

Que de sel, que de sel...

Le sel est un paramètre essentiel de la dynamique océanique : il modifie la densité de l'eau de mer, et donc sa capacité à plonger dans les profondeurs de l'océan. Sa concentration est liée, entre autres, aux apports d'eau douce en surface. Ainsi, dans les hautes latitudes, de faibles variations peuvent entraîner un changement brutal et durable du climat.

Eric Guilyardi

est climatologue. Il travaille au département de météorologie de l'université de Reading, en Grande-Bretagne.

ericg@met.reading.ac.uk

Chacun sait, pour l'avoir goûtée, que l'eau de mer est salée. Mais d'où vient ce sel? La question intriguait déjà les anciens. Dans les mythes scandinaves, il était issu d'un gigantesque moulin à sel situé sur le fond marin. Pour les Grecs, il provenait d'un navire marchand naufragé, chargé d'amphores remplies de sel gemme. On sait aujourd'hui que les continents sont les principaux fournisseurs : chaque année, l'érosion chimique des roches libère quelque 3,6 milliards de tonnes de sel qui se déversent dans les eaux littorales. Au total, 48 millions de milliards de tonnes sont stockées dans les océans. Si ces derniers s'évaporaient brusquement, le sel récupéré recouvrirait le Globe sur 1,50 mètre!

Cocktail salin. L'océan contient en moyenne 34,7 grammes de sel par kilogramme d'eau de mer, soit 34,7 ups*. Les eaux profondes sont relativement homogènes : 90 % d'entre elles ont une salinité comprise entre 34 et 35 ups. En surface, les variations sont plus fortes. Les eaux sont plus salées sous les Tropiques, entre 20° et 30° de latitude, là où l'évaporation est forte (jusqu'à 37 ups), qu'à l'équateur et aux

hautes latitudes (33 ups en moyenne), où les précipitations l'emportent. De façon générale, la salinité est plus élevée dans l'Atlantique que dans les océans Pacifique et Indien.

Six éléments sont responsables de 99% des sels dissous dans l'eau, deux anions et quatre cations (voir tableau) : le chlorure (Cl⁻), le sulfate (SO₄²⁻), le sodium (Na⁺), le potassium (K⁺), le calcium (Ca⁺) et le magnésium (Mg²⁺). Leur quantité totale et leurs proportions relatives n'ont pratiquement pas varié depuis un milliard et demi d'années. Cela suggère que les sources (apport par les rivières, mais aussi volcanisme sous-marin au niveau des dorsales océaniques, etc.) et les pertes (sédimentation et dépôt sur le fond des océans, rejet vers l'atmosphère *via* l'écume de mer, etc.) sont globalement restées en équilibre. Le chlore, premier composant du sel de mer, est apporté continuellement par les fleuves et rivières, mais pas uniquement. Une part importante aurait été aussi fournie par le volcanisme intense du début de l'histoire de la Terre : l'acide chlorhydrique émis lors des éruptions se serait rapidement dissous dans l'océan sous forme de chlore. Le cas du sodium, second composant du sel de mer, est

*La salinité se mesure classiquement par la conductivité de l'eau de mer qui dépend de la quantité de sels dissous. L'unité utilisée est l'**ups** (unité pratique de salinité) : 1 ups équivaut à environ à 1 gramme de sel par kilo d'eau (1 pour mille).

Bactéries survoltées

Des bactéries marines pour produire de l'électricité en recyclant de la matière organique? D'après Daniel Bond, de l'université du Massachusetts, et ses collègues, c'est chose possible⁽¹⁾.

On le savait : certaines bactéries oxydoréductrices qui peuplent les fonds marins produisent un faible courant électrique lorsqu'elles consomment, par fermentation, de la matière organique. Comment? Par un processus d'oxydoréduction, elles captent des électrons dans les sédiments, puis en relâchent un certain nombre dans l'eau après avoir oxydé leurs aliments. Restait à récupérer le courant.

Les chercheurs ont tout simplement placé des sédiments marins avec les bactéries dans un aquarium, puis ont disposé deux électrodes reliées entre elles : l'une dans les sédiments, l'autre dans l'eau. Résultat, ces bactéries, de la famille des *Geobacteracea*, ont réussi à alimenter une calculatrice!

Le plus intéressant restait à venir. Les chercheurs ont observé que le courant stimule la multiplication de leurs bactéries, au détriment des autres familles de bactéries présentes dans le milieu. Et la quantité d'électricité produite augmente au fur et à mesure de l'expérience.

Ne rêvons pas : nous n'aurons pas demain des batteries fonctionnant aux sédiments. En revanche, on peut envisager d'alimenter ainsi des instruments de mesure océanographiques déposés sur les fonds marins.

Autre application possible : sachant que ces bactéries sont capables de dégrader des molécules organiques polluantes comme le benzène, on peut imaginer de les impliquer dans le contrôle de la pollution des fonds marins. D'autant que, d'après une autre équipe de l'université du Massachusetts, *Geobacteracea metallireducens* est non seulement capable de détecter les oxydes de fer et de manganèse dont elle se nourrit, mais de faire spontanément pousser des appendices lui permettant de s'en approcher⁽²⁾.

A. H.

(1) D. Bond et al., *Science*, 295, 483, 2002. (2) S. Childers et al., *Nature*, 416, 767, 2002.



© Harinc / Bios

LE SEL EN QUELQUES CHIFFRES

Élément	Concentration dans l'eau de mer (g/kg)	Sources	Puits
Chlore	18,97	Volcanisme, rivières	Sédimentation (NaCl), rejet dans l'atmosphère
Sodium	10,55	Rivières	Sédimentation (NaCl), rejet dans l'atmosphère
Sulfates	2,65	Volcanisme	Dépôt/rejet dans l'atmosphère
Magnésium	1,27	Rivières	Adsorption par l'argile
Calcium	0,4	Volcanisme, rivières	Squelette micro-organismes marins/sédimentation (calcite)
Potassium	0,38	Rivières	Adsorption par l'argile

Le sel de table est, pour l'essentiel, extrait de l'eau de mer : chauffée par le soleil, l'eau s'évapore, laissant d'énormes dépôts de sel, comme ici, dans le sud de la Thaïlande.

totalemment différent. Cet élément provient exclusivement des rivières. Son temps de résidence dans l'eau (environ 200 millions d'années) est suffisamment long pour que la quantité totale de sel reste stable. Le calcium, autre élément apporté par les fleuves, est quant à lui rapidement exploité par les micro-organismes marins pour construire leur carapace.

Circulation thermohaline. Depuis quelques années, l'impact de la salinité sur le climat suscite un regain d'intérêt. Car ce paramètre, au même titre que la température ou la pression, modifie la densité de l'eau de mer, et donc la dynamique de l'océan et sa capacité à stocker de la chaleur^(1,2). En jouant sur la densité des eaux superficielles, et donc leur flottabilité, le sel entraîne l'apparition de gradients verticaux et latéraux de température⁽³⁾. Résultat : il existe en profondeur des réservoirs d'eau chaude (car salée). Par exemple, au-dessus de l'océan Pacifique tropical ouest, les précipitations sont abondantes. Les eaux de surface sont donc relativement peu salées. Mais, en dessous, entre 30 et 60 mètres, on retrouve des lentilles d'eau plus chaudes de 1°C⁽⁴⁾. La salinité module donc la répartition de la chaleur et son retour vers la surface. En ce sens, elle influe sur la variabilité du climat.

L'impact le plus spectaculaire est observé aux hautes

latitudes et concerne la circulation thermohaline (de *thermos*, « température », et *halin*, « salinité »), ce vaste mouvement de convection qui brasse l'océan mondial^(5,6). Par exemple, la salinité élevée de l'Atlantique nord, conséquence de l'arrivée des eaux méditerranéennes salées et de la forte évaporation des régions subtropicales, favorise la formation d'eaux profondes denses dans les mers nordiques (lire l'article de Pascale Delecluse, p. 42). Les paléoclimatologues ont montré que cette circulation thermohaline avait connu des hauts et des bas au cours des derniers millénaires. Ainsi, il y a 17 000 ans, la fonte rapide de la calotte glaciaire arctique a déversé quantité d'eau douce, qui a entraîné un désalement de l'eau de mer, à l'origine d'un ralentissement de cette circulation et du Gulf Stream, puis, en conséquence, un refroidissement de l'Europe. De tels accidents climatiques, connus sous le nom de « catastrophes thermohalines », sont survenus à plusieurs reprises. Ils se développent assez rapidement, en quelques dizaines d'années seulement et soulignent, si besoin est, l'extrême sensibilité du climat aux fluctuations locales des apports en eau douce (précipitations, crues des rivières, fonte des glaces de mer, etc.) ou, au contraire, des pertes (évaporation, formation des glaces de mer, etc.). Dès lors, on peut se demander quelles seront les conséquences du réchauffement global actuel sur la salinité de l'océan. Et, en retour, sur le climat ? Il est trop tôt pour répondre.

E. G. ■

Pour en savoir plus

- S. Joussaume, *Climats d'hier et de demain*, Ed. du CNRS, 1993.
- J.-F. Minster, *La Machine océan*, « Nouvelle Bibliothèque scientifique », Flammarion, 1997.

Sites web

- seawifs.gsfc.nasa.gov:80/ocean_planet.html
- www.met.rdg.ac.uk/ericg/conferences.html

(1) E. Guilyardi, *La Météorologie*, 33-34, 2001.

(2) G. Rouillet, *Equilibres en sel de l'océan mondial dans un MCG à surface libre*, thèse de l'université Paris-VI, 2000.

(3) E. Guilyardi et al., *Clim. Dyn.*, 17, 589, 2001.

(4) J. Vialard et P. Delecluse, *J. Phys. Oceanogr.*, 28, 1089, 1998.

(5) W. Broecker et al., *Palaeo*, 5, 469, 1990.

(6) S. Rahmstorf, *Clim. Dyn.*, 12, 799, 1996.