



© 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



L'ESSENTIEL

- Au plus haut niveau, les performances d'un nageur dépendent de son habileté technique.
- Le mécanisme de propulsion du nageur fait encore l'objet de débats.
- Tourbillons, traînée, portance, frottements, vagues, turbulences : nombre de facteurs influent sur la vitesse du nageur. Lequel prédomine ?
- Pour le savoir, physiciens et ingénieurs décortiquent chaque mouvement des athlètes à l'aide de capteurs et de simulations numériques.

© Steve Christou/Steve Christou/Corbis

Nunzio Lanotte et Sophie Lem

Le corps humain est de forme si peu régulière que l'explication physique de la propulsion d'un nageur fait toujours débat. Traînée, portance, tourbillons, etc. : plusieurs mécanismes distincts seraient en jeu.

La natation est l'un des sports les plus populaires au monde. Lors des dernières Olympiades de Londres, des athlètes des cinq continents ont remporté 34 médailles d'or, et leurs performances ont captivé des centaines de millions de téléspectateurs. Et dès le 19 juillet prochain, à Barcelone, 2 500 athlètes issus de 180 pays tenteront leur chance lors de la 15^e édition du championnat du monde de natation. Si un tel engouement entoure ce sport, c'est peut-être parce qu'il requiert non seulement des qualités physiques exceptionnelles, mais aussi une technique raffinée. Les nageurs se soumettent à des entraînements exigeants : un athlète de haut niveau parcourt en moyenne 15 kilomètres par jour, répartis sur deux sessions, et suit un programme de préparation poussée. Néanmoins, sa résistance physique est inutile si elle ne s'accompagne pas d'une maîtrise parfaite de chaque geste.

La traînée, frein et propulseur

La science et la technologie s'intéressent depuis des années aux mouvements des nageurs et contribuent à l'amélioration de leurs performances. Cette synergie n'a rien d'étonnant, si l'on songe qu'une victoire ou une défaite se jouent à quelques centièmes de seconde. Nous brosserons ici un panorama des lois physiques qui peuvent s'appliquer à la natation, des théories proposées pour décrire le mode de propulsion du nageur et des techniques employées dans les centres de recherche les plus avancés. Ce qui pourrait sembler à première vue un mécanisme simple est en réalité un casse-tête passionnant, que maints chercheurs tentent de résoudre.

Aussi surprenant que cela puisse paraître, aucune théorie ne fait l'unanimité parmi les scientifiques pour expliquer le mécanisme propulsif des nageurs, c'est-à-dire la façon dont ils avancent dans l'eau. Pourtant, le mouvement des corps immergés est régi par des lois connues depuis des siècles (le principe d'action-réaction de Newton, le théorème de Bernoulli, au fondement de la mécanique des fluides, les équations de Navier-Stokes, qui décrivent l'écoulement des fluides, ou le théorème de Kutta-Joukowski, fondamental en aérodynamique), voire depuis des millénaires dans le cas de la poussée d'Archimède. Toute la difficulté est