

Capsule no. 11, septembre 2011

À la découverte de l'océan Arctique^a

Jessy Barrette^b

Pourquoi étudier les océans?

Avez-vous déjà observé un globe terrestre de tous bords, tous côtés, en vous attardant aux régions où l'on porte habituellement peu d'intérêt? Je parle ici des océans qui couvrent la majeure partie la surface de notre planète, soit environ 71 % (Figure 1). Bien que les océans soient encore très peu connus, nous savons tout de même que ces grandes étendues d'eau ont des effets majeurs sur le climat mondial et régional. C'est pourquoi les océanographes les étudient afin de mieux comprendre leur fonctionnement, et ainsi, de mieux expliquer les nombreux phénomènes physiques, biologiques et chimiques que l'on y observe.

L'océanographie physique, c'est quoi?

L'océanographie est une discipline scientifique qui regroupe divers sous-domaines distincts. Parmi eux, l'océanographie physique étudie par une approche théorique et par l'observation, les phénomènes physiques qui se produisent dans les océans. Par exemple, les courants marins, les vagues, les marées et la transformation des masses d'eau par l'évaporation, l'apport d'eau douce et la formation de glace.

L'une des propriétés physiques de l'eau de mer les plus importantes est sa masse volumique, soit la masse d'un volume d'eau divisé par l'espace qu'il occupe. Cette propriété de l'eau a un impact important sur la dynamique des océans; elle est intimement liée à la circulation océanique, autant à l'échelle globale que locale. La masse volumique est influencée par trois paramètres : la température, la salinité et la pression.



Figure 1 : Les océans de notre planète couvrent plus de 71 % de sa superficie. Il va sans dire que ceux-ci agissent de façon importante sur le climat.

^a Cette capsule est disponible en ligne à l'adresse suivante : www.ete.inrs.ca/ete/publications#Capsules_INRSciences

^b Étudiant au doctorat sous la supervision du professeur Yves Gratton, INRS – Centre Eau Terre Environnement, 490 de la Couronne, Québec (QC) G1K 9A9, jessy.barrette@ete.inrs.ca

Tout comme l'air, la masse volumique de l'eau varie en fonction de la température. Prenons pour exemple une montgolfière qui utilise l'air chaud présent à l'intérieur du ballon pour s'élever. L'air à l'intérieur du ballon est plus chaud que l'air ambiant et donc plus léger. La température agit de façon similaire dans le cas de l'eau de mer. Ainsi, pour une même salinité et une même pression, une eau plus chaude sera plus légère qu'une eau plus froide¹.

À quelle température considérez-vous l'eau comme chaude?

Pour le commun des mortels, la température d'une eau « baignable » se situe au-dessus de 18 °C. Au-dessous de celle-ci, seulement les plus téméraires oseront tremper le bout d'un orteil.

Mais pour un océanographe de l'Arctique, une eau à environ 2 °C est considérée comme chaude, alors que la température de l'eau froide est près du point de gel qui est d'environ -1,8 °C pour l'eau de mer. L'eau salée peut en effet avoir une température négative.

La caractéristique la plus distinctive de l'eau de mer est sa salinité. Celle-ci a aussi une influence sur la masse volumique : à température égale, une eau douce sera plus légère qu'une eau salée. Cependant, la concentration en sel de l'eau de mer est variable. Plus un volume d'eau possède une grande quantité de sel, plus sa salinité est importante, et par le fait même, sa masse volumique. Par le passé, la salinité de l'eau de mer était déterminée en évaporant toute l'eau d'un échantillon et en mesurant ensuite la masse du dépôt solide restant. La valeur obtenue était exprimée en $\text{mg}_{\text{Dépôt}}/\text{kg}_{\text{Échantillon}}$. Aujourd'hui, la conductivité électrique² de l'eau de mer est utilisée afin

de déduire la salinité. Pour ce faire, on mesure d'abord la température et la conductivité de l'eau ainsi que la profondeur associée. Puis, la salinité est obtenue en introduisant ces paramètres dans une équation empirique.

Le troisième paramètre influençant la masse volumique de l'eau de mer est la pression. Cette dernière propriété n'est qu'un effet direct de la profondeur. Ainsi, le poids de la colonne d'eau du dessus comprime la parcelle d'eau située en dessous, ce qui a pour effet d'en réduire le volume, et par le fait même, d'augmenter sa masse volumique.

La mesure de ces trois propriétés de l'eau de mer (température, salinité et pression), ainsi que la mesure des vitesses de courant constituent les outils de base de l'océanographie physique moderne. À l'aide de ces données, l'océanographe peut étudier les différents mécanismes physiques qui se produisent au sein de ces immenses étendues d'eau que sont les océans. Parmi eux, l'océan Arctique se distingue des autres par les très basses températures atmosphériques qui y sont observées, ainsi que par son important couvert de glace. En effet, la présence de banquise, ainsi que la formation et la fonte de celle-ci, confèrent à l'océan Arctique des caractéristiques qui le distinguent des océans des régions tempérées ou tropicales. L'étude de ce milieu est donc extrêmement intéressante et pique la curiosité de nombreux chercheurs.

Comment étudie-t-on les océans?

Pour étudier les mers du monde, l'océanographe a besoin d'un navire lui permettant d'explorer et de parcourir les océans. Dans le cas de

¹ Ceci est vrai en général, cependant, la masse volumique de l'eau douce est maximale à 4 °C. Sous cette température, celle-ci diminue avec la température. Or, la salinité de l'eau de mer a pour effet d'abaisser la température à laquelle la masse volumique est maximale. Plus l'eau est salée, plus la température de masse volumique maximale se rapproche du point de gel. Lorsque la salinité dépasse 25, cette température se situe sous le point de gel. Dans ces conditions, l'eau gèle avant d'atteindre sa masse volumique maximale.

² La conductivité électrique d'un milieu correspond à la capacité de celui-ci à transmettre un courant électrique.



Figure 2 : Le NGCC Amundsen est un brise-glace canadien pourvu d'équipements océanographiques sophistiqués et adaptés aux climats extrêmes de l'Arctique. À ce jour, il est l'unique brise-glace scientifique à avoir entrepris deux expéditions hivernales complètes dans l'Arctique. (Crédit photo : Jessy Barrette)

Figure 3 : La rosette est l'un des équipements les plus importants d'une campagne océanographique. Les cylindres noirs autour de l'appareil sont appelés « bouteilles Niskin » et sont utilisés afin de recueillir des échantillons d'eau à différentes profondeurs. Sous ces bouteilles se trouve l'ensemble des dispositifs et capteurs permettant de mesurer les propriétés de la colonne d'eau. (Crédit photo : Martin Fortier/ArcticNet)

l'Arctique canadien, un navire tel le brise-glace NGCC Amundsen (Figure 2) est essentiel. Ce navire de recherche est utilisé comme lieu de résidence et de travail pour les scientifiques qui peuvent y demeurer en continu quelques jours, voire quelques mois. À bord, on trouve tout l'arsenal d'instruments nécessaires pour étudier les profondeurs océaniques.

Un des appareils les plus importants que l'on retrouve à bord d'un navire de recherche océanographique est ce qu'on appelle une rosette (Figure 3). Cet appareil est habituellement constitué de bouteilles Niskin permettant d'obtenir des échantillons d'eau à diverses profondeurs. Ces bouteilles cylindriques ouvertes aux deux extrémités peuvent être refermées de la surface grâce à un mécanisme électronique. Lorsque celui-ci est enclenché, deux bouchons viennent refermer les extrémités, emprisonnant l'eau à l'intérieur des bouteilles. Sous celles-ci sont présents plusieurs équipements électroniques mesurant les différentes propriétés de la colonne d'eau telles que la

température, la salinité, la concentration en oxygène dissous, ainsi que la vitesse des courants océaniques. Règle générale, l'utilisation d'une rosette est plutôt simple. Une fois le navire immobile, la rosette est placée par-dessus bord puis descendue dans l'eau jusqu'à ce qu'elle soit près du fond. Elle est ensuite remontée vers la surface en effectuant quelques arrêts afin de récolter des échantillons en refermant au fur et à mesure les bouteilles. Bien sûr, la rosette n'est pas l'unique appareil dont dispose l'océanographe, d'autres équipements plus spécialisés sont aussi utiles, mais la rosette demeure l'appareil de base avec lequel la majorité des relevés océanographiques sont obtenus.

Puisqu'il n'est pas possible pour un navire de séjourner durant une très longue période en un seul lieu géographique, les océanographes utilisent une autre stratégie pour obtenir des données à long terme; ils déploient ce que l'on appelle un mouillage. Ce système est l'équivalent d'une bouée sous-marine ancrée au fond et à laquelle

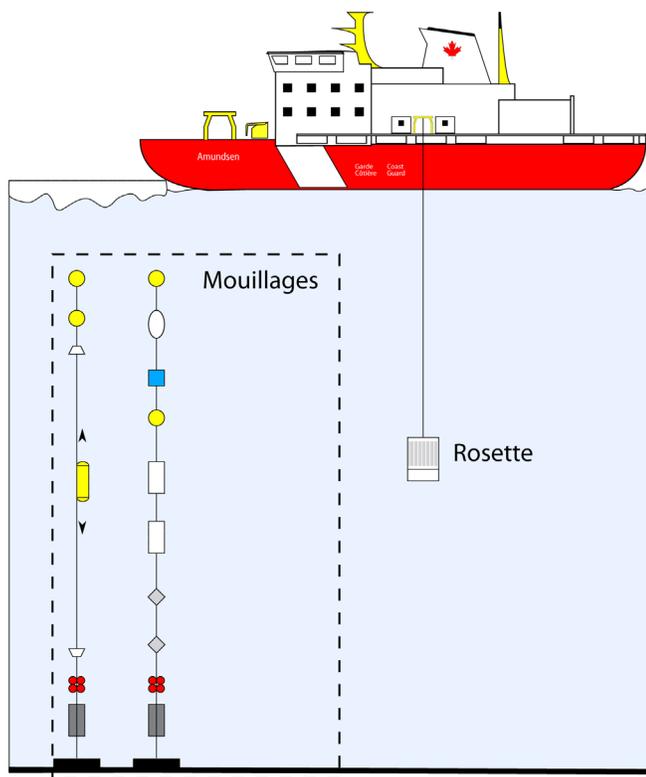


Figure 4 : Les mouillages sont un chapelet d'appareils de mesures ancrés au fond et à l'aide desquels on obtient des données sur une longue période.

sont attachés différents appareils de mesure (Figure 4). L'objectif est de suivre les différentes propriétés de l'eau sur une période de plusieurs mois, voire plus d'un an.

Pourquoi s'intéresser à l'océan Arctique?

L'objectif principal est de mieux comprendre ce système infiniment complexe. D'un point de vue physique, les études permettent de dresser une carte générale illustrant les patrons de circulation des courants océaniques. La connaissance des courants d'une région peut contribuer, par exemple, à expliquer certains phénomènes liés à la biologie marine. Pourquoi un milieu présente-t-il une faune riche et diversifiée alors qu'un autre presque identique en tous points est très pauvre? De plus, les courants marins sont intimement liés au climat. Voici un exemple un peu moins

nordique; pourquoi fait-il en moyenne plus froid sur la côte Est américaine qu'en Europe? Vous l'aurez deviné, le courant du Gulf Stream en est la raison principale. Enfin, l'ouverture du passage du Nord-Ouest ainsi que l'industrialisation grandissante de l'Arctique sont des sujets de l'heure. Une meilleure connaissance des courants marins permettra une meilleure prévention des risques associés à cette nouvelle voie maritime et constituera un atout important en cas de catastrophe écologique.

Bien sûr, les physiciens océanographes ne s'attardent pas qu'aux grands courants marins relativement stables. L'océan Arctique, comme les autres océans, n'est pas une calme étendue d'eau, bien au contraire. Certaines études ont montré qu'il était peuplé de tourbillons marins dont le diamètre peut atteindre plus d'une vingtaine de kilomètres. Ces tourbillons sont l'équivalent marin des cyclones atmosphériques des tropiques. Cependant, à la différence des ouragans, les tourbillons marins sont associés à des courants ne dépassant pas 3 km/h. Ils n'ont donc rien en commun avec ce que l'on voit dans certains films hollywoodiens! Pour le moment, nous ne disposons que de très peu d'information sur ces tourbillons, mais leur importante concentration laisse présumer que ceux-ci pourraient avoir une grande influence sur la dynamique océanique.

Une autre particularité de l'océan Arctique est qu'il est entièrement recouvert de glace en hiver et partiellement en été. Étant très peu salée, la banquise agit de façon importante sur les caractéristiques de l'eau de surface. En effet, lors de la formation de la glace de mer, l'eau de surface en gelant rejette le sel qu'elle contient, ce qui a pour effet d'augmenter la salinité et par le fait même la masse volumique de l'eau sous la surface. Cette eau plus dense se met alors à couler afin de rejoindre plus bas l'eau de même masse volumique. Au printemps, l'effet inverse est observé lorsque la glace se met à fondre, ce qui entraîne

un apport important d'eau douce à la surface. Ce phénomène peut induire différentes modifications environnementales qui demeurent mal connues à ce jour.

Finalement, les données récupérées sur le terrain peuvent être utilisées par différents modèles informatiques permettant de simuler la physique des océans. Par ces simulations, les chercheurs tentent de reproduire la réalité et ainsi de mieux comprendre, vérifier et tester certaines hypothèses. Prenons par exemple les polynies, qui sont des régions libres de glace au milieu de la banquise polaire. Ces régions d'un grand intérêt scientifique sont les oasis des régions polaires abritant une grande partie des espèces vivants dans ce milieu. L'utilisation de modèles informatiques permet de déduire les conditions nécessaires à leur maintien et les conséquences qui en découlent. Dans d'autres cas, les modèles informatiques sont utilisés afin d'émettre des prévisions tout comme le font les météorologues.

Que savons-nous de ces fameux tourbillons?

Nous connaissons l'existence de tourbillons marins dans la mer de Beaufort depuis les années

1970. L'origine de ces ouragans des mers qui peuvent couvrir plus du tiers de la superficie de la mer de Beaufort était jusqu'à tout récemment inconnue. Cependant, de nouvelles observations faites au nord de l'Alaska démontrent qu'un nombre important de ces tourbillons est formé à partir d'un courant présent le long du talus continental du sud de la mer de Beaufort (Figure 5).

Les expéditions du navire de recherche Amundsen dans la région du golfe d'Amundsen ont montré que des structures similaires y sont présentes. Elles se situent sous la surface et sont associées à une salinité et une température constante, près du point de congélation. La rotation dans les tourbillons s'effectue dans le sens horaire et peut atteindre une vitesse de 0,5 m/s, ce qui équivaut à environ 2 km/h, une vitesse extrêmement rapide dans les océans. Plusieurs similarités existent entre les tourbillons observés dans le golfe d'Amundsen et ceux de la mer de Beaufort. Cependant, nous n'avons pas suffisamment d'information pour pouvoir déterminer si leur origine est la même.

L'étude de ces tourbillons marins est d'un grand intérêt puisque ceux-ci semblent fortement associés à la présence en profondeur dans

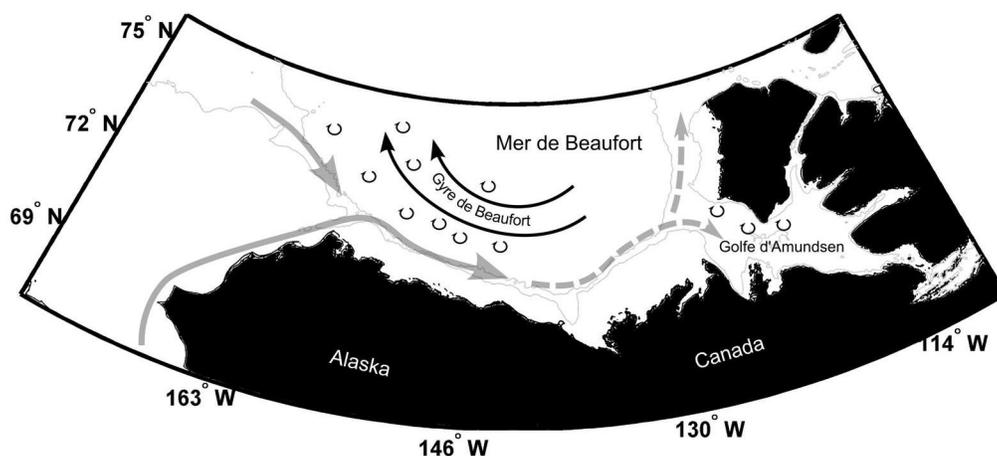


Figure 5 : De récentes découvertes démontrent qu'un nombre important de tourbillons observés dans la mer de Beaufort a pour origine un courant présent le long du talus continental au sud de la mer de Beaufort. Des tourbillons similaires ont été observés dans le golfe d'Amundsen au cours des expéditions du navire Amundsen.

l'océan Arctique d'eaux du Pacifique (Figure 6). Ces eaux refroidies lors de leur passage dans le détroit de Béring sont extrêmement importantes pour l'océan Arctique. En effet, ces eaux froides agissent comme un isolant entre la surface de l'océan Arctique et les eaux chaudes (0,5 °C) de l'Atlantique présentes encore plus en profondeur, protégeant ainsi la banquise arctique. L'absence de cette couche d'eau froide aurait pour effet d'accélérer davantage la fonte de la banquise.

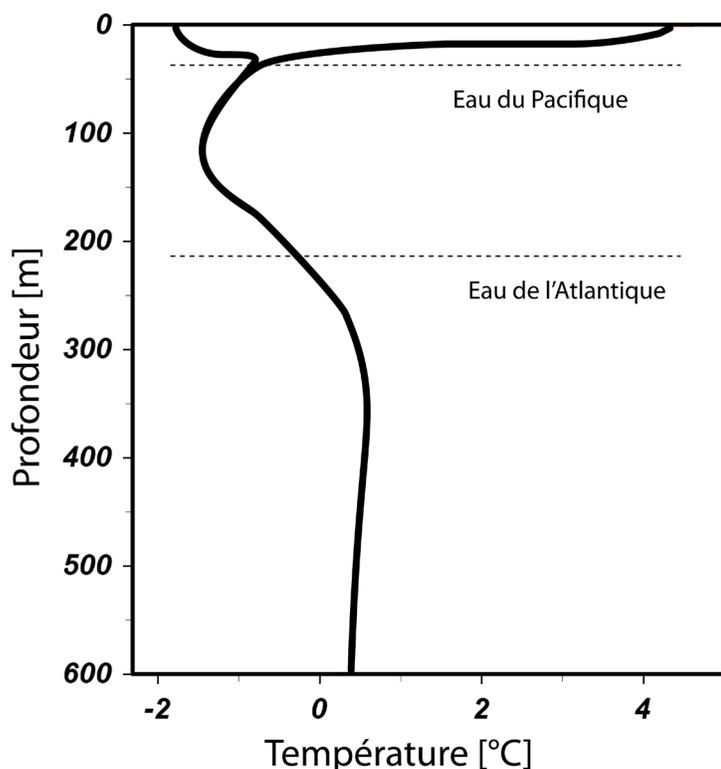


Figure 6 : Profil de la température moyenne observée dans l'océan Arctique. Celui-ci est constitué d'une superposition de différentes couches d'eau. En surface, la température de l'eau varie énormément en fonction des conditions atmosphériques. En profondeur, la température est beaucoup plus stable. Sous la surface, une première couche froide contient des eaux du Pacifique qui ont été refroidies lors de leur passage dans le détroit de Béring. Sous cette couche, plus en profondeur, se trouve une couche d'eau chaude en provenance de l'Atlantique.

Comprendre le présent pour mieux agir dans le futur

En réaction au réchauffement climatique, d'importants changements sont en cours dans les océans qui modifieront profondément leur dynamique. Parmi ceux-ci, notons un important apport d'eau douce provenant de la fonte des glaces, la hausse du niveau des mers, l'augmentation de la température moyenne de l'eau, etc. Il est donc primordial de bien connaître le fonctionnement des océans aujourd'hui afin de mieux prédire les répercussions demain et agir en conséquence. L'océan Arctique est déjà en train de subir une métamorphose complète, notamment en raison de la fonte de son important couvert de glace, il est donc d'autant plus important de s'y intéresser. Bien que le couvert de glace hivernal ne soit pas appelé à disparaître, une diminution importante du volume de la glace est observée depuis le début du siècle précédent. Dans un avenir plus ou moins rapproché, les experts affirment que la banquise ne sera plus que saisonnière et sera réduite à néant en été.

Quelles seront les conséquences de ces profonds changements? Comment réagiront les grands courants marins de l'Arctique? Quelles seront les répercussions sur le climat et par le fait même sur la faune qui y vit? Ces questions figurent parmi les grandes interrogations auxquelles les océanographes d'aujourd'hui tentent d'apporter des réponses.

Pour en savoir plus...

Site Internet d'introduction aux principes de base de l'océanographie physique
<http://lecalve.univ-tln.fr/oceano/plan.htm>

Livre en ligne d'introduction à l'océanographie physique (en anglais)
http://oceanworld.tamu.edu/resources/ocng_textbook/contents.html

Réseau de centres d'excellence du Canada ArcticNet (sans lequel le navire de recherche océanographique Amundsen n'existerait pas)
www.arcticnet.ulaval.ca/index-fr.php

Groupe interinstitutionnel de recherches océanographiques du Québec (Québec-Océan)
www.quebec-ocean.ulaval.ca

Barrette, J., Y. Gratton et L. Prieur (2010). *On the eddies in the Amundsen Gulf*. Affiche présentée à la réunion scientifique annuelle d'ArcticNet (Ottawa, 14-17 décembre 2010).
www.ete.inrs.ca/sites/default/files/C00BarretteJASM2010.pdf