

L'origine des glaciations

WALLACE BROECKER

Dans le passé, les températures sur Terre ont varié de plus de dix degrés en quelques dizaines d'années seulement. De tels sauts climatiques auront-ils encore lieu ?

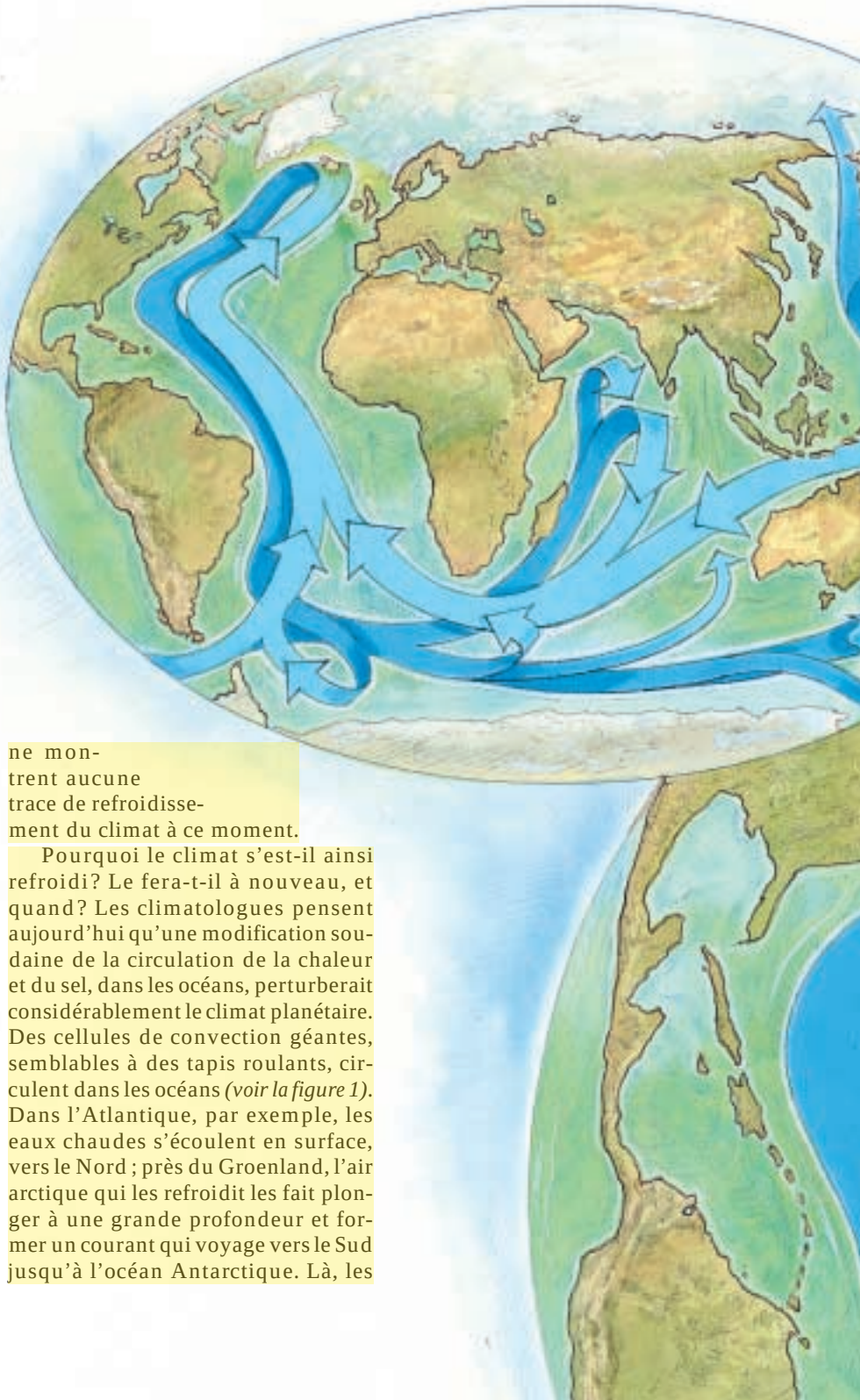
Les 10 000 dernières années ont été exceptionnelles dans l'histoire de notre planète : jamais, depuis 100 000 ans, le climat n'avait été si régulier ni si stable. Des carottages dans la glace du Groenland ont révélé, pendant la dernière glaciation, une série de vagues de froids et de réchauffements d'au moins 1 000 ans chacune, qui ont élevé ou abaissé la température hivernale moyenne, en Europe du Nord, d'environ dix degrés en seulement dix ans. Ces brusques changements sont indiqués par les poussières atmosphériques, et les quantités de méthane et de précipitations conservées dans les couches de glace.

La dernière véritable période froide, longue d'un millier d'années et nommée Dryas récent (le dryas est une fleur de toundra dont l'habitat s'est considérablement étendu à cette époque), s'est terminée il y a environ 11 000 ans. On en trouve des traces dans les sédiments marins de l'Atlantique Nord, dans les glaciers morainiques de Scandinavie et d'Islande, et dans les lacs et les marécages maritimes du Canada et d'Europe du Nord. Le Nord-Ouest des États-Unis a aussi connu un refroidissement important.

De nombreuses observations indiquent que le refroidissement du Dryas récent touchait toute la planète. Le réchauffement du plateau polaire de l'Antarctique s'est interrompu pendant cette période, les glaciers de Nouvelle-Zélande ont avancé et, dans le Sud de la mer de Chine, les proportions des diverses espèces de plancton ont changé radicalement. La concentration en méthane dans l'atmosphère a diminué de 30 pour cent. Seuls les relevés de pollens effectués dans certaines parties des États-Unis

ne montrent aucune trace de refroidissement du climat à ce moment.

Pourquoi le climat s'est-il ainsi refroidi ? Le fera-t-il à nouveau, et quand ? Les climatologues pensent aujourd'hui qu'une modification soudaine de la circulation de la chaleur et du sel, dans les océans, perturberait considérablement le climat planétaire. Des cellules de convection géantes, semblables à des tapis roulants, circulent dans les océans (voir la figure 1). Dans l'Atlantique, par exemple, les eaux chaudes s'écoulent en surface, vers le Nord ; près du Groenland, l'air arctique qui les refroidit les fait plonger à une grande profondeur et former un courant qui voyage vers le Sud jusqu'à l'océan Antarctique. Là, les



eaux profondes, plus chaudes et moins denses que les eaux glacées de la surface, remontent, mais, comme elles sont alors refroidies jusqu'à presque geler, elles replongent dans les abysses. Les courants profonds de l'océan Antarctique, les plus denses du monde, s'écoulent vers le Nord, dans les océans Atlantique, Pacifique et Indien, puis finissent par remonter en surface, et le cycle se répète. Dans les océans Pacifique et Indien, le courant de fond dirigé vers le Nord est contrebalancé par un mouvement vers le Sud des

eaux de surface. Dans l'Atlantique, ce courant est rapidement

arrêté par le puissant tapis roulant qui, au fond, se dirige vers le Sud.

L'Atlantique Nord plus salé que le Pacifique

Dans l'Atlantique Nord, les eaux qui arrivent du Sud s'enfoncent dans les abysses. Dans le Pacifique, cet enfoncement n'a pas lieu, parce que les eaux de surface de l'Atlantique sont plus salées de quelques pour cent que celles du Pacifique : en raison de la disposition des grandes chaînes de montagne des Amériques, de l'Europe et de l'Afrique, l'air s'humidifie lorsqu'il traverse le bassin Atlantique ; l'humidité provient de l'océan, dont les eaux de surface se concentrent en sel, ce qui les densifie. Elles plongent alors dans l'Atlantique Nord et amorcent une circulation globale qui redistribue le sel.

La circulation atlantique, dont le débit est environ 100 fois supérieur à celui de l'Amazone, transporte de la chaleur : l'eau qui

s'écoule vers le Nord est, en moyenne, plus chaude de huit degrés que celle qui se dirige vers le Sud. Le transfert de cette chaleur aux masses d'air de l'Arctique, au-dessus de l'Atlantique Nord, explique le climat anormalement chaud de l'Europe.

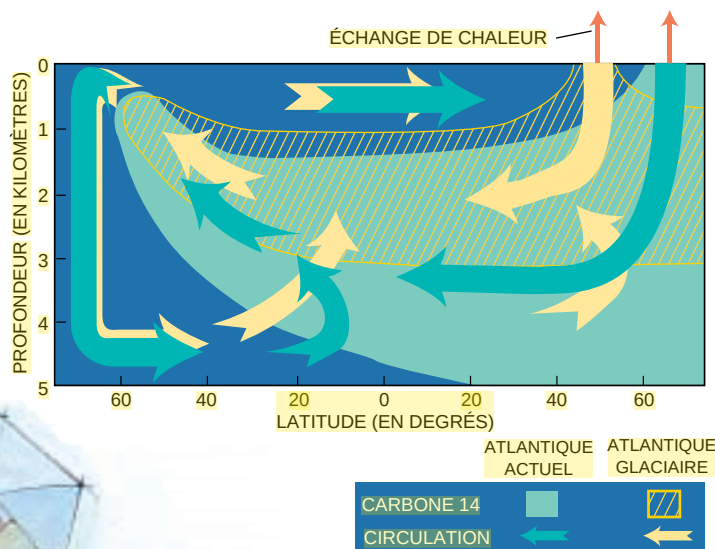
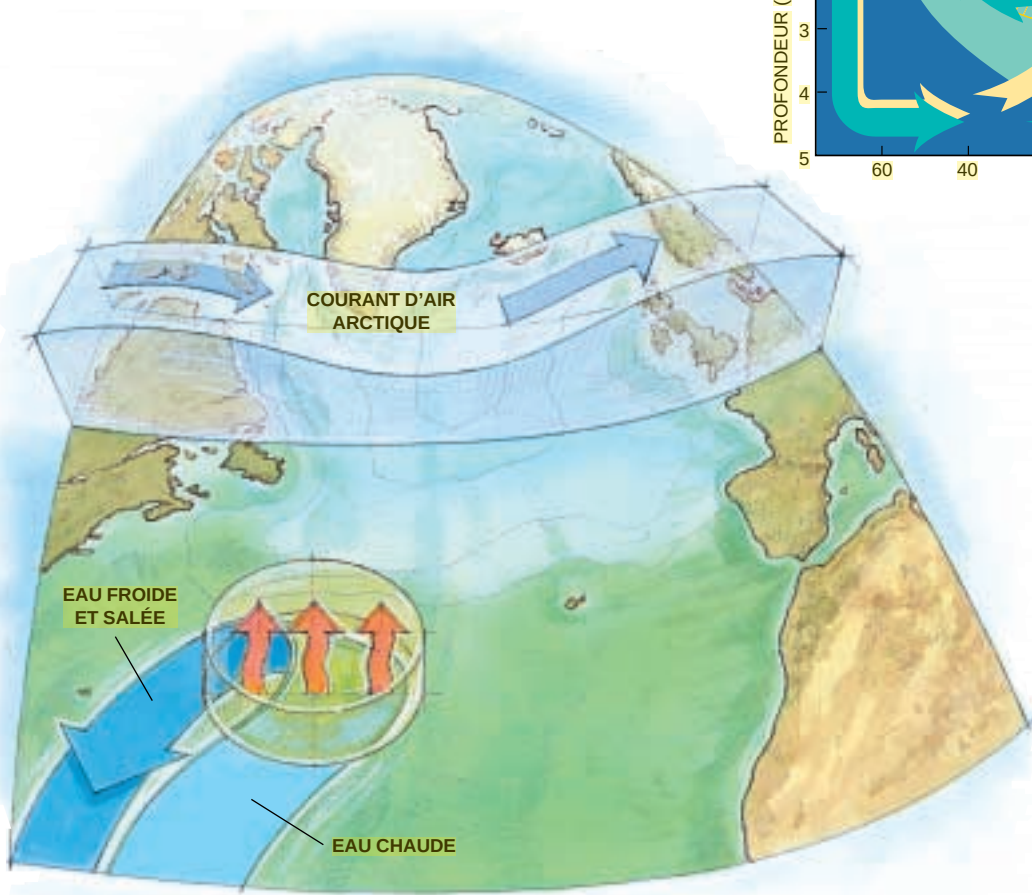
Des apports excessifs d'eau douce dans l'Atlantique Nord perturberaient cette circulation. Aux latitudes élevées, les précipitations et l'écoulement continental sont plus importants que l'évaporation : la salinité des eaux de la surface de l'Atlantique Nord dépend donc de la rapidité avec laquelle le courant global évacue les eaux douces excédentaires de la pluie et des rivières.

De surcroît, tout arrêt de la circulation océanique tendrait à se perpétuer : les températures hivernales, dans l'Atlantique Nord et dans les terres avoisinantes, chuteraient brusquement d'au moins cinq degrés, selon ce que les glaces polaires ont enregistré lors des anciennes vagues de froid. Dublin aurait un climat équivalent à celui du Spitzberg, à 1 500

1. LA CIRCULATION OCÉANIQUE GLOBALE (flèches bleues) correspond à un mouvement de l'eau froide et salée, initialement formée dans l'Atlantique Nord, vers tous les océans de la planète (à gauche). Des eaux plus chaudes s'écoulent en direction du Nord pour les remplacer : elles échangent de la chaleur avec l'atmosphère (flèches orange), ce qui réchauffe le climat de l'Europe du Nord (à droite).



2. UNE CIRCULATION SECONDAIRE, à la latitude de l'Europe méridionale, ne transférerait pas de chaleur aux vents de l'Atlantique Nord. Les températures en Europe, lors des périodes froides, où ce courant existait, étaient, en moyenne, inférieures de dix degrés aux températures actuelles. Cette circulation secondaire est moins profonde que la circulation principale (à droite).



atomes contiennent des nombres différents de neutrons) dans les coquilles des foraminifères benthiques, animaux minuscules qui vivent dans les profondeurs. Les eaux profondes de la circulation de l'Atlantique Nord sont pauvres en cadmium et riches en carbone 13 ; dans les autres eaux profondes de l'océan, c'est l'inverse. Les différences d'abondances sont dues à la respiration des organismes aquatiques, qui réduit la concentration en carbone 13 et augmente la concentration en cadmium. Pendant les périodes de grand froid sur l'Atlantique, la concentration en cadmium a chuté dans les eaux de profondeur moyenne et a augmenté fortement dans les eaux de fond ; la proportion relative de carbone 13 et de carbone 12 a varié à l'opposé. Ces variations sont bien expliquées par le modèle de S. Rahmstorf, qui stipule que la circulation était alors à une profondeur inférieure : les eaux les plus profondes stagnaient.

Ensuite l'existence d'une circulation secondaire expliquerait la poursuite du transfert du carbone 14 vers les eaux profondes, pendant les périodes froides. Si ce transfert avait cessé, les datations obtenues par dosage du carbone 14 montreraient d'énormes distorsions, ce qui n'est pas le cas. Un quart seulement du carbone mondial est aujourd'hui dans les couches supérieures des océans et dans l'atmosphère ; le reste est dans les abysses. La répartition du carbone 14, qui est formé dans l'atmosphère par les rayons cosmiques, dépend de la circulation océanique. Aujourd'hui, dans les océans, le carbone 14

kilomètres du pôle Nord. En outre, une telle variation surviendrait en dix ans au plus.

Puis, après des centaines ou des milliers d'années, la circulation reprendrait parce que la diffusion de la chaleur, des parties les plus chaudes de l'océan, et la diffusion du sel, du fond vers la surface, réduiraient la densité de l'eau abyssale stagnante jusqu'à ce que les eaux de surface de l'une ou l'autre des régions polaires s'y mélangent à nouveau, rétablissant le brassage de la chaleur et du sel. Toutefois cette circulation ne serait pas nécessairement identique à celle d'aujourd'hui : elle dépendrait de l'écoulement d'eau douce dans chaque région polaire.

Selon les simulations de Stefan Rahmstorf, de l'Université de Kiel, l'arrêt de la circulation globale serait suivi de la formation d'un autre courant, moins profond, dont les eaux

froides plongeraient au Nord des Bermudes et non près du Groenland : l'Europe du Nord recevrait moins de chaleur. Cette circulation secondaire serait aussi arrêtée par un afflux d'eau douce, mais elle reprendrait spontanément après quelques dizaines d'années seulement. S. Rahmstorf n'explique toutefois pas comment la circulation principale se rétablirait ensuite.

Le cadmium et le carbone 13

Deux caractéristiques du modèle de S. Rahmstorf intéressent particulièrement les paléoclimatologues. Tout d'abord, il explique les variations, au cours des périodes de refroidissement, des concentrations en cadmium et en isotopes du carbone (les différentes formes de cet élément, dont les