

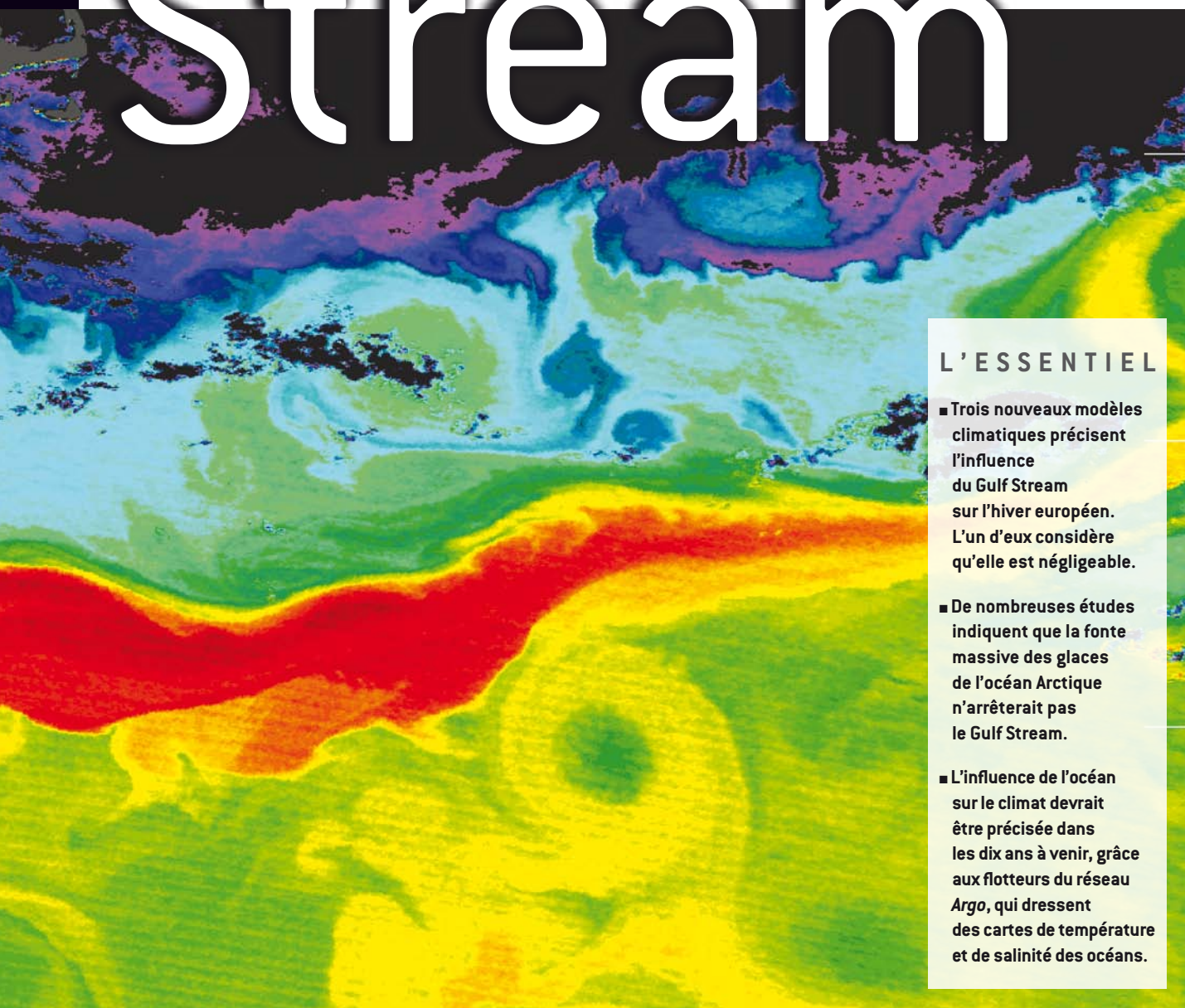
rique de la Terre. Aux basses latitudes, les rayons du Soleil frappent la surface de la Terre selon une direction bien plus proche de la perpendiculaire qu'aux hautes latitudes ; l'énergie reçue par unité de surface y est donc notablement plus importante. Ce réchauffement différentiel est à l'origine 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.

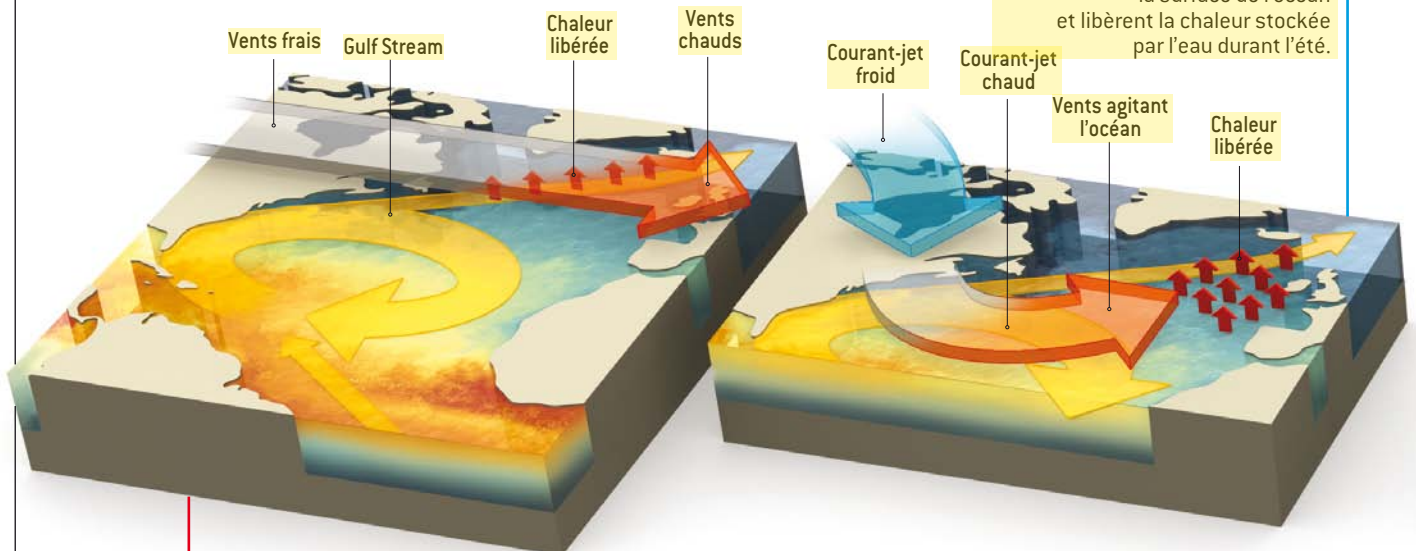
Peter Minnett et Bob Evans, Université de Miami/NOAA/USFSA

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

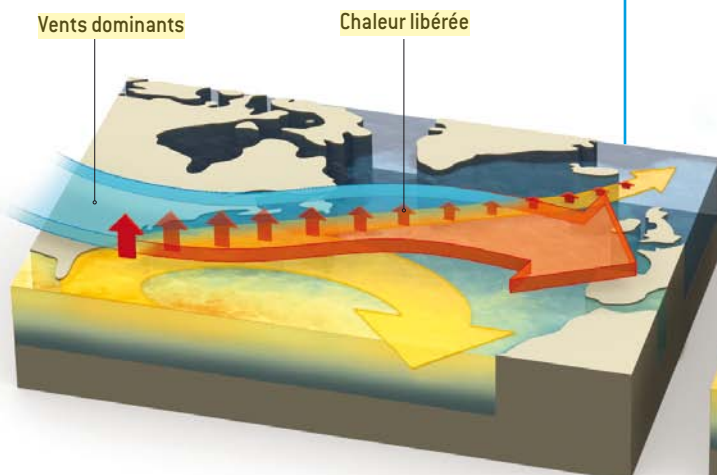
très peu été mise à l'épreuve, du moins jusqu'à une période récente.

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

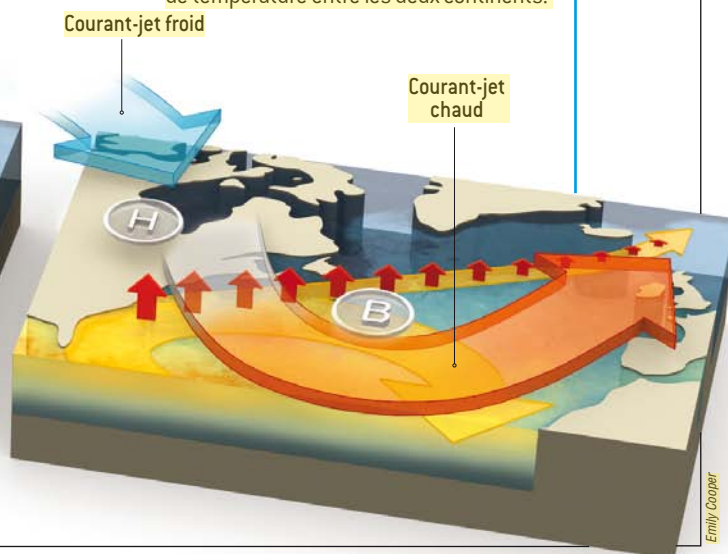
Théorie n° 2 : Des vents réchauffés

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