

## CONCERNANT LA DISPARITION DU GULF STREAM PENDANT LA DERNIÈRE GLACIATION ET LE DANGER DE VOIR SE REPRODUIRE CE PHÉNOMÈNE CATASTROPHIQUE POUR L'EUROPE

Albert PISSART

### Résumé

Les multiples disparitions et ralentissements du Gulf Stream au cours de la fin du Pléistocène, ont entraîné des refroidissements importants et brutaux du climat de l'Europe. La cause de ces changements aurait peut-être été l'arrivée de masses importantes d'eaux douces dans l'Atlantique nord. On se demande actuellement si l'Europe ne doit pas plus redouter un événement semblable, catastrophique pour notre climat, que le réchauffement climatique annoncé.

### Mots-clés

paléoclimat, Gulf Stream, changement climatique

### Abstract

Numerous fluctuations in the Gulf Stream at the end of the Pleistocene led to abrupt and severe periods of cooling of the European climate. The cause of these changes could have been the arrival of large quantities of fresh water in the North Atlantic. One wonders if Europe, today, could undergo a similar climatic catastrophe more dangerous than global warming.

### Keywords

*paleoclimate, Gulf Stream, climatic change*

### I. DES SONDAGES RÉALISÉS DANS LA CALOTTE GLACIAIRE DU GROENLAND ONT MONTRÉ L'EXISTENCE DE CHANGEMENTS CLIMATIQUES TRÈS BRUTAUX AU COURS DE LA DERNIÈRE GLACIATION ET SPÉCIALEMENT À LA FIN DU DERNIER DRYAS

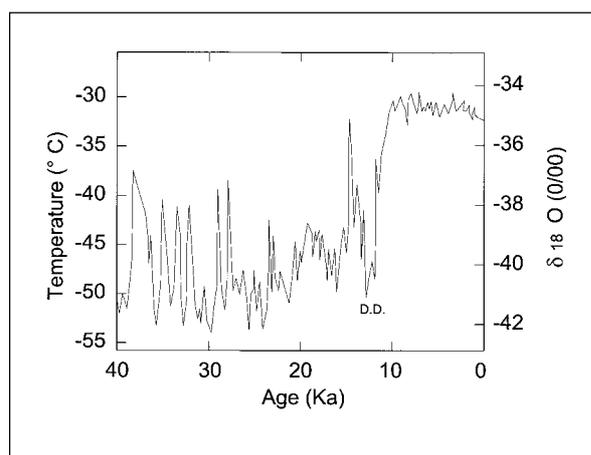
Des sondages ont été réalisés au sommet de la calotte glaciaire du Groenland par les Européens et par les Américains au début des années 90. En 1992, le sondage européen (GRIP = Greenland Ice Core Project) a atteint la roche en place à une profondeur de 3 028,80 m. L'année suivante, le sondage américain (GISP 2 = Greenland Ice-Sheet Project 2) réalisé à 30 km du premier a atteint le bedrock à 3 058,44 m. Ces deux sondages caractérisés par la qualité exceptionnelle de leur résolution temporelle, ont donné les mêmes résultats, du moins en ce qui concerne les 90 % supérieurs des carottes de sondage, soit pour une période de 87 000 ans. Pour donner une idée de la vitesse d'accumulation de la glace, précisons que la fin du Dernier Dryas (11 450 ans calendrier BP), soit le début de l'Holocène, se trouve à 1 700,3 m de profondeur dans GISP2 (Severinghaus et al., 1998).

Ces sondages effectués dans la calotte proviennent d'une région où, du fait de la latitude et de l'altitude, la température est toujours inférieure à 0 °C. Les couches de neige originelles qui se sont accumulées, se sont lentement transformées en glace en conservant une stratifi-

cation annuelle reconnaissable qui permet ainsi, depuis la surface, le comptage des années. Vu qu'aucune fonte ne s'est produite, cette glace n'est pas polluée par des eaux qui se seraient infiltrées et qui auraient modifié la composition isotopique de la neige originelle. (Des phénomènes de fusion et de percolation des eaux se produisent dans les glaciers alpins et donc aucune étude comparable ne peut être réalisée dans des glaciers non polaires.) Au sein de la glace de l'inlandsis du Groenland, il est possible d'estimer par des mesures isotopiques la température à laquelle s'est effectuée la condensation qui a produit la neige. Par comparaison avec ce qui s'observe dans les chutes de neige actuelles, une variation de 1 °C est estimée correspondre à une variation de 0,06 % de  $\delta^{18}\text{O}$ . On approche ainsi avec une bonne précision par des mesures du  $\delta^{18}\text{O}$  les fluctuations de température qui se sont produites sur la calotte du Groenland pendant une bonne partie de la dernière glaciation et durant l'Holocène. Non seulement les modifications de température mais aussi les variations de nombreux paramètres isotopiques et la quantité annuelle de précipitations ont été suivies avec un grand détail dans ces carottes de sondage. Est apparue ainsi la brutalité de changements de température qui sont survenus de nombreuses fois pendant la dernière glaciation. Le dernier changement brutal a eu lieu à la fin du Dernier Dryas (10 000 BP, soit 11 450 en années calendrier BP, en corrigeant pour la variation de teneur initiale en  $^{14}\text{C}$ ). D'après Severinghaus et al. (1998), le changement cli-

matique (de l'ordre de 10 °C) entre le Dernier Dryas et le Préboréal se serait effectué en moins de 10 ans, tandis que, au même moment, selon Alley et *al.* (1993), l'accumulation neigeuse aurait doublé en une période comprise entre un et trois ans.

Les glaces du Groenland ont montré qu'il se serait produit, au cours de la dernière glaciation, 24 événements semblables appelés les événements de Dansgaard/Oeschger (Stocker et Marchal, 2000). La figure 1 montre les changements brutaux qui se sont produits au cours des 40 000 dernières années. Certains de ces changements climatiques comme le Dernier Dryas dont nous venons de parler, sont bien connus entre autres par la palynologie et les phénomènes périglaciaires qu'ils ont engendrés (par exemple les viviers des Hautes Fagnes). Comme aucune autre méthode d'étude du Quaternaire ne possède une résolution temporelle aussi fine et sur une aussi longue période que celle des sondages glaciaires, la brutalité des changements climatiques n'avait pas été démontrée précédemment.



**Figure 1.** Variations de températures enregistrées dans le sondage GISP2 au centre de la calotte glaciaire du Groenland pendant les 40 000 dernières années (d'après Cuffey et *al.*, 1995)

Les variations de température (à gauche) sont déduites avec une certaine incertitude des variations de la teneur en  $^{18}\text{O}$  (à droite). Cette courbe montre la bonne stabilité du climat pendant l'Holocène qui couvre les derniers 10 000 ans et son instabilité pendant la dernière glaciation (DD = Dernier Dryas).

## II. LA CAUSE DE CES BRUSQUES CHANGEMENTS DE CLIMAT : LA CIRCULATION THERMOHALINE

De tels changements climatiques brutaux ne peuvent être dus ni à des modifications de la composition de l'atmosphère, ni aux changements orbitaux qui engendrent des variations très progressives du climat. La seule explication qui tient compte du fait que les changements de température les plus importants se sont produits autour de l'Atlantique nord, sont des modifications de la circu-

lation océanique entraînant la disparition et la réapparition du Gulf Stream. L'étude des sédiments accumulés au fond des océans a confirmé cette hypothèse. L'influence des eaux chaudes amenées dans l'Atlantique nord par le Gulf Stream est bien connue et se manifeste surtout en hiver. Rappelons que si la température de janvier de Bordeaux (+5,7 °C) présente un tel contraste avec la température de Montréal (-10 °C), qui est à la même latitude, cela est dû à cette influence des eaux chaudes amenées depuis les régions tropicales dans l'Atlantique nord. Le réchauffement qu'elles provoquent se fait sentir principalement en Europe, vu la direction dominante des vents d'ouest.

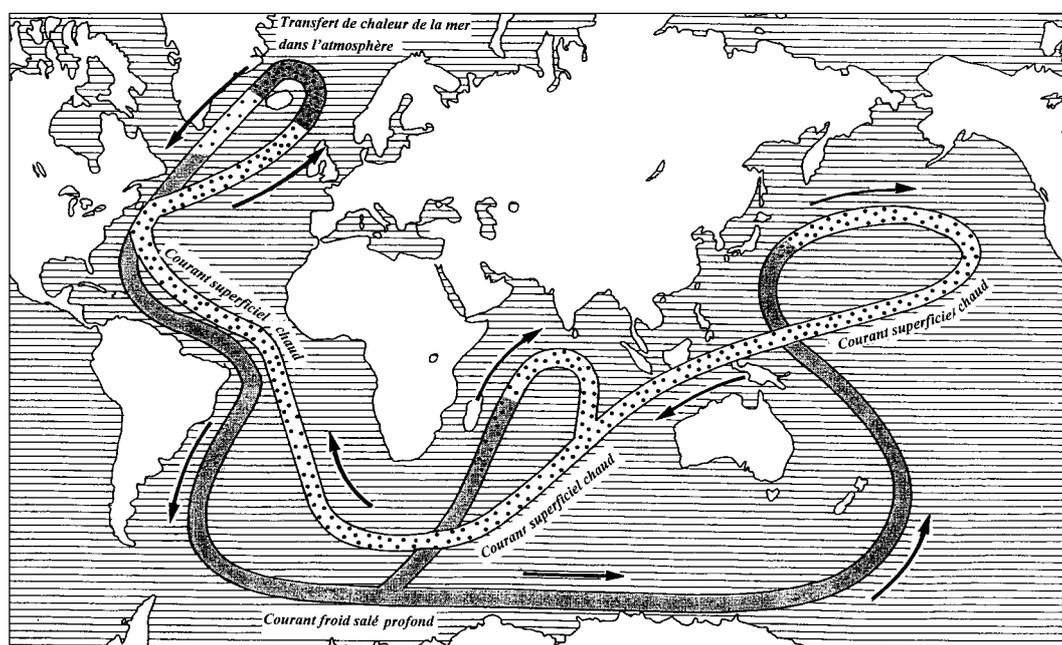
C'est seulement depuis 20 ans que la circulation océanique est mieux comprise. La figure 2 représente une vue générale de la circulation thermohaline qui, comme son nom l'indique, est contrôlée par la température et la salinité des eaux qui déterminent conjointement leur densité. Un des moteurs principaux de cette circulation est la plongée vers les abysses des eaux denses de l'Atlantique nord. Cette plongée résulte de l'accroissement de densité des eaux du Gulf Stream qui se refroidissent par échange de chaleur avec l'atmosphère. Elle est provoquée en outre par le fait que les eaux de l'Atlantique sont les plus salées de tous les océans, car une partie des eaux évaporées dans l'Atlantique ne retournent pas dans cet océan mais retombent sous forme de précipitations dans le bassin-versant du Pacifique.

Si l'idée du rôle joué par la disparition de ce courant marin appelé en anglais « the great conveyor », et qui amène d'énormes quantités d'eaux chaudes dans l'Atlantique nord, est venue pour la première fois en 1984 à Broecker (Broecker, 1997), ce n'est qu'à la fin des années 90 que l'arrêt de la circulation thermohaline et donc la disparition temporaire du Gulf Stream ont été généralement admis. Actuellement, le fait paraît démontré et la recherche porte principalement sur les facteurs qui ont déterminé l'interruption de cette circulation.

## III. TENTATIVE D'EXPLICATION DE L'ARRÊT DE LA CIRCULATION THERMOHALINE AU DERNIER DRYAS

La dernière grande modification de la circulation thermohaline s'est produite au Dernier Dryas ou Dryas récent qui a été le dernier épisode froid de la dernière glaciation.

La première hypothèse qui a été proposée pour expliquer cet épisode froid est l'arrivée, dans l'Atlantique nord, d'eaux douces de fonte glaciaire provenant de la vidange du lac Agassiz, un lac très important qui a existé au Canada en bordure de la calotte glaciaire en retrait. Des lacs semblables ont été très nombreux et très étendus au Canada pendant les glaciations, car les glaciers ont barré les cours d'eau se dirigeant vers le nord. Pendant la dernière glaciation, avant le Dernier Dryas, le lac Agassiz se déversait vers le Mississippi.



**Figure 2.** Vue générale de la circulation thermohaline (the great conveyor) qui amène de grandes quantités d'eaux chaudes à l'ouest de l'Europe où elles plongent à plusieurs milliers de mètres de profondeur (d'après Hamblin et Christiansen, 1998, p. 218) Le mouvement est contrôlé par la densité des eaux, c'est-à-dire par leur salinité et leur température. En pointillés, les courants superficiels ; en grisés, les courants profonds.

Brusquement, à la suite du retrait glaciaire, les eaux de ce lac ont trouvé un nouvel exutoire et se sont écoulées vers le Saint-Laurent et de là dans l'océan Atlantique. De grandes quantités d'eaux douces de faible densité ont couvert alors l'océan en arrêtant la production d'eaux de densité élevée qui plongent en profondeur dans l'Atlantique nord (Manabe et Stouffer, 2000) et activent le Gulf Stream. Ainsi se serait produite une réorganisation de la circulation des eaux océaniques aidée d'ailleurs par une modification de la circulation atmosphérique perturbée par le refroidissement de l'Atlantique nord (Manabe et Stouffer, 2000). Si cette hypothèse mettant en cause le lac Agassiz montre bien comment la circulation thermohaline peut être modifiée, il n'est toutefois pas du tout établi que ce sont ces circonstances qui ont été responsables du phénomène, car une hausse importante du niveau marin qui pourrait correspondre au déversement des eaux du lac Agassiz se serait produite plus d'un millénaire avant le refroidissement du Dernier Dryas ; d'autre part, les traces d'un écoulement important d'eaux douces n'ont pas été retrouvées dans le Saint-Laurent. Les eaux douces qui ont arrêté le Gulf Stream auraient pu avoir une origine différente, comme la calotte glaciaire de Scandinavie (Manabe et Stouffer, 2000).

#### IV. LES RALENTISSEMENTS DE LA CIRCULATION THERMOHALINE PENDANT L'Holocène

Si, au cours de l'Holocène, aucune interruption complète de la circulation thermohaline ne s'est produite, il est cependant probable que les périodes plus froides qui sont apparues au cours des derniers 10 000 ans, ont été dues à un ralentissement de cette circulation. C'est le cas pour les refroidissements observés en 8 200, 5 200, et 4 200 BP, ainsi que pendant le petit âge glaciaire (XVII<sup>e</sup> au XIX<sup>e</sup> siècles).

#### V. PENDANT LA DERNIÈRE GLACIATION

Pendant la dernière glaciation (10 000 à 110 000 années avant aujourd'hui), la circulation thermohaline a été très instable. Vingt-quatre changements brusques de température ont été repérés dans les sondages glaciaires du Groenland (Stocker et Marchal, 2000). Il s'agit de réchauffements abrupts, suivis par des refroidissements progressifs. Les changements de température enregistrés au Groenland varient entre 10 et 16 °C. Ces changements de température sont appelés les événements Dansgaard/Oeschger (D/O). La comparaison des obser-

vations faites dans les sondages de la calotte glaciaire avec les données provenant de l'étude des fonds marins suggère que les événements D/O les plus longs ont été précédés par les événements de Heinrich qui ont été reconnus par sondages dans l'Atlantique nord où ils ont laissé au fond de l'océan des couches de débris grossiers qui ne peuvent avoir été amenés que par des icebergs. Ces événements sont dénommés les séquences Heinrich-Dansgaard/Oeschger (Stocker et Marchal, 2000). Trois de ces séquences ont été reconnues aux dates de 14 500 BP, 36 000 BP et 45 000 BP. Deux autres auraient sans doute existé précédemment. Pendant ces séquences H-D/O, des changements dans la composition atmosphérique se sont produits et des modifications de températures ont été observées dans l'Antarctique. Sur la base de ces observations, Stocker et Marchal (2000) ont proposé le scénario que nous reproduisons ci-dessous.

Avant un événement D/O, les températures au Groenland étaient froides. La circulation thermohaline devait être réduite. Le réchauffement brutal (événement D/O) serait dû à la reprise de la formation d'eaux profondes dans l'Atlantique nord qui y a entraîné de nouveau l'arrivée d'eaux tropicales chaudes. Le réchauffement qui s'en est suivi aurait provoqué la fusion des calottes glaciaires voisines conduisant par production d'eaux douces à une réduction progressive de la circulation thermohaline et donc à un refroidissement. La succession, après des intervalles de temps relativement courts (de l'ordre de 1 500 ans), des événements D/O et la faible quantité de débris amenés par les icebergs suggèrent que la quantité d'eau de fonte libérée n'a pas été très grande bien qu'elle ait été suffisante pour provoquer un refroidissement important.

D'après les mêmes Stocker et Marchal (2000), les séquences H-D/O se seraient produites après que plusieurs événements D/O aient provoqué une hausse du niveau marin entraînant la déstabilisation de grandes et nombreuses plates-formes glaciaires marines. Celles-ci auraient dérivé dans l'Atlantique nord en entraînant un arrêt complet de la circulation thermohaline et un refroidissement massif de l'Atlantique nord. Comme de la chaleur n'était plus exportée depuis les océans méridionaux pendant une période de temps assez longue correspondant à l'importance des eaux douces libérées, de la chaleur se serait accumulée dans l'hémisphère sud et un réchauffement aurait été enregistré dans l'Antarctique.

## CONCLUSION

En bref, des changements brutaux et importants du climat qui ont été observés au Groenland et se sont marqués en Europe pendant la dernière glaciation sont maintenant attribués à des modifications de la circulation thermohaline. Le moteur du changement pourrait avoir été l'arrivée de masses d'eaux douces sur l'océan Atlantique, arrêtant la plongée vers les abysses marins des eaux denses de l'Atlantique nord.

Comprendre les mécanismes responsables de tels changements constitue maintenant un objectif prioritaire dans l'étude des changements de climat qui menacent notre planète. Si on parle avant tout du réchauffement climatique par effet de serre et pas d'une hypothétique modification de la circulation thermohaline, cette dernière éventualité préoccupe toutefois les chercheurs. Si une telle modification se produisait, l'impact climatique sur l'Europe serait désastreux. En cas de disparition complète du Gulf Stream, la Belgique se retrouverait avec un climat comparable à celui du sud de la Baie d'Hudson au Canada, avec une ruine complète de l'agriculture. Les températures ne seraient cependant pas aussi froides que pendant le Dernier Dryas, car ne subsistent plus aujourd'hui les calottes glaciaires qui existaient à ce moment de la fin de la glaciation (Broecker, 1999).

Deux méthodes permettent de chercher une réponse à la question du risque que nous courons de voir disparaître cette circulation thermohaline. La première est la réalisation de modèles qui s'efforcent de restituer avec des ordinateurs l'évolution du climat. La seconde est l'étude des phénomènes qui se sont passés autrefois et qui ont donné les résultats que nous avons résumés ci-dessus.

Les modèles ont toujours de grandes difficultés à reconstituer ce qui est observé dans les enregistrements paléoclimatiques et un plus grand nombre de données est nécessaire pour retrouver ce qui s'est réellement passé. Toutefois différents articles publiés dans la dernière décennie ont fait apparaître que la circulation thermohaline pouvait être interrompue par différents phénomènes, à savoir : 1) une variation du flux atmosphérique qui, en évaporant plus d'eau de l'Atlantique qu'il n'en revient par les précipitations en fait l'océan le plus salé (Stocker et Wright, 1991) ; 2) une augmentation du CO<sup>2</sup> entraînant une augmentation de température de 3,5 à 7 °C, ne permettant plus aux eaux de se refroidir suffisamment pour descendre dans les abysses de l'océan (Manabe et Stouffer, 1993) ; 3) une arrivée massive d'eaux douces dans l'Atlantique nord (Manabe et Stouffer, 1995) ; 4) des changements modérés dans l'arrivée d'eaux douces dans l'Atlantique, par exemple par une augmentation des précipitations (Rahmstorf, 1995) ; 5) un réchauffement climatique très rapide (dû à une augmentation de 750 ppm de CO<sup>2</sup> en 100 ans (Stocker et Schmitter, 1997).

## BIBLIOGRAPHIE

- ALLEY R. B., MEESE D.A., SCHUMAN C. A., GOW A. J., TAYLOR K. C., GROOTES P. M., WHITE J. W. C., RAM M., WADDINGTON E.D., MAYEWSKI P. A. et ZIELINSKI G. A., 1993. Abrupt increase in Greenland snow accumulation at the end of the Younger Dryas event. *Nature*, 362, pp. 527-529.
- BARBER D. C., DYKE A., HILLAIRES-MARCEL C., JENNINGS A.E., ANDREWS J. T., KERWIN M. W.,

- BILODEAU G., MCNEELY R., SOUTHON J., MOREHEAD M. D et GAGNON J.-M., 1999. Forcing of the cold event of 8.200 years ago by catastrophic drainage of Laurentide lakes. *Nature*, 400, pp. 344-348.
- BROECKER W. S., 1997. Will our ride into the greenhouse future be a smooth one ? *GSA today*, 7 (5), pp. 1-7.
- BROECKER W. S., 1999. What if the conveyor were to shut down ? Reflection on a possible outcome of the great global experiment. *GSA Today*, 9 (1), pp. 1-7.
- CUFFEY K. M., CLOW G.D., ALLEY R.B., STUIVER M., WADDINGTON E.D., SALTUS R. W., 1995. Large arctic temperature change at the Wisconsin-Holocene glacial transition. *Science*, 270, pp. 455-458.
- HAMBLIN W. K. et CHRISTIANSEN E. H., 1998. *Earth's dynamic systems*, 8<sup>th</sup> edition, Prentice Hall, 740 p.
- MANABE S. et STOUFFER R. J., 1993. Century-scale effects of increased atmospheric CO<sup>2</sup> on the ocean-atmosphere system. *Nature*, 364, pp. 215-217.
- MANABE S. et STOUFFER R. J., 1995. Simulation of abrupt climate change induced by freshwater input to the North Atlantic Ocean. *Nature*, 378, pp. 165-167.
- MANABE S. et STOUFFER R. J., 2000. Study of abrupt climate change by a coupled ocean-atmosphere model. *Quaternary Science Reviews*, 19 (1-5), pp. 285-299.
- RAHMSTORF S., 1995. Bifurcations of the Atlantic thermohaline circulation in response to changes in the hydrological cycle. *Nature*, 378, pp. 145-149.
- SEVERINGHAUS J. P., SOWERS T., BROOK E.J., ALLEY R.B. et BENDER M. L. , 1998. Timing of abrupt climate change at the end of the Younger Dryas interval from thermally fractionned gases in polar ice. *Nature*, 391, pp. 141-146.
- STOCKER T. F. et MARCHAL O., 2000. Abrupt climate change in the computer : Is it real ? *PNAS*, 97 (4), pp. 1362-1365.
- STOCKER T. F. et SCHMITTER A., 1997. Influence of CO<sup>2</sup> emission rate on the stability of the thermohaline circulation. *Nature*, 388, pp. 862-865.
- STOCKER T. F. et WRIGHT D. G., 1991. Rapid transitions of the ocean's deep circulation induced by changes in surface water fluxes. *Nature*, 351, pp. 729-732.

Adresse de l'auteur :

Albert PISSART

Département de Géographie physique et Quaternaire

Institut de Géographie

Université de Liège

Allée du 6 Août, 2 – Bât. 11

B-4000 Sart Tilman, Liège