

conséquences de l'arrêt de cette circulation sur le réchauffement global. Une réaction en chaîne des plus catastrophiques !

• • •

Tatihou sous la neige,
décembre 1995, Coll. Musée Maritime de Tatihou.



Le Gulf Stream et son rôle sur le climat

Point de vue d'un Océanographe physicien

ROLE DU GULF STREAM DANS L'EQUILIBRE CLIMATIQUE TERRESTRE

Afin de bien comprendre les relations entre le Gulf Stream et le climat, il est fondamental de bien distinguer deux contributions très distinctes à ce grand courant océanique. D'un point de vue dynamique, le Gulf Stream résulte principalement de la structure des vents dans l'Atlantique nord, et en tant que tel, des modifications profondes de son intensité sont très peu probables dans le cadre du réchauffement climatique. D'un point de vue plus thermodynamique, une partie des eaux du Gulf Stream ne réintègre pas le tourbillon subtropical mais part dans le tourbillon subpolaire où, à force de refroidissement, sa température diminue, sa profondeur augmente, jusqu'à disparaître de la surface sous forme d'un courant profond. L'eau profonde nord atlantique, qui s'écoule vers le sud à une profondeur d'environ 2000 m, tout le long des continents américains, rejoint finalement les eaux du courant antarctique circumpolaire. Cette circulation, due aux différences de densité entre des eaux de température et de salinité différentes, est appelée la circulation thermohaline (*en grec thermos, chaud, et halos, sel*). Cette boucle verticale, où, dans l'Atlantique nord, les eaux de surface chaudes et salées circulent vers le nord alors que les eaux profondes, froides, reviennent vers le sud, tel un immense radiateur, a un rôle plus important sur le climat que les cellules horizontales des tourbillons subtropicaux et subpolaires mis en mouvement par les vents (*la différence de température entre les branches vers le nord et vers le sud étant bien plus importante, plus de 10°C*).

Par exemple dans le Pacifique nord, océan moins salé que l'Atlantique, le Kuroshio est le pendant du Gulf Stream le long des côtes du Japon, pourtant la circulation thermohaline est très faible, les eaux de surface n'atteignant pas une densité suffisante pour former des eaux profondes. Dans l'hémisphère nord, la formation des eaux profondes dans l'Atlantique nord est une caractéristique très particulière et fondamentale pour le climat des régions limitrophes. Néanmoins d'autres processus contribuent largement à la douceur de nos hivers : des vents

majoritairement du sud-ouest, nous amenant de l'air s'étant adouci au contact de l'océan (*son inertie thermique réduit les variations saisonnières de température à quelques degrés Celsius*).

Il reste encore de larges incertitudes sur les contributions relatives de l'océan et de l'atmosphère au transport de chaleur des régions tropicales (*qui reçoivent plus de chaleur du soleil qu'elles n'en renvoient, donc excédentaires*), vers les régions polaires, déficitaires. La part de l'océan dans cette redistribution de chaleur à la surface du globe varie selon les estimations, de 50 % pour les plus récentes à 100 % de la part de l'atmosphère, et la circulation thermohaline y contribue pour moitié.

LES VARIATIONS DU GULF STREAM ET DE LA CIRCULATION THERMOHALINE

Le Gulf Stream semble répondre aux variations dominantes des vents, modulés par l'Oscillation Nord Atlantique (NAO) qui correspond à un échange de masse d'air entre les basses pressions d'Islande et les hautes pressions des Açores. Pour définir la position du Gulf Stream, les océanographes se basent en général sur la position de l'isotherme 15°C à 200 m de profondeur. Ainsi des chercheurs ont pu mettre en évidence des variations de cette position de l'ordre d'une centaine de kilomètres, plus au nord lors des années de NAO positive (*où les vents d'ouest sont plus forts*), et plus au sud lors des périodes de NAO négative. L'influence de

cette position sur le climat, en terme de transport de chaleur vers les hautes latitudes par exemple, n'est pas bien connue.

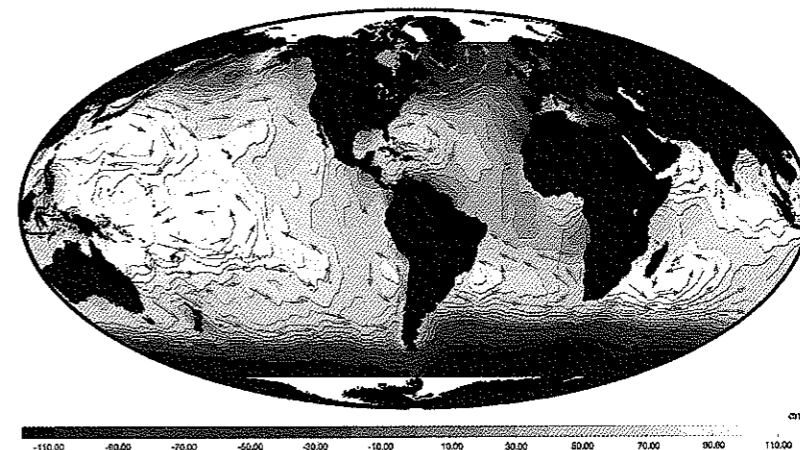
Grâce aux mesures de température et de salinité réalisées en nombre suffisant dans l'océan depuis une cinquantaine d'années environ, on observe une diminution de la salinité des régions subpolaires de l'Atlantique nord, mais également une augmentation de la salinité des régions subtropicales. Ces deux évolutions combinées peuvent se compenser quant à leur influence sur la circulation thermohaline, la différence de densité entre les deux régions restant constante. Pourtant de nombreux chercheurs s'inquiètent de voir la densité des eaux polaires diminuer ainsi, se demandant si en dessous d'un certain seuil, la formation des eaux profondes pourrait s'interrompre, comme cela a eu lieu par le passé.

Les mesures directes de la circulation thermohaline sont très difficiles : il faut mouiller des courantomètres pendant des mois, voire des années, pour suivre les changements des courants. Les sections hydrographiques à travers l'Atlantique sont entachées d'erreurs dues à leur réalisation à une époque donnée de l'année, et à l'intersection de tourbillons très énergétiques.

PEUT-ON FAIRE DES PREVISIONS DANS LE CADRE DU RECHAUFFEMENT CLIMATIQUE ?

La prévision des changements de la circulation océanique en réponse au réchauffement climatique est un objectif encore très ambitieux. A dire vrai,

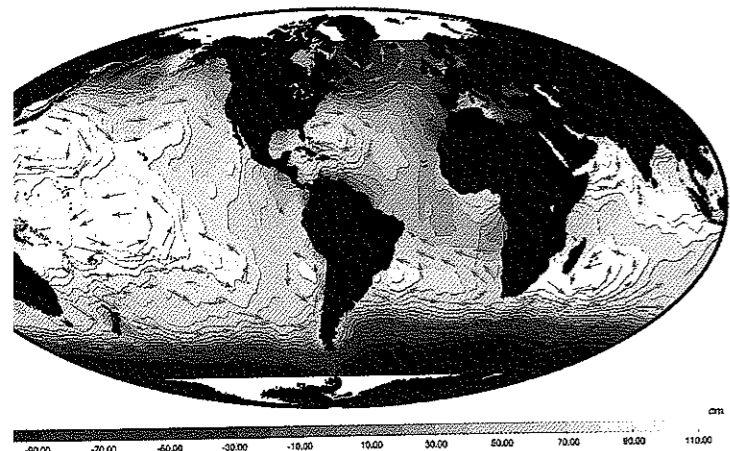
Topographie dynamique de la surface de la mer observée par TOPEX/POSEIDON



Niveau de la mer moyen (1993-2003, anomalie par rapport au géoïde, en centimètre), à partir des mesures altimétriques du satellite Topex-Poseidon. Les flèches rouges indiquent la direction des courants de surface.

on ne sait pas chiffrer exactement quelle était la circulation océanique moyenne avant que l'homme ne commence à la perturber en réchauffant le climat : certes les modèles le font mais donnent des résultats significativement différents entre eux. Cette modélisation restera un exercice difficile car, comme pour la circulation atmosphérique, des processus de très petites échelles spatiale et temporelle interagissent avec des processus d'échelles globales. Ainsi la plupart des précipitations ont lieu dans des fronts orageux de quelques kilomètres de large, de même la formation des eaux profondes dans l'océan se fait dans des "cheminées" de moins d'un kilomètre de diamètre, et les courants de densité s'écoulent sur le fond en entraînant les eaux environnantes et en se mélangeant en fonction de leur vitesse et des détails du relief sous-marin. La résolution des processus à ces petites échelles restera pendant encore longtemps hors de portée des modèles (et des capacités de calcul), qui doivent donc les prendre en compte de manière statistique (on parle alors de paramétrisations).

La dynamique de la surface de la mer observée par TOPEX/POSEIDON



La mer moyenne (1993-2003, anomalie par rapport au géoïde, en centimètre). Mesures altimétriques du satellite Topex/Poseidon. Les flèches rouges indiquent les courants de surface.

Il est difficile de chiffrer exactement quelle était la circulation océanique moyenne avant que l'homme ne commence à la perturber en réchauffant le climat : certes les données disponibles nous donnent des résultats significativement différents entre les observations et les modèles, mais la modélisation restera un exercice difficile car, comme pour la circulation atmosphérique, des processus de très petites échelles spatiales et temporelles interagissent avec des processus d'échelles globales. Ainsi la plupart des précipitations ont lieu dans des fronts orageux de quelques kilomètres de large, de la formation des eaux profondes dans l'océan se fait dans des "cheminées" d'un kilomètre de diamètre, et les courants de densité s'écoulent sur le fond entraînant les eaux environnantes et en se mélangeant en fonction de leur densité et des détails du relief sous-marin. La résolution des processus à ces petites échelles restera pendant encore longtemps hors de portée des modèles (et des observations), qui doivent donc les prendre en compte de manière statistique (et des paramétrisations).

Or, depuis 30 ans, chaque nouvelle génération de modèles climatiques (représentant l'océan, l'atmosphère, les sols et les glaces), plus précis et plus sophistiqués, mis au point au prix d'un long et minutieux travail, et utilisant des ressources informatiques pharaoniques, donne des résultats différents des précédents. Il y a 10 ans, les modèles prévoyaient une diminution de la circulation thermohaline avec le réchauffement climatique ; ces dernières années, une majorité de modèles montraient au contraire un maintien de la circulation actuelle pendant encore au moins 50 ans ; finalement, les modèles les plus récents semblent indiquer une diminution de la circulation thermohaline, jusqu'à 50 % en une centaine d'années. Une chose est sûre, la circulation thermohaline est très sensible à l'évolution de la salinité, qui est influencée principalement par les précipitations, et c'est justement ce que les modèles atmosphériques prévoient actuellement le plus mal ! Les conséquences d'un déclin de la circulation thermohaline seraient une diminution de quelques degrés des températures sur l'Europe occidentale, mais plus tard ce déclin annoncé arrivera, plus ses effets seront atténués par rapport au réchauffement continu des températures par l'effet de serre.

Du côté des vents, il semblerait que le réchauffement climatique conduise à privilégier les épisodes positifs de l'Oscillation Nord Atlantique, associés à des vents d'ouest plus forts, un Gulf Stream plus puissant, avec une position plus au nord.

Il faut donc admettre que l'on ne sait pas prévoir à ce jour l'évolution du Gulf Stream et de la circulation thermohaline pour le siècle à venir. Il est probable que la circulation thermohaline se maintienne ou diminue, alors que le Gulf Stream pourrait lui s'intensifier dans un premier temps par renforcement des vents. Un gros travail reste à faire pour réduire les incertitudes de nos modèles, et en attendant, une observation soutenue des changements déjà à l'œuvre semble de rigueur ! Mais pour le Gulf Stream, peu d'inquiétudes : il devrait continuer à s'écouler, impétueux et turbulent, tant que le vent soufflera et que la Terre tournera. ■

Thierry HUCK

Océanographe physicien

Laboratoire de Physique des Océans - CNRS

Quelques références

- DICKSON, Bob ; YASHAYAEV, Igor ; MEINCKE, Jens et Ali. "Rapid freshening of the deep North Atlantic Ocean over the past four decades". in *Nature*, vol. 416, n° 6883, 25 avril 2002, p. 832-837.
- HANSEN, B. ; ØSTERHUS, S. ; QUADFASSEL, D. ; TURRELL, W. "Already the Day After Tomorrow ?" in *Science*, n° 305, 2004, p. 953-954.
- JOYCE, T. M. ; DESER, C. ; SPALL, M. A. "The relation between decadal variability of subtropical mode water and the North Atlantic Oscillation". in *Journal of Climate*, n° 13, 2000, p. 2550-2569.
- STOMMEL, H. "The westward intensification of wind-driven ocean currents". in *Eos, Transactions American Geophysical Union*, vol. 29, n° 2, 1948, p. 202-206.
- TRENBERTH, K. E. ; CARON, J. M. "Estimates of meridional atmosphere and ocean heat transports". in *Journal of Climate*, n° 14, 2001, p. 3433-3443.
- VELLINGA, M. ; WOOD, R. A. "Global climatic impacts of a collapse of the Atlantic thermohaline circulation". in *Climatic Change*, n° 54, 2002, p. 251-267.
- WUNSCH, Carl. "Gulf Stream Safe If Wind Blows and Earth turns". in *Nature*, vol. 428, n° 6983, 2004, p. 601.