les cas, l'impact d'un paramètre sur un autre (flèche) est positif (+) ou négatif (-)*

Le deuxième effet de l'interaction entre le vent et le climat est de décaler le domaine d'existence des oscillations vers des climats plus froids. Pour comprendre cela il faut s'intéresser non plus à la variabilité du système couplé mais à sa stabilité. La stabilité de la MOC Atlantique est due au transport océanique de chaleur vers le Nord, véritable régulateur climatique : si la circulation diminue, le gradient nord-sud de température se renforce et la relance. Lorsque ce régulateur s'affaiblit, une instabilité apparaît et déclenche (sous certaines conditions) des oscillations abruptes millénaires. Or les simulations numériques montrent que l'interaction vents-climat renforce cette rétroaction négative entre la température et la circulation : la fenêtre d'oscillations est donc repoussée vers les climats plus froids du fait d'une plus grande stabilité de la circulation vis à vis de la "froideur" du climat.

Cette étude montre que l'interaction entre le vent et le climat peut significativement altérer les propriétés de la variabilité climatique abrupte millénaire telle qu'observée au cours de la dernière période glaciaire dans les carottes de glace du Groenland. La robustesse de ce résultat devra être évaluée dans des modèles couplés à complexité croissante et bien entendu confrontée aux futures reconstructions des climats glaciaires.

## L'article

O. [Arzel](#) et M. H. England, 2012. Wind-stress feedback amplification of abrupt millennial-scale climate changes. *Climate Dynamics* publié en ligne, doi 10.1007/s00382-012-1288-1

## Les auteurs

Ce travail est le fruit de la collaboration de chercheurs du [Laboratoire de physique des océans](#) (LPO) de l'IUEM et du [Climate Change Research Centre](#) de l'Université de Nouvelles-Galles du Sud à Sydney (Australie).

## La revue

Publié par l'éditeur international Springer, *Climate Dynamics* couvre tous les aspects de la dynamique du système climatique global. La revue publie des travaux de recherche paléoclimatologiques, diagnostiques et de modélisation analytique et numérique sur la structure et le comportement des composants climatiques ; atmosphère, océans, cryosphère, biomasse et surfaces terrestres.

## Pour en savoir plus

O. Arzel et A. Colin de Verdière, 2012. Instabilités de la circulation thermohaline Atlantique : implications pour les changements climatiques rapides de la dernière période glaciaire. [Courants 2, 2-8.](#)

## Contacts

Auteurs : consulter [l'annuaire de l'IUEM](#)

Service Communication et médiation scientifique : [communication.iuem@univ-brest.fr](mailto:communication.iuem@univ-brest.fr)