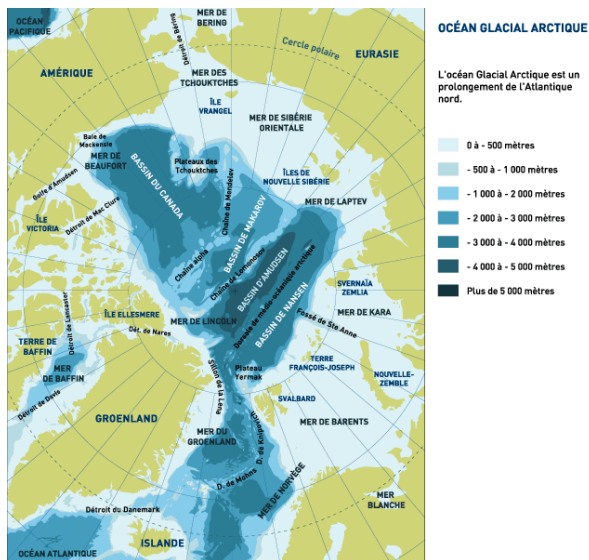


## UN OCÉAN CACHÉ SOUS LA BANQUISE

L'océan Arctique, centré sur le pôle Nord géographique, couvre environ 13 000 000 km<sup>2</sup>. Ses fonds ne sont connus que depuis quelques dizaines d'années. Sorte de Méditerranée boréale quasi fermée par le détroit de Béring, il est enserré par les grands continents de l'hémisphère nord et ne s'ouvre largement que vers l'océan Atlantique, entre le Groenland et la Scandinavie.

## DES BASSINS ABYSSAUX...

Le centre de l'océan Arctique est occupé par des cuvettes profondes de 3 000 à 5 000 m, séparées par des chaînes sous-marines dont les sommets culminent à près de 1000 m sous la surface. Cette morphologie complexe reflète une histoire géologique longue et tumultueuse.



## ...BORDÉS DE MERS PEU PROFONDES ET D'ARCHIPELS

Au nord de l'Eurasie, un vaste plateau continental s'étend jusqu'à 1 300 km des côtes, créant des mers bordières peu profondes, d'où émergent plusieurs grandes îles. À l'opposé, au nord du continent américain, la multitude d'îles de

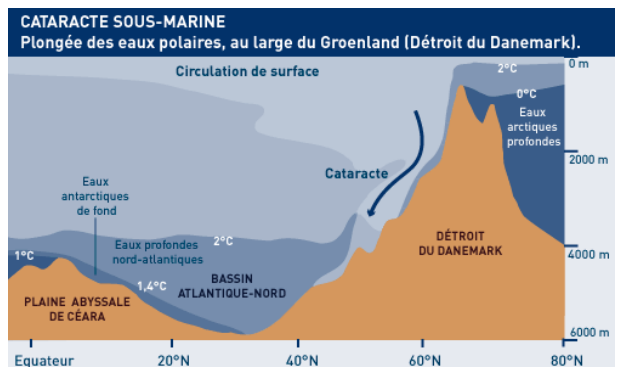
l'archipel canadien forme un réseau d'étroits chenaux très profonds, sur-creusés par les glaciers.

## LES COURANTS DE L'OCÉAN ARCTIQUE



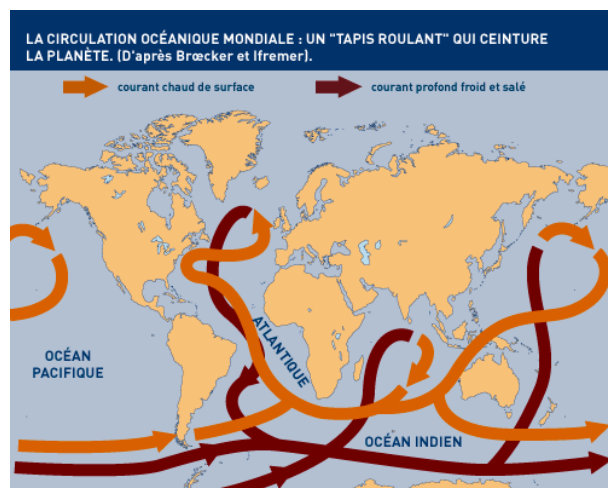
## UNE GÉOGRAPHIE, MÈRE DE NOTRE CLIMAT

L'océan Arctique est une sorte de cul-de-sac de l'océan Atlantique dont il est le prolongement naturel. La large ouverture entre Groenland et Spitzberg permet de vastes circulations de masses d'eau, tant en surface qu'en profondeur. Ce brassage génère d'importants échanges de chaleur, clefs du climat de l'hémisphère Nord.



## LES COURANTS MARINS : DES DISTRIBUTEURS DE CHALEUR

Les océans ne sont pas immobiles. Au contraire, courants de surface et courants profonds les animent en permanence. Les courants de surface (0,1 à 0,5 m/s) sont entraînés par l'action des vents ; les courants profonds, beaucoup plus lents, sont dus aux différences de densité de l'eau de mer, réglées par les températures et les salinités. Tous ces courants sont, lors de leurs déplacements, déviés par la rotation du globe (force de Coriolis). L'océan reçoit beaucoup de chaleur sous les tropiques. De là, les courants de surface transportent les eaux chaudes vers les hautes latitudes, où la chaleur est restituée à l'atmosphère. Ensuite, l'eau, refroidie et donc plus lourde, plonge en profondeur et repart vers les tropiques, emportée par la circulation profonde (eau profonde nord atlantique par exemple). Les masses d'eau océaniques tempèrent ainsi les rigueurs des régions froides et modèrent la température des régions chaudes. Comprendre la circulation océanique mondiale c'est donc mieux comprendre les climats de la Terre ; et toute variation océanique altère les climats.



## L'OCÉAN ARCTIQUE : LE CUL-DE-SAC DE L'OCÉAN MONDIAL

Le fond de l'immense cuvette océanique boréale communique par un étroit sillon sous-marin (fosse de la Léna, dont la profondeur maximale dépasse 4 000 m) avec un deuxième domaine, le bassin scandinave, trois fois plus petit, qui s'étend entre le Svalbard, la Norvège, l'Islande et le Groenland.

Ce bassin scandinave est, lui, largement ouvert sur l'Atlantique de part et d'autre de l'Islande. L'eau qui pénètre dans l'océan Arctique par le détroit de Béring, poussée par le courant giratoire de la mer de Béring, est réduite à une couche superficielle (seuil d'une quarantaine de mètres de profondeur) ; côté Atlantique en revanche, la branche du puissant courant nord atlantique, qui rentre le long de la Norvège, est large généreuse (seuils vers -200 m et -500 m, soit une "ouverture" 200 fois plus importante qu'au détroit de Béring). Ainsi, si l'océan Antarctique est le rond-point des eaux océaniques mondiales, l'océan Arctique, au contraire, en est en quelque sorte le cul-de-sac, le point de rebroussement. Les sorties d'eau se font essentiellement de deux façons : en profondeur, de la mer de Norvège vers l'Atlantique, et en surface par les courants du Groenland et du Labrador. Pratiquement rien ne ressort par le seuil de Béring vers le Pacifique.



Le fond des seuils sous-marins nordiques sont marqués par les courants...

## Eaux de fond et eaux de surface

En profondeur, la circulation océanique arctique est très différente de celle de la surface. Toutes les eaux venues de l'Atlantique Nord y retournent, car la sortie vers le Pacifique est condamnée. Au niveau du Svalbard, les eaux atlantiques, plus salées et plus denses quoique moins froides, plongent sous les eaux polaires formées en surface dans le vaste bassin arctique ; cette plongée est nettement marquée par une frontière hydrologique sinueuse : le front polaire. Là, ces eaux pénètrent en profondeur dans le vaste bassin boréal, où on les reconnaît à leur température toujours positive et leur salinité supérieure à 35 ‰. Cette masse d'eau intermédiaire longe tout d'abord le talus eurasiatique, puis, piégée dans les bassins sous-marins successifs, s'en retourne et ressort par le profond sillon de la Léna vers le bassin Scandinave et la mer du Groenland.

Tout au fond du bassin eurasiatique – le plus profond – une couche d'eau de température négative, formée au niveau du plateau continental, demeure piégée, ne pouvant franchir la chaîne de Lomonossov.



### LE BASSIN BORÉAL : 3 MASSES D'EAU SUPERPOSÉES

En général, une couche superficielle d'environ 150 m d'épaisseur, relativement douce (à cause des apports environnants) et dont la température demeure toujours négative, recouvre une couche intermédiaire qui descend jusque vers 900 m, plus chaude ( $> 0^{\circ}\text{C}$ ) et plus salée ( $>35\%$ ); puis jusqu'au fond, circule une couche profonde à peine moins salée, mais de température à nouveau légèrement négative. D'autres subdivisions, parfois saisonnières, apparaissent dans les mers nordiques.

### UNE CATARACTE SOUS-MARINE

Au fond de l'océan Arctique, l'eau peut s'en échapper vers le sud en débordant au-dessus des seuils sous-marins du détroit du Danemark et des îles Féroé. Ainsi naît le courant de fond de l'Atlantique Nord, qui s'écoule en véritables "cataractes géantes" sous-marines. Au sud du seuil groenlando-islandais, l'eau forme une cataracte de 2 000 mètres de dénivelé et de 200 km de large ; vers 3 500 m de profondeur, elle constitue l'eau profonde de l'Atlantique Nord. Pendant sa descente, l'eau de la cataracte se mélange probablement avec de l'eau plus chaude (venue en particulier de la Méditerranée occidentale), de sorte que l'eau profonde de

l'Atlantique Nord est un peu plus chaude que l'eau de fond antarctique, qui arrive, elle, du sud, et forme une couche distincte au-dessus. Ces cataractes ont un débit au moins 25 fois plus que celui de l'Amazone !

### LES COURANTS MARINS : DES DISTRIBUTEURS DE CHALEUR

Les océans ne sont pas immobiles. Au contraire, courants de surface et courants profonds les animent en permanence. Les courants de surface (0,1 à 0,5 m/s) sont entraînés par l'action des vents ; les courants profonds, beaucoup plus lents, sont dus aux différences de densité de l'eau de mer, réglées par les températures et les salinités. Tous ces courants sont, lors de leurs déplacements, déviés par la rotation du globe (force de Coriolis). L'océan reçoit beaucoup de chaleur sous les tropiques. De là, les courants de surface transportent les eaux chaudes vers les hautes latitudes, où la chaleur est restituée à l'atmosphère. Ensuite, l'eau, refroidie et donc plus lourde, plonge en profondeur et repart vers les tropiques, emportée par la circulation profonde (eau profonde nord atlantique par exemple). Les masses d'eau océaniques tempèrent ainsi les rigueurs des régions froides et modèrent la température des régions chaudes. Comprendre la circulation océanique mondiale c'est donc mieux comprendre les climats de la Terre ; et toute variation océanique altère les climats.

### QUELQUES DÉBITS DES GRANDS COURANTS OCÉANIQUES :

- > Courant circumpolaire Antarctique : 130 Sv\*
  - > Gulf Stream : 90 Sv
  - > Cataracte sous-marine du détroit du Danemark : 2,5 à 5 Sv
  - > Courant de Béring : environ 1 Sv
  - > Tous les fleuves du monde : 1 Sv
- \* 1 Sv (Sverdrup) = 1 million de m<sup>3</sup>/s

## L'Océan Arctique : encore bien des mystères...

L'océan Arctique est l'un des moins étudié du monde. Bien que polaire, il est totalement différent de l'océan Antarctique par de nombreux aspects : ses larges plates-formes continentales, son ouverture active (dorsale), son extension jusqu'au pôle, ses importants apports d'eau douce par les fleuves, sa dynamique propre des glaces... Circulation des eaux, processus d'englacement et de dégel sont encore très hypothétiques. La modélisation de l'océan Arctique sur ordinateur pose de graves problèmes ; en particulier, les phénomènes à petite échelle sont mal connus. Pourtant, cet océan joue un rôle prépondérant dans le climat planétaire – et davantage encore européen – car il produit une grande partie de l'eau profonde mondiale et doit "répondre" aux activités humaines, la plupart relativement proches.

## Le jeu des marées, perturbé par le relief côtier

Les marées sont dues à l'attraction qu'exercent la Lune et le Soleil sur la masse d'eau des océans. Mais cette explication – même en tenant compte de l'inertie, des frottements... – ne suffit pas à retrouver par le calcul les rythmes et les marnages peu croyables que l'on observe, par exemple, en Nouvelle – Écosse canadienne (jusqu'à 16 mètres en baie de Fundy !). En effet, l'attraction lunaire seule "soulève" les eaux d'environ 50 cm ; le Soleil – bien plus massif mais tellement plus lointain – rajoute sa contribution : une vingtaine de cm. Mais le reste ? C'est essentiellement le résultat d'une amplification locale, due à la forme des côtes et la remontée des fonds : une résonance. Au fond d'un golfe, ou d'un entonnoir côtier en pente douce, le balancement de la marée se réfléchit sur les parois et "résonne" donc (oscillations forcées), ce qui peut décupler l'amplitude du phénomène initial. Les oscillations des marées génèrent bien sûr des courants, parfois très puissants ; par exemple, entre les îles de Barents et d'Edge. En frappant les pentes des talus continentaux du nord de l'Eurasie, les marées créent également des tourbillons – sortes de mini cyclones aquatiques – qui s'enfoncent profondément dans toute la hauteur d'eau (vortex).

## Les scientifiques dressent des cartes de marées

Au milieu des océans, les marées existent aussi, mais en l'absence d'île, rien ne permet de s'en rendre compte (les bateaux montent avec le niveau de la mer...). Les scientifiques mesurent ce battement du niveau océanique en immergeant sur le fond des appareils enregistreurs (marégraphes) sensible à la pression de la colonne d'eau qui les écrase : une méthode qui donne la marée au centimètre près. Sous l'effet de l'ensemble de ces phénomènes, le niveau des océans semble chaque jour se balancer et tourner autour de points fixes : ces points de marée nulle sont dits amphidromiques (du grec *amphi* et *dromos*, qui court autour) et les lignes qui permettent de suivre les amplitudes au fil des heures, des lignes cotidales, c'est-à-dire d'égale marée (de l'anglais *tidal*, marée). Les océanographes représentent leurs résultats sous formes de cartes où ces points et lignes apparaissent, exprimées en "heure cotidale" ou degrés de longitude à partir du méridien de Greenwich (Temps Universel).



## Le coin des physiciens

> Un litre d'eau froide est plus lourd qu'un litre d'eau chaude; un litre d'eau très salée, est plus lourd qu'un litre d'eau moins salée. Les différences de densité – liées aussi à la pression c'est-à-dire à la profondeur – semblent infimes : quelques dizaines de kilos par tonne (1m<sup>3</sup>). Mais cela suffit pour faire plonger ou surnager les diverses masses d'eau océaniques... que les physiciens repèrent et suivent, précisément, grâce à leurs "signes particuliers" : température et salinité.

> Une diminution de température de 10 °C fait croître la densité de l'eau de mer autant qu'une augmentation de salinité de 2 g/l, ou qu'un enfoncement de 2 ou 300 m dans les profondeurs. Ainsi, une eau polaire superficielle de densité de 1,027 par exemple, passerait à une densité de 1,022 à l'équateur, mais à 1,050 vers 5 000 m de profondeur.

> En Arctique, c'est la salinité de l'eau de mer qui conditionne les plongées d'eau à très grande profondeur, plus encore que la température. En effet, si la salinité de surface de l'océan est faible – en raison par exemple d'un excès de précipitations ou d'apports d'eau douce par les fleuves – la glace va pouvoir se former sur la mer avant que la densité de l'eau n'ait atteint une valeur suffisamment élevée pour lui permettre de plonger à grande profondeur. Or, une fois formée, la glace de mer bloque les échanges océan atmosphère, ce qui arrête alors la formation d'eau profonde.



## LE SAVIEZ-VOUS ?

> La Lune et le Soleil n'attirent pas uniquement l'eau des océans, mais chaque parcelle du globe et donc chaque point de la croûte terrestre. Il existe ainsi des "marées terrestres", qui soulèvent les continents d'une trentaine de centimètres tous les jours. Une modification du sol à laquelle nous ne sommes pas sensibles, car, localement, toute une région se soulève et s'abaisse ainsi. Et nous avec !

> Si le courant du Gulf Stream n'existait pas, le climat de l'Europe serait beaucoup plus froid. Il semble que cela soit déjà arrivé au cours de l'histoire de la Terre. Par exemple, l'affaiblissement des courants pourrait être la cause d'un épisode froid, il y a 11000 ans (Dryas récent).

> Des eaux vieilles de 2300 ans circulent au fond du Pacifique.

> Les marées ralentissent la rotation de la Terre par perte d'énergie due aux frottements internes (2 millièmes de seconde par siècle). Ainsi, au temps des dinosaures, les journées étaient-elles plus courtes qu'aujourd'hui, car la Terre tournait plus vite : l'année comptait alors 380 jours d'environ 23 heures... Et elle comptait 400 jours de 22 heures à l'époque des premiers amphibiens, il y a 350 millions d'années.

> Les éléments radioactifs libérés lors des essais nucléaires ou lors de la catastrophe de Tchernobyl servent de "traceurs" pour pister les courants. Exemple : le tritium, un isotope de l'hydrogène, suivi en mer du Groenland.



## POUR ALLER PLUS LOIN ...

### BIBLIOGRAPHIE

- L'Arctique et l'environnement boréal, P. Avérous – CNDP, 1995
- Arctique (Océan) Encyclopedia Universalis
- Géostratégie de l'Arctique, Amiral Besnault – Economica-1992
- Les caprices des marées, Pour La Science – Août 2001
- La géographie de l'océan, J-R Vanney – Oceanis-1991
- Les cataractes géantes – Pour la Science n°138
- L'océan planétaire – Sciences et Avenir – Hors série n° 98-1994
- Gros temps sur la planète, J-C Duplessis – Odile Jacob-1990
- Glaces de l'Antarctique, C. Lorius – Odile Jacob-1991
- Oceanus – Woods Hole Oceanographic Institution-1986
- Polar Regions – CIA-1981
- Le Système Terre, I. Razool – Flammarion-1993
- Les océans, J-F Minster- Flammarion -1994
- The Arctic Ocean Grand Challenge -1995
- Chercheurs sur l'Océan", P.Avérous – Hachette -1981