

Rendez-vous sur

■ POUR LA
SCIENCE.fr

Le site de référence de l'actualité scientifique internationale

- Retrouvez gratuitement les actualités scientifiques quotidiennes.
- Écoutez nos entretiens audio ou téléchargez-les.
- Recevez nos lettres d'information et réagissez aux articles en vous inscrivant sur www.pourlascience.fr/newsletters
- Consultez les archives de tous nos magazines depuis 2004.
- Accédez aux numéros numériques compris dans votre abonnement en créant votre compte.
- Suivez notre actualité en direct :



<http://www.pourlascience.fr/rss>



<http://twitter.com/pourlascience>



<http://www.pourlascience.fr/pls-facebook>

+ de 10000 fans



À très bientôt sur www.pourlascience.fr !

Le Gulf Stream, courant marin chaud en provenance des tropiques, est-il vraiment responsable de la relative douceur des hivers européens ? Plusieurs théories remettent en cause cette explication ou la précisent.

Le rôle controversé du Gulf

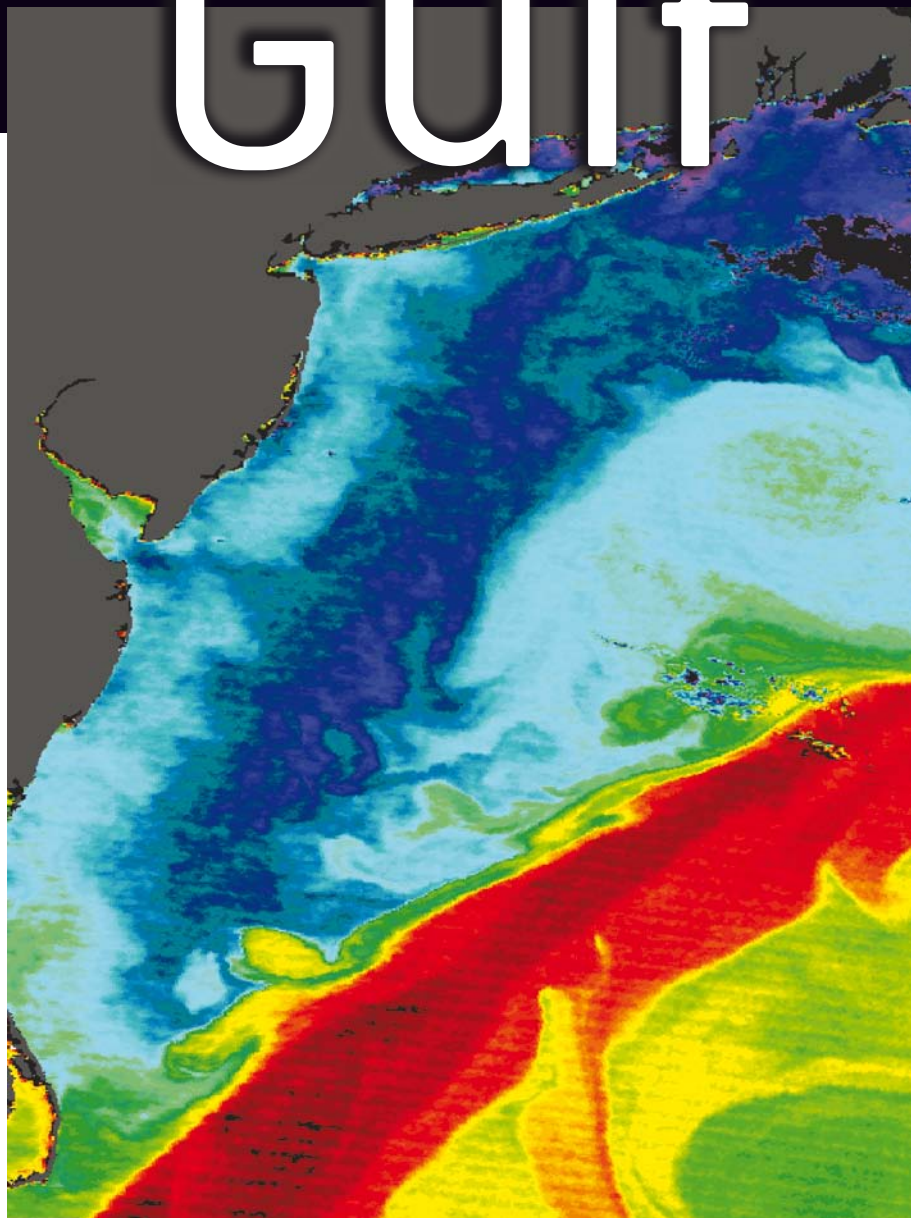
Stephen Riser et Susan Lozier

Pendant un siècle, on a enseigné dans les écoles qu'un puissant courant océanique nommé Gulf Stream charrie des eaux chaudes depuis la partie tropicale de l'océan Atlantique jusqu'au Nord-Ouest de l'Europe; qu'à leur arrivée, ces eaux réchauffent l'atmosphère qui les surmonte; que l'air chaud pénètre ensuite à l'intérieur des terres, rendant l'hiver moins rigoureux en Europe que dans le Nord-Est de l'Amérique.

Cette théorie est peut-être trop simple. Les recherches récentes sur les effets climatiques du Gulf Stream montrent que ces derniers ne sont pas aussi nets qu'on le pensait. Grâce aux simulations et aux mesures océaniques, de nouvelles explications émergent quant aux disparités entre les hivers américains et européens, à des latitudes équivalentes; elles divergent parfois sur le rôle du Gulf Stream.

Une autre hypothèse émise il y a quelques années, selon laquelle la fonte de la calotte glaciaire du Groenland risquerait d'influer sur le Gulf Stream et d'avoir des conséquences désastreuses sur le climat européen, est remise en cause. Cependant, le changement climatique en cours pourrait tout de même modifier la puissance du Gulf Stream, ce qui atténuerait les effets du réchauffement climatique sur le Nord de l'Europe.

Les variations géographiques du climat résultent en premier lieu de la forme sphé-



rique de la Terre. Aux basses latitudes, les rayons du Soleil frappent la surface de la Terre selon une direction bien plus proche de la perpendiculaire qu'aux hautes latitudes ; l'énergie reçue par unité de surface y est donc notablement plus importante. Ce réchauffement différentiel est à l'origine des vents dominants, qui redistribuent la chaleur des tropiques aux pôles. Les océans, qui recouvrent 70 pour cent de la planète, jouent aussi un rôle majeur dans cette redistribution. Les deux premiers mètres d'eau sous leur surface stockent davantage de chaleur que toute l'atmosphère au-dessus d'eux.

En effet, la capacité thermique (qui quantifie la faculté d'absorber de l'énergie) de l'eau est environ 4000 fois supérieure à celle de l'air, et à peu près quatre fois supérieure à celle du sol. À des latitudes moyennes et jusqu'à 200 mètres de profondeur, la température de l'océan peut varier de 10 °C sur une année. Les mers emmagasinent et libèrent alors bien plus de chaleur que l'atmosphère ou les continents. Et comme les courants océaniques font circuler l'eau autour du globe, la chaleur accumulée l'été à un endroit donné peut être libérée dans l'atmosphère à des milliers de kilomètres de là.

Il semble donc naturel de supposer que les courants sont responsables des disparités de températures atmosphériques constatées à des latitudes identiques : à une latitude de 50° Nord, par exemple, la température hivernale en Irlande dépasse de presque 20 °C celle de Terre-Neuve, de l'autre côté de l'Atlantique. À la même

1. LES EAUX DU GULF STREAM (en rouge) sont les plus chaudes de l'océan Atlantique, comme le montre cette vue en infrarouge. La température décroît progressivement dans les zones jaunes, vertes et bleues.

Stream

L'ESSENTIEL

- Trois nouveaux modèles climatiques précisent l'influence du Gulf Stream sur l'hiver européen. L'un d'eux considère qu'elle est négligeable.
- De nombreuses études indiquent que la fonte massive des glaces de l'océan Arctique n'arrêterait pas le Gulf Stream.
- L'influence de l'océan sur le climat devrait être précisée dans les dix ans à venir, grâce aux flotteurs du réseau *Argo*, qui dressent des cartes de température et de salinité des océans.

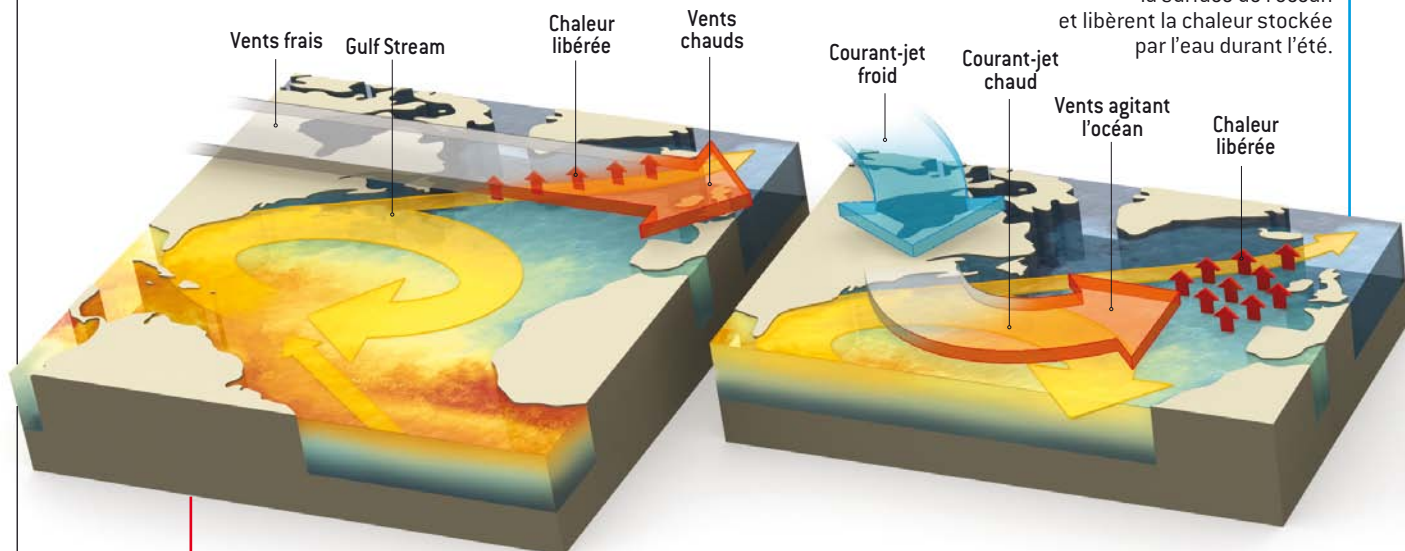
Peter Minnett et Bob Evans. Université de Miami/NOAA/NASA

POURQUOI L'HIVER EST PLUS DOUX EN EUROPE

À latitude égale, l'hiver est plus ou moins rigoureux de part et d'autre de l'Atlantique : il est doux en Europe et rude en Amérique du Nord. Depuis une centaine d'années, on attribue cette différence à l'influence du Gulf Stream, un courant marin chaud. De nouvelles théories mettent en avant le rôle du courant-jet (un flux d'air qui fait le tour de la planète) ou de l'air arctique.

Nouvelle théorie n° 1 : le courant-jet

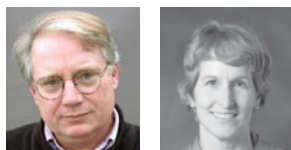
Le courant-jet sinue dans la direction Nord-Sud, ce qui se traduit en Europe par des vents soufflant du Sud-Ouest. Ces vents agitent la surface de l'océan et libèrent la chaleur stockée par l'eau durant l'été.



L'explication classique

Le Gulf Stream véhicule des eaux tropicales chaudes vers le Sud-Est des États-Unis, puis traverse l'océan Atlantique. En arrivant près de l'Europe, il réchauffe l'air au-dessus de lui. Les vents transportent cet air doux jusqu'au continent.

LES AUTEURS



Stephen RISER est professeur d'océanographie à l'Université de Washington, aux États-Unis, et membre du Comité de pilotage du programme Argo.

Susan LOZIER est professeure d'océanographie physique à l'Université Duke, aux États-Unis.

latitude, mais côté Pacifique, la température à Vancouver est supérieure d'environ 20 °C à celle de la pointe Sud de la péninsule russe du Kamchatka.

Au XIX^e siècle, l'océanographe américain Matthew Fontaine Maury fut le premier à attribuer au Gulf Stream le climat relativement doux dont jouit le Nord-Ouest de l'Europe. Ce puissant courant océanique en direction du Nord provient des régions chaudes subtropicales et tropicales et longe la côte Sud-Est des États-Unis. Il bifurque ensuite vers le Nord-Est et poursuit sa route dans l'océan Atlantique. Maury a supposé que le Gulf Stream alimente en chaleur les vents d'Ouest qui le surmontent et qui traversent l'Atlantique en direction du Nord-Ouest de l'Europe. Il pensait également que si le Gulf Stream s'affaiblissait, les vents hivernaux deviendraient beaucoup plus froids et l'Europe connaîtrait des hivers de type arctique.

Au fil du temps, la théorie de Maury a pris valeur d'axiome ; elle a pourtant

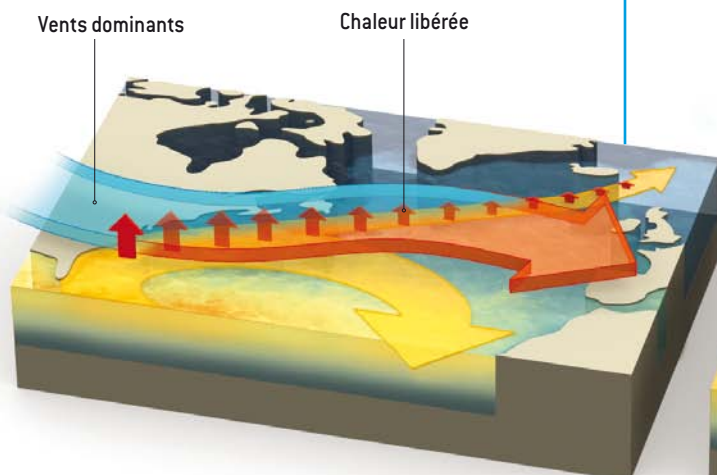
très peu été mise à l'épreuve, du moins jusqu'à une période récente.

Il y a dix ans, Richard Seager et ses collègues de l'Université Columbia, à New York, ont effectué une simulation qui expliquait la douceur de l'hiver européen sans faire appel au Gulf Stream. Leur étude incriminait plutôt le courant-jet (ou *jet-stream*), un flux d'air circulant autour de la Terre d'Ouest en Est. Après s'être heurté aux montagnes Rocheuses, dans l'Ouest américain, ce flux d'air se met à osciller selon une direction Nord-Sud. Ce phénomène produit des vents qui soufflent du Nord-Ouest de l'Amérique jusqu'à la partie occidentale du bassin Atlantique, puis qui remontent jusqu'au Nord-Ouest de l'Europe (voir l'encadré ci-dessus). Ils amènent alors de l'air froid continental au Nord-Est des États-Unis, avant d'apporter de l'air marin chaud en Europe.

Selon cette étude, ce n'est pas la chaleur transportée par le Gulf Stream qui tempère le climat de l'Europe, mais plutôt celle accumulée par l'océan sur 100 mètres

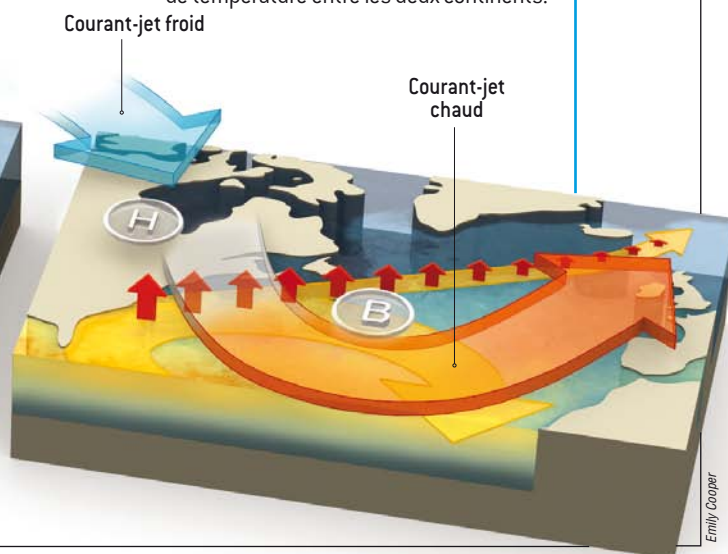
Théorie n° 2 : Des vents réchauffés

Le Gulf Stream libère de la chaleur dans l'atmosphère en traversant l'Atlantique. Les vents transportent cette chaleur vers l'Est, où elle adoucit le climat européen.



Théorie n° 3 : Pression atmosphérique

La chaleur libérée sur le trajet du Gulf Stream crée des systèmes atmosphériques stationnaires de haute pression (*H*) et de basse pression (*B*). Ces systèmes orientent les vents chauds du Sud-Ouest vers l'Europe et attirent les vents arctiques vers l'Est de l'Amérique du Nord, qui se refroidit. Ce refroidissement creuse l'écart de température entre les deux continents.



de profondeur pendant l'été, au large des côtes européennes : cette chaleur serait libérée dans l'atmosphère au cours de l'hiver, lorsque les vents du Sud-Ouest viennent brasser les eaux de surface. Ainsi, les différences de température de part et d'autre de l'océan Atlantique seraient dues au schéma de circulation des vents à grande échelle, influencés par les chaînes de montagnes, et au stockage de chaleur par l'océan à proximité des côtes européennes.

Toutefois, le modèle de R. Seager ne prend pas explicitement en compte le transport de chaleur par l'océan. Cet aspect a été étudié peu de temps après par Peter Rhines, de l'Université de Washington, et Sirpa Häkkinen, du Centre de vol spatial Goddard de la NASA. Les deux océanographes ont analysé de multiples relevés de température, effectués à la surface des océans et conservés dans les archives. Ils ont conclu que la quantité de chaleur accumulée dans la couche supérieure de l'océan Atlantique, au niveau de l'Europe du Nord,

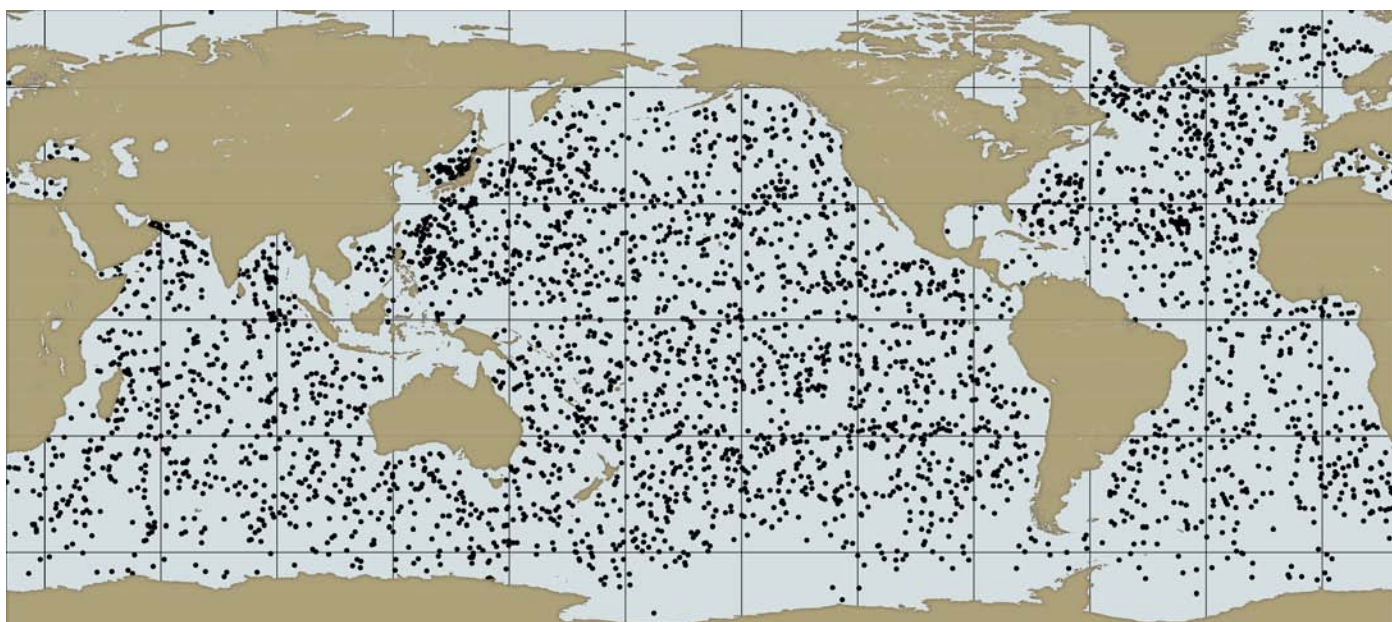
ne peut adoucir le climat que pour le seul mois de décembre. Pour le reste de l'hiver, un apport calorifique supplémentaire est nécessaire. Le Gulf Stream en est la source la plus probable.

À la recherche de la chaleur perdue

Des mesures ont montré qu'au 35° degré de latitude Nord – vers le milieu de la côte Est des États-Unis –, l'océan Atlantique transporte vers le pôle une puissance calorifique de 0,8 pétawatt (un pétawatt valant 10^{15} watts), principalement par le biais du Gulf Stream. Or, 20 degrés plus au Nord – au niveau du Labrador, au Canada –, l'océan ne véhicule presque plus de chaleur. Qu'est devenue cette dernière ? P. Rhines et S. Häkkinen ont montré qu'elle est relâchée dans l'atmosphère sur le trajet du Gulf Stream. Les vents dominants la poussent ensuite vers l'Est, où elle adoucit le climat européen. Ces résultats rejoignent la théorie de

Maury, contre laquelle R. Seager s'élève en mettant l'accent sur le rôle du courant-jet.

En 2011, Yohai Kaspi, de l'Institut Weizmann en Israël, et Tapio Schneider, de l'Institut de technologie de Californie, ont émis une troisième hypothèse, fondée sur de nouvelles simulations numériques de l'atmosphère et de l'océan. Concédant une part de vérité aux scénarios de R. Seager et de P. Rhines, ils se sont intéressés à la pression atmosphérique, notamment à la façon dont elle est influencée par l'apport de chaleur du Gulf Stream à l'atmosphère. Ils ont montré que cet apport crée une dépression à l'Est, vers les côtes européennes, et une zone de haute pression à l'Ouest, au-dessus de la côte Est de l'Amérique du Nord. Pour des raisons complexes, le système dépressionnaire fournit alors de l'air chaud à l'Ouest de l'Europe, *via* les vents du courant-jet, qui viennent du Sud-Ouest en ayant récupéré la chaleur relâchée durant l'hiver par le Gulf Stream. Et la zone de haute pression attire l'air glacial de l'Arctique, refroidissant



l'Est de l'Amérique du Nord. Ainsi, le contraste entre les températures hivernales s'accroît de chaque côté de l'Atlantique. Ce contraste s'expliquerait donc par une circulation atmosphérique particulière, dont le moteur serait la chaleur communiquée à l'atmosphère par l'océan.

Dans les zones tempérées, l'Atlantique n'accumule pas assez de chaleur durant l'été pour déclencher cette circulation. La chaleur transportée par le Gulf Stream, provenant de latitudes plus basses, est donc nécessaire, ce qui rejoint les idées de Maury. Cette nouvelle étude met l'accent sur l'importance des vents du Sud-Ouest dans l'apport de chaleur à l'Europe – mais n'invoque pas l'influence des Rocheuses, contrairement aux travaux de R. Seager.

Le modèle de Y. Kaspi et T. Schneider explique aussi pourquoi le Nord-Ouest de l'Amérique connaît des hivers plus doux que la péninsule du Kamchatka. Dans l'océan Pacifique circule le Kuroshio, un courant similaire au Gulf Stream. On ne lui avait pas attribué les différences de température transpacifiques jusque-là, car il ne remonte pas autant vers le Nord que le Gulf Stream et parce que le Pacifique est plus vaste que l'Atlantique. Mais la chaleur restituée par le Kuroshio pourrait créer des différences de pression atmosphérique similaires à celles de l'océan Atlantique. De l'air polaire pénétrerait alors en Asie, tandis que de l'air plus doux réchaufferait le Nord de la côte Pacifique des États-Unis.

■ SUR LE WEB

Pour plus d'informations sur le réseau océanique Argo et ses 3 000 flotteurs profileurs répartis dans le monde entier, voir : ScientificAmerican.com/feb2013/rise

■ BIBLIOGRAPHIE

V. Masson-Delmotte, D. Swingedouw *et al.*, **Greenland climate change : from the past to the future**, *WIREs Climate Change*, vol. 3, pp. 427- 449, 2012.

Y. Kaspi et T. Schneider, **Winter cold of eastern continental boundaries induced by warm ocean waters**, *Nature*, vol. 471, pp. 621-624, 2011.

D. Roemmich et J. Gilson, **The 2004-2008 mean and annual cycle of temperature, salinity, and steric height in the global ocean from the Argo program**, *Progress in Oceanography*, vol. 82, n° 2, pp. 81-100, 2009.

R. Seager, **Gulf Stream et douceur du climat européen**, *Pour la Science*, n° 348, pp. 40-46, 2006.

Reste à déterminer le meilleur scénario – celui de Y. Kaspi et T. Schneider nous semblant assez plausible. Il est aussi possible que tous les mécanismes décrits apportent une contribution. En outre, de nombreuses recherches portent sur la seconde partie de la théorie de Maury, à savoir que le Nord-Ouest de l'Europe connaîtrait des hivers bien plus rigoureux en cas d'interruption du Gulf Stream. Si le réchauffement provoque la fonte des glaces du Groenland, l'excédent d'eau froide déversé dans l'Atlantique Nord interrompra-t-il le Gulf Stream et privera-t-il le Nord-Ouest de l'Europe d'une importante source de chaleur ?

Une interruption du Gulf Stream ?

On craint en effet que cette eau douce ne ralentisse la circulation thermohaline (aussi qualifiée de « tapis roulant » océanique), à laquelle participe le Gulf Stream : des eaux de surface chaudes remontent vers le pôle Nord, se refroidissent et plongent aux hautes latitudes (au niveau du Labrador et de la mer du Nord), avant de revenir vers le Sud sous forme d'un courant profond. Elles remontent vers la surface ailleurs après s'être réchauffées, compensant la plongée dans l'Atlantique Nord.

Dans de nombreux scénarios climatiques, le réchauffement fait fondre les glaces du Groenland, ce qui entraîne un afflux d'eau douce à de hautes latitudes.



© Projet Argo

2. PLUS DE 3 000 FLOTTEURS ont été placés sur les océans dans le cadre du réseau international Argo [la carte de gauche montre leur répartition]. Dotés de capteurs et d'un système leur permettant de plonger jusqu'à 2 000 mètres de profondeur puis de remonter, ils établissent presque en temps réel des profils de température et de salinité.

Cette eau moins salée (et donc moins dense) que l'eau de mer pourrait rester en surface et ainsi empêcher la plongée des eaux dans l'Atlantique Nord. Cela pourrait ralentir la circulation thermohaline, et donc le Gulf Stream. D'autres scénarios évoquent la possibilité que l'apport d'eau douce à de hautes latitudes dévie le Gulf Stream vers le Sud ou réduise sa puissance.

Dans les deux cas, l'Europe bénéficierait d'un moindre apport thermique pendant l'hiver. Selon de nombreuses études, une diminution de la circulation thermohaline correspondrait à un refroidissement de l'Atlantique Nord et du Nord-Ouest de l'Europe.

Toutefois, des résultats récents – et controversés – suggèrent que la majeure partie de l'eau issue de la fonte des glaces pourrait se déverser dans des courants cantonnés en bordure des côtes. Elle aurait donc peu d'influence au large, où s'effectue l'essentiel de la plongée des eaux. Et même si l'apport d'eau douce réduisait notablement la quantité d'eau plongeant dans l'Atlantique Nord, il ne provoquerait probablement pas l'arrêt du Gulf Stream. En effet, la trajectoire et la puissance de ce dernier dépendent surtout de la vitesse et de la direction des vents dominants aux latitudes moyennes. Dans la plupart des scénarios envisagés, la direction des vents dominants est peu modifiée par la fonte des glaces du Groenland, de sorte que le Gulf Stream ne change pas beaucoup. Cependant, la dérive Nord-Atlantique (un petit courant de surface qui prolonge le

Gulf Stream au Nord-Est et transporte des eaux chaudes vers les régions subpolaires) pourrait s'interrompre. En outre, si le Gulf Stream devait persister, on ignore quelle quantité d'eau chaude il charrierait vers le Nord dans le futur.

Une arrivée massive de mesures océaniques

Jusqu'à présent, l'influence du changement climatique sur les conditions météorologiques européennes a surtout été étudiée à l'aide de simulations sur ordinateur. Or celles-ci comportent un grand nombre d'incertitudes, qui ne peuvent être levées qu'en disposant de davantage de mesures dans les océans. Peu d'observations remontent à plus d'un siècle, et les mesures par satellites n'ont qu'une trentaine d'années.

La situation devrait s'améliorer grâce au réseau international Argo et à ses plus de 3 000 flotteurs. Déployé et géré par plus de 30 pays, ce réseau dresse, presque en temps réel, des cartes de température et de salinité des eaux jusqu'à 2 000 mètres de profondeur, et ce sur l'ensemble des océans. Le réseau est achevé depuis moins de dix ans et est exploité depuis peu pour étudier les interactions du changement climatique et des océans.

Ainsi, Dean Roemmich et John Gilson, de l'Institut d'océanographie Scripps, en Californie, ont comparé les données d'Argo avec les observations menées à partir des

années 1980. Ils ont montré que la couche supérieure de l'océan (jusqu'à quelques centaines de mètres sous la surface) s'est réchauffée d'environ 0,2 °C au cours des deux dernières décennies, tandis que la salinité y a augmenté de 0,1 pour cent. En revanche, à plus grande profondeur, l'eau s'est notablement rafraîchie. Reste à déterminer si ces variations sont dues au changement climatique (la variabilité naturelle est importante dans l'Atlantique Nord) et si elles suffiront à altérer localement le climat.

Les données du réseau Argo fournissent quelques indices. Pour que la planète garde une température constante, elle doit émettre vers l'espace une quantité de chaleur égale à celle apportée par le flux solaire. L'accumulation de gaz à effets de serre dans l'atmosphère semble perturber cet équilibre. Le réchauffement de 0,2 °C sous la surface de l'océan correspond à un excès de rayonnement incident d'environ un watt par mètre carré.

Ces premiers résultats permettront d'améliorer les modèles climatiques et d'entrevoir ce qui nous attend dans les prochaines décennies. Nous étudions les données de surface obtenues par satellites, les mesures effectuées par le réseau Argo dans la couche superficielle de l'océan, et les modèles numériques. Dans les dix ans à venir, nous pourrions probablement préciser l'influence du Gulf Stream sur le climat et, plus généralement, le rôle joué par les océans dans la régulation du climat. ■



La physique de la. natation