

## ÉVOLUTION DU CLIMAT ET DE L'OCÉAN



Pr Édouard Bard

Étude parue dans la revue *Nature*, 15 juillet 2009.

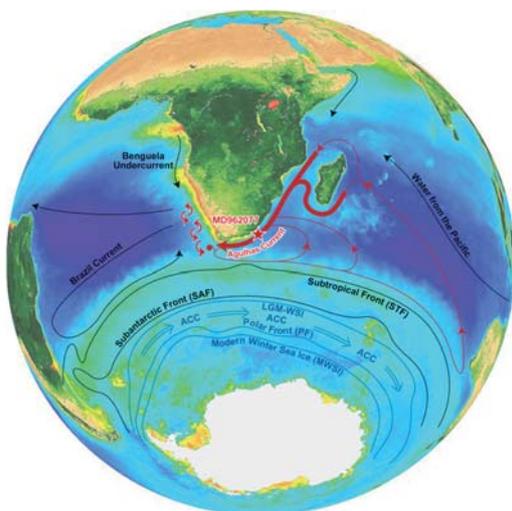
L'océan peut-il amplifier les changements climatiques ou les réguler ? En collaboration avec Ros Rickaby de l'université d'Oxford, nous venons d'apporter quelques nouveaux éléments à cette question (Bard & Rickaby 2009 *Nature*). Nos travaux sont focalisés sur un problème encore débattu, mais fondamental en climatologie : la relation CO<sub>2</sub>-température aux échelles de temps glaciaires-interglaciaires et les rétroactions de l'océan. Nous proposons un mécanisme d'amplification lié à la « route chaude » du retour de la circulation océanique à grande échelle, baptisée abusivement circulation thermohaline mondiale et souvent représentée, pour la simplifier à l'extrême, par un énorme « tapis roulant » connectant les différents bassins profonds des océans Atlantique, Indien et Pacifique.

Pour ce faire, nous avons étudié le rôle de la variabilité spatio-temporelle du courant des Aiguilles (Agulhas Current) et de ses dépendances (rétroflexion et tourbillons), notamment le courant marin d'eaux chaudes et salées qui passent en surface de l'océan Indien à l'océan Atlantique, au sud de l'Afrique. Il s'agit d'un phénomène océanographique assez complexe, qui prend sa source dans le détroit du Mozambique, entre Madagascar et le continent africain. Dans cette région, un courant chaud de surface, le courant des Aiguilles – analogue au Gulf Stream ou au Kuroshio dans le Pacifique – descend vers le sud le long des côtes de l'Afrique. Pour l'essentiel, il repart vers l'Est un peu au sud de Madagascar (courant de Rétroflexion). Mais une partie s'échappe vers l'ouest en se manifestant par des tourbillons, ou anneaux, d'eaux chaudes et salées qui passent le cap de Bonne Espérance et viennent se mêler aux eaux de surface de l'Atlantique Sud. Cette « route chaude » est étudiée aujourd'hui par les satellites qui observent la topographie de l'océan, ainsi que ceux qui regardent la « couleur » des eaux de surface pour en déduire leur température (IR) ou leur teneur en chlorophylle.

L'ouverture ou la fermeture de cette véritable « porte » des Aiguilles est liée à la position en latitude du front subtropical et

des vents d'Ouest (« quarantièmes rugissants »). Nos travaux peuvent expliquer pourquoi certaines périodes glaciaires détiennent les records de froid et de volume de glaces. Pour arriver à cette conclusion, nous avons utilisé de nombreuses données paléocéanographiques, permettant de reconstituer l'évolution des courants marins, de la productivité biologique (la richesse en plancton des eaux de surface) et de l'hydrologie de cette région de l'Océan, en liaison avec les glaciations des 800 000 dernières années. Nos arguments sont fondés sur les enregistrements géochimiques d'une carotte de sédiments marins située stratégiquement dans le courant des Aiguilles juste avant la « fuite » vers l'Atlantique et la rétroflexion vers l'Océan Indien. Cette carotte a été collectée par le Marion-Dufresne, navire de l'Institut Polaire Français, équipé du plus puissant carottier du monde. Les analyses physico-chimiques ont été réalisées au CEREGE d'Aix-en-Provence et à Oxford. Les signaux de température, de productivité et de mélange Atlantique-Pacifique indiquent clairement que la « route chaude » a subi de grandes variations. Pendant les deux périodes glaciaires les plus froides (Marine Isotope Stages 12 et 10), la porte des Aiguilles était pratiquement fermée en raison d'un déplacement de 7° vers le nord du front subtropical, renvoyant le courant en totalité dans l'Océan Indien, et affaiblissant la circulation océanique profonde et l'arrivée d'eaux chaudes au nord de l'Europe. Cette modulation océanographique expliquerait l'intensité particulière du climat global de ces époques.

Le courant des Aiguilles et la « route chaude » ont manifestement joué un rôle climatique dans le passé. Ces phénomènes pourraient aussi intervenir dans le climat futur qui sera marqué pour l'essentiel par le réchauffement climatique provoqué par nos émissions de gaz à effet de serre. En effet, les mécanismes que nous étudions fonctionnent aussi dans l'autre sens, c'est-à-dire en réponse à une migration vers le Pôle Sud des vents d'Ouest et du Front Subtropical. Une telle migration est observée actuellement et devrait se renforcer dans le futur. Les modèles numériques montrent qu'une migration vers le sud par rapport à la situation actuelle, induira un renforcement de la « fuite » des Aiguilles et



donc un renforcement de la circulation profonde Atlantique.

Cet effet contribuera par conséquent à renforcer la circulation profonde Atlantique, même si au nord de l'Atlantique d'autres mécanismes auront une tendance inverse. En effet, la circulation profonde sera aussi perturbée par le réchauffement, car les changements conjugués de la température et du cycle de l'eau seront de nature à diminuer la densité des eaux de surface de l'Atlantique Nord, donc la plongée dans les zones de convection profonde. Les modèles couplés océan-atmosphère perturbés par les gaz à effet de serre répondent généralement par une diminution progressive de l'intensité de la circulation profonde. Il est possible que les mécanismes que nous étudions soient à l'origine de certains désaccords entre les différentes réponses des modèles. Il faut donc faire un effort de diagnostic en comparant les simulations, mais aussi apporter des améliorations significatives aux modèles qui doivent réellement reproduire les tourbillons et pas seulement paramétriser un transport total.

Le réchauffement induirait donc une migration vers le pôle sud du front subtropical et une intensification de la route chaude, ce qui contribuerait à alimenter l'arrivée d'eaux chaudes vers l'Atlantique nord et, en réaction, la plongée d'eaux de surface vers les profondeurs dans les Mers Nordiques. Le risque de voir la circulation océanique profonde s'affaiblir serait donc moindre. Si les conséquences en termes de climat régional (précipitations sur l'Afrique notamment) ou sur la productivité de cette région de l'océan (très riche en poissons le long des côtes namibiennes) sont encore imprévisibles, nos recherches mettent en évidence une rétroaction océanographique négative (qui a donc tendance à stabiliser la circulation).

Alors que notre article était en phase de revue par les pairs, notre proposition a été étayée par des observations récentes de l'Océan Austral. Le laboratoire d'océanographie de l'université du Cap vient de publier un article sur la variabilité récente du courant des Aiguilles (Rouault et al. 2009 *GRL*). Cette étude d'océanographie satellitale, instrumentale et de modélisation numérique indique clairement que le courant des Aiguilles s'est réchauffé depuis les années 80 et que la « fuite » vers l'Atlantique a même augmenté, chaque décennie, d'environ quatre millions de mètres cubes par seconde.

Comme pour la variabilité observée récemment en Atlantique Nord, il est encore difficile de savoir

s'il s'agit d'une fluctuation cyclique naturelle, ou si nous voyons dans cette zone des activités humaines. Il faut noter que la tendance actuelle des vents d'Ouest est attribuée d'abord à la baisse d'ozone au niveau du pôle sud. Néanmoins, les modèles climatiques montrent que le réchauffement lié aux autres gaz à effet de serre aura aussi une influence dans le même sens avec une migration vers le sud des vents d'ouest et du front subtropical.

L'effet de stabilisation de la « porte » des Aiguilles est-elle une bonne ou une mauvaise nouvelle dans le contexte actuel de réchauffement mondial qui devrait se poursuivre en toute logique ? Certains pourraient y voir une influence défavorable car une diminution de la circulation profonde de l'Atlantique pourrait contribuer à refroidir certaines régions de l'hémisphère nord. En fait, le problème est plus compliqué qu'il n'y paraît :

Même si les modèles climatiques répondent de façon similaire par une diminution de l'intensité de la circulation profonde, il n'y a pas de consensus sur l'amplitude de cette diminution qui varie de 10 à 50 % après un siècle. De plus, il n'est pas complètement exclu qu'à partir d'un certain seuil, la circulation bascule dans un autre état stable où elle serait encore plus affaiblie. D'après les modèles, on n'atteindrait pas ce seuil avant plusieurs siècles. Mais tout dépend de l'intensité de la perturbation anthropique et du degré de réalisme du modèle (notamment de la modélisation de la calotte du Groenland). À l'échelle du siècle, si l'on ne passe pas ce seuil, le seul effet sera un réchauffement moindre dans la région du Nord de l'Atlantique. Mais si l'on atteint un point de bifurcation, alors on pourrait assister, dans une Terre globalement plus chaude, à un refroidissement localisé sur l'Atlantique Nord.

On pourrait donc voir cela d'un bon oeil si l'on habite à proximité de cette zone géographique, mais un tel événement aurait des répercussions tellement néfastes dans des zones plus éloignées (sur les températures et les précipitations ainsi que sur le pompage du CO<sub>2</sub> par l'océan) que l'on peut encore considérer que la stabilisation de la circulation profonde est plutôt une bonne nouvelle pour le climat de notre planète. ■

Pour en savoir plus :

Bard E, Rickaby R. Migration of the Subtropical Front as a modulator of glacial climate. *Nature* 406, 380-383, (2009).

Contacts chercheurs :

Édouard BARD (Professeur au Collège de France, Responsable de l'équipe Géochimie et Paléocéanographie du CEREGE) : bard@cerege.fr