

OCE101 Océanographie Générale

L'Océan Arctique, la Mer de Norvège et la Mer du Groenland
(ou Méditerranée Arctique)

Andrea Doglioli



andrea.doglioli@univ-amu.fr

www.mio.univ-amu.fr/~doglioli

Plan du Cours

- Courte histoire de l'exploration en Arctique
- Topographie
- Climatologie
- Courantologie de surface
- Hydrologie
- Courantologie de fond
- Bilan des transports



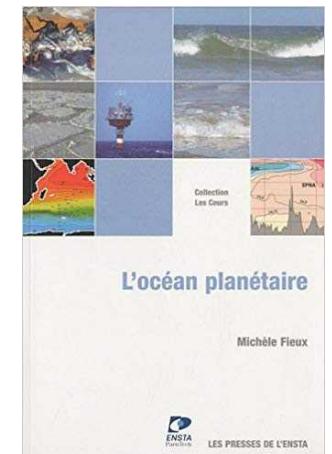
Références Bibliographiques et Liens utiles :

Michèle Fieux, *L'Océan planétaire*, LES PRESSES DE L'ENSTA, 2010.

https://www.ensta-paristech.fr/sites/default/files/fichiers/Bibliotheque/fieux_errata_20-10-17.pdf

Toutes les figures sont tirées de ce livre, sauf si autre indication.

Autres liens dans les diapos suivantes.



Exploration de l'Arctique

1949 Traité de Tordesillas : le Pape partage l'océan entre Espagnoles (ouest) et Portugais (Est)
→ Recherche du passage à Nord-Ouest et de celui à Nord-Est

XVI siècle

Willem Barentsz (ou Barents ou Barentz), 1550-1597, navigateur et explorateur néerlandais, pionnier des expéditions dans les eaux du Grand Nord.

Le premier à arriver à l'extrême NE de la nouvelle Zembla (1594). Découvre le Sptizberg dans archipel du Svalbard (1596).

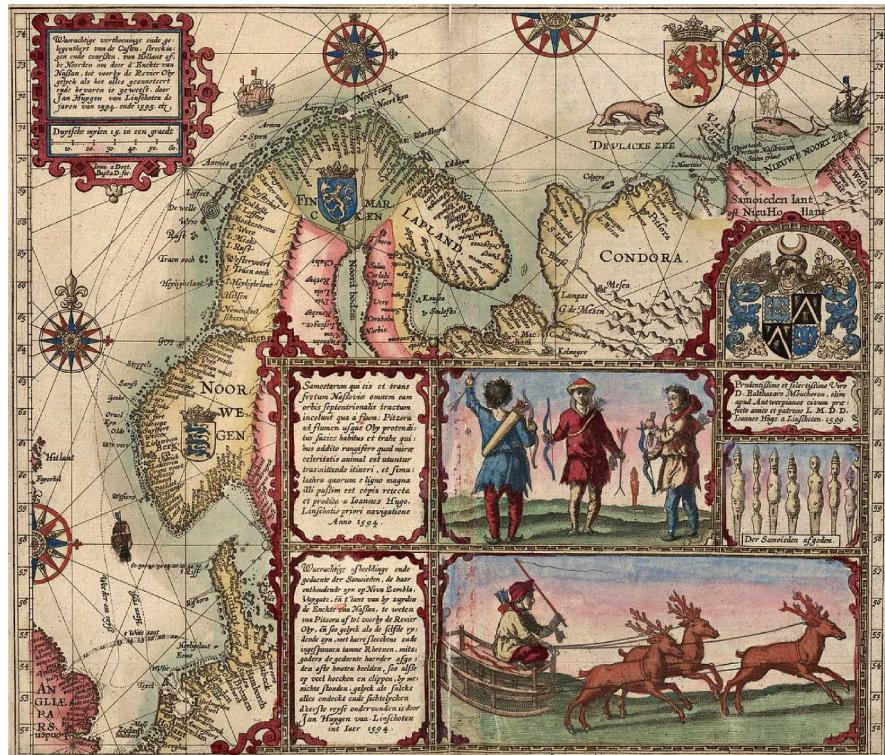


<https://en.wikipedia.org>

XVII siècle

Chasse à la baleine par les Anglais et les Hollandais

Commerce par les Russes



<https://en.wikipedia.org>



Figure 3-62- Carte de l'océan Arctique par W. Barents de 1598 dressée par Hondius en 1625
«Le grands défi des pôles», Imbert et Loria, 2006.

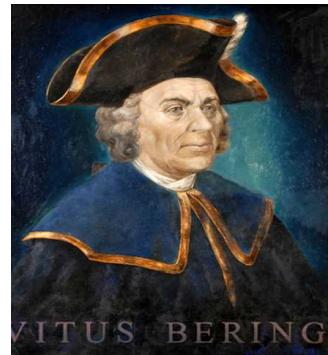
Exploration de l'Arctique

XVIII siècle

Vitus Jonassen Béring (ou Behring), 1681-1741.

Explorateur danois au service de la marine russe, un capitaine-komandor connu parmi les marins russes sous le nom d'« Ivan Ivanovitch Bering ».

1728 : depuis le Pacifique, il découvrit le détroit, à qui son nom a été donné, qui sépare le continent asiatique et le continent américain, ainsi que les côtes de la région (Alaska, Kamtchatka, îles Aléoutiennes etc.)



<https://en.wikipedia.org>



<https://en.wikipedia.org>

Réalisation de la cartographie du nord-est de l'Asie.

1754 Le département de géographie de l'Académie des sciences de Saint-Pétersbourg publie la carte intitulée « Nouvelle carte des découvertes faites par les vaisseaux russiens »

La nouvelle information géographique a été rapidement diffusée et a suscité une grande attention dans toute l'Europe. Ce qui précède est une carte anglaise intitulée The Russian Discoveries (Les découvertes russes), préparée par le cartographe londonien Thomas Jefferys (une réimpression publiée par Robert Sayer dans l'Atlas américain de 1776).



<https://en.wikipedia.org>

<https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/btv1b6700201g>

Source gallica.bnf.fr / Bibliothèque nationale de France

Exploration de l'Arctique

1878

Le baron **Nils Adolf Erik Nordenskiöld**

1832 – 1901, géologue, minéralogiste et explorateur finlandais suédoophone.

Sujet de l'Empire russe, il est connu pour avoir exploré l'Arctique et étudié les côtes de la Nouvelle-Zemble et de la Sibérie et pour avoir été **le premier à franchir le passage du Nord-Est**.

Son bateau, le Vega, une baleinière de 45 mètres renforcée et équipée d'une machine à vapeur.



<https://en.wikipedia.org>

1903-05(ou 06)

Roald Engelbregt Gravning Amundsen

1872 – 1928, marin et explorateur polaire norvégien.

Le Gjøa est le premier navire à avoir franchi le passage du Nord-Ouest.

Amundsen et son équipage de six hommes réalisa cette expédition au cours d'un voyage de trois ans.



<https://en.wikipedia.org>

Exploration de l'Arctique

Routes des première expéditions
à la recherche des passages

à NE :

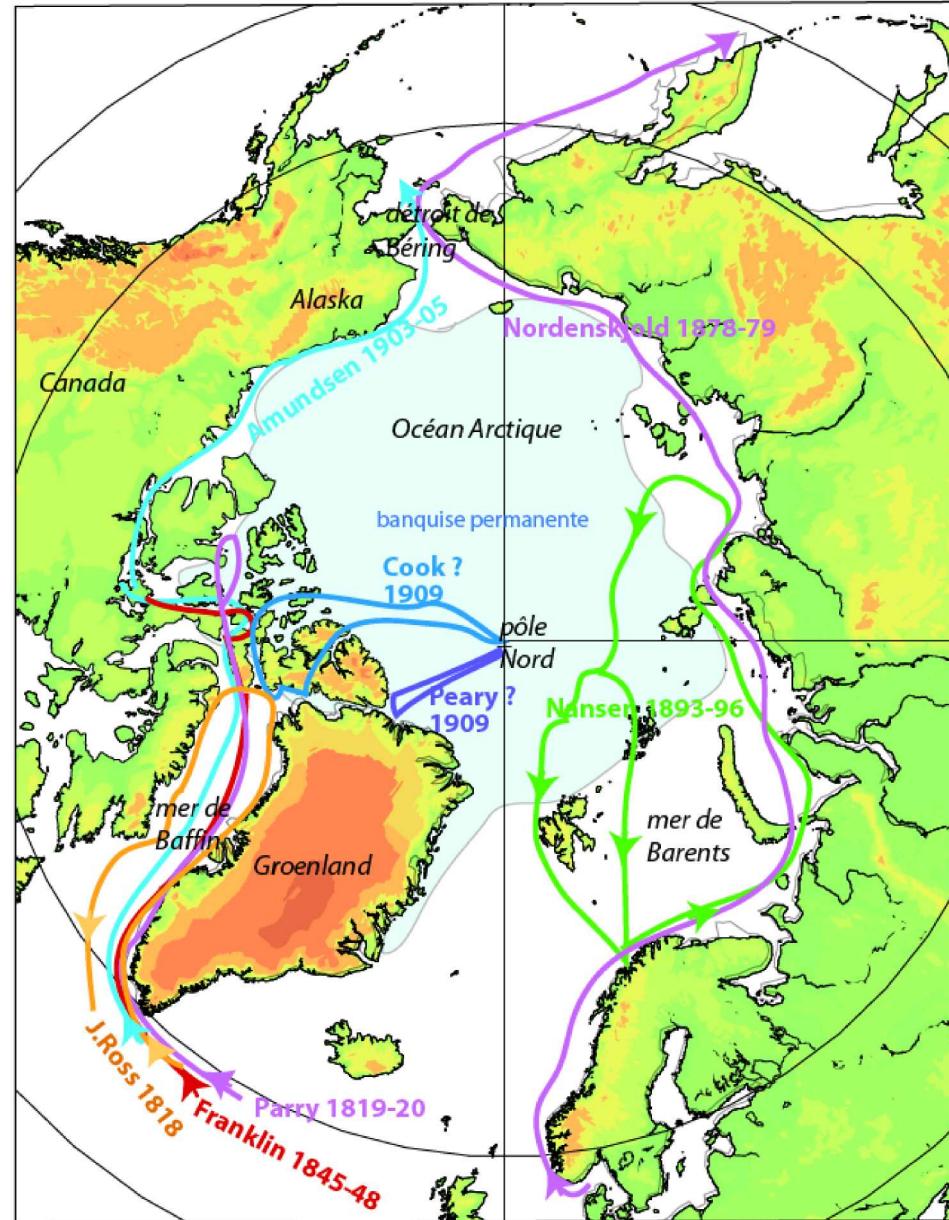
- Nordenskjold 1878-79
- Nansen 1893-96

à NW

- Ross 1818
- Parry 1819-20
- Franklin 1845-48
- Amundsen 1903-05

Au pôle Nord

- Cook ? 1908-09
- Peary (and Henson) ? 1909



L'océan planétaire, Michèle Fieux et Chantal Andrié, ENSTA, 2010

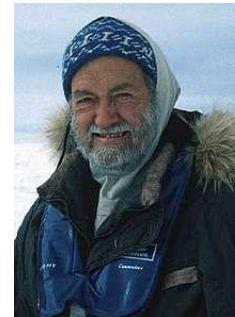
Figure 3-63- Trajets des premières expéditions à la recherche du passage du Nord-Ouest et du Passage du Nord-Est (en bleu ciel, distribution moyenne de la banquise en été) (d'après Imbert et Lorius, 2006).

Exploration de l'Arctique

Les premiers à atteindre le pôle Nord avec certitude sont Roald Amundsen et Umberto Nobile, qui le survolent à bord du dirigeable Norge, le 12 mai 1926



Le Soviétique Ivan Papanine s'y pose en avion le 21 mai 1937



<https://en.wikipedia.org>

Le Britannique Wally Herbert l'atteint en traîneau à chiens le 5 avril 1969

En 1958, le sous-marin américain USS Nautilus est le premier sous-marin à atteindre le pôle lors de la traversée de l'Arctique. Il est suivi par le USS Skate en 1959, qui est le premier à faire surface au pôle.

Le 17 août 1977, le brise-glace soviétique à propulsion nucléaire Arktika est le premier navire de surface à atteindre le pôle Nord, démontrant ainsi qu'il est possible de naviguer en été dans les eaux arctiques.



<https://fr.wikipedia.org>



Aujourd'hui en Arctique

Octobre 2013

«Nordic Orion», le premier cargo qui a osé le passage du Nord-Ouest

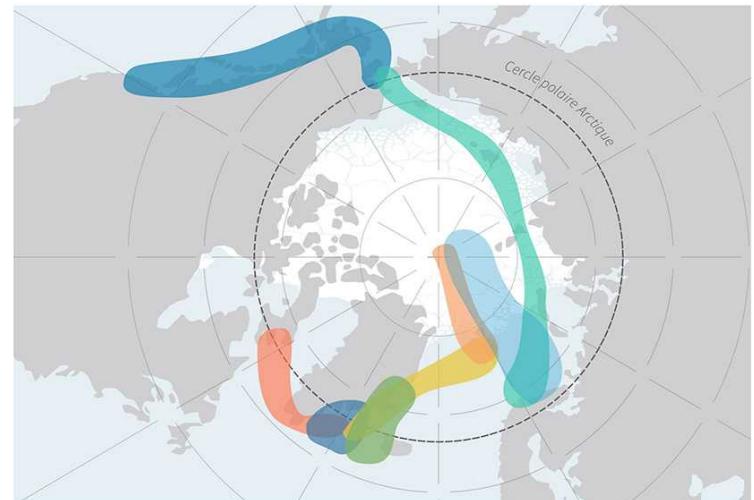


Aujourd'hui en Arctique

2021 : croisière de luxe au Pôle Nord ...



Le pôle Nord - Printemps/Été 2021



■ *Dans le sillage du commandant Jean-Baptiste Charcot*
Avril à mai - 10 à 14 nuits

■ *La banquise, le continent de glace*
Avril - 10 à 12 nuits

■ *À la genèse des expéditions polaires françaises*
Avril à mai - 10 à 12 nuits

■ *Les derniers chasseurs du pôle*
Mai - 15 nuits

■ *Sur le toit du monde*
Juillet à août - 17 nuits

■ *Les derniers degrés du pôle*
Juillet à août - 17 nuits

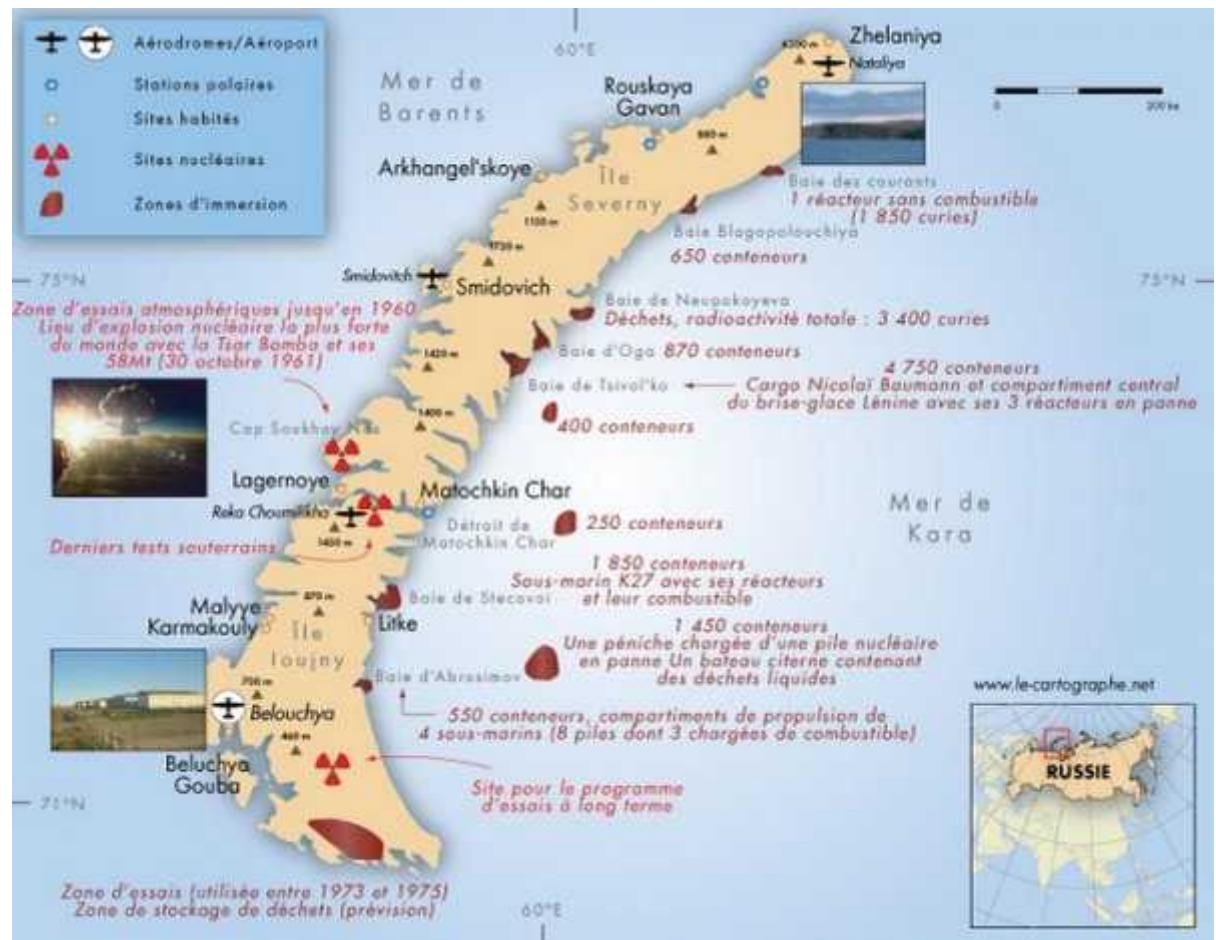
■ *La route maritime du Nord*
Août à septembre - 25 à 30 nuits

■ *L'Alaska et la chaîne côtière*
Septembre - 10 nuits

<https://www.ponant.com/ponant-icebreaker>

Aujourd'hui en Arctique

Le problème des déchets nucléaires en Mer de Kara



Documentaires ARTE : Arctique, la conquête glaciale

Topographie

Detroit Bering
Echanges limités
max depth=55m
Max width=85km

Detroit Fram
Seuil de Nansen=2600m

Mers Nordiques (mer de GIN) = « Antichambre »

1700km
Seuils
Gronlande-Islande 615m
Islande feroe 400m
Feroé-Ecosse 850m

4 bassins (ou 3 selon définitions)

À l'Est larges plateaux continentales

profondeur moyenne 1200m

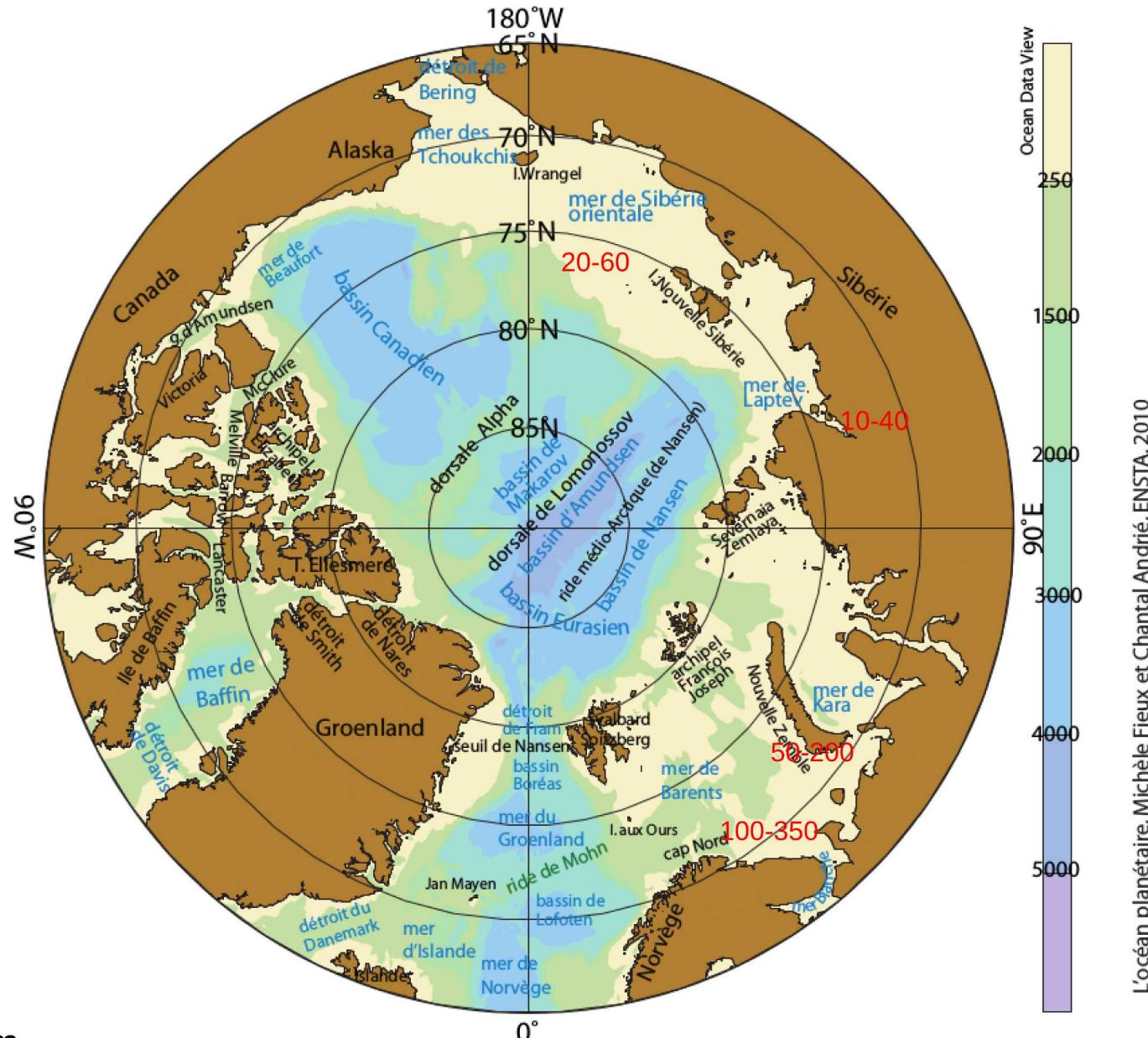
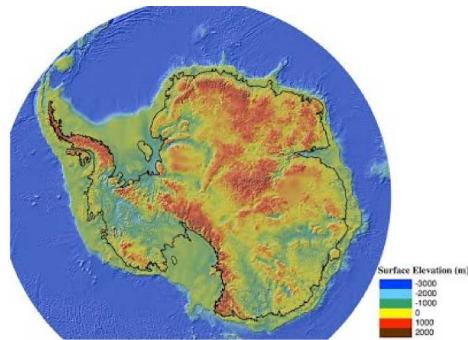


Figure 3-64- Topographie du bassin Arctique (bathymétrie ODV).

Topographie

Configuration inverse



<https://sites.google.com/site/sabrinaseafloorsurvey/>

Surface $14 \times 10^6 \text{ km}^2$

Bassin versant
 $23 \times 10^6 \text{ km}^2$

3730 m

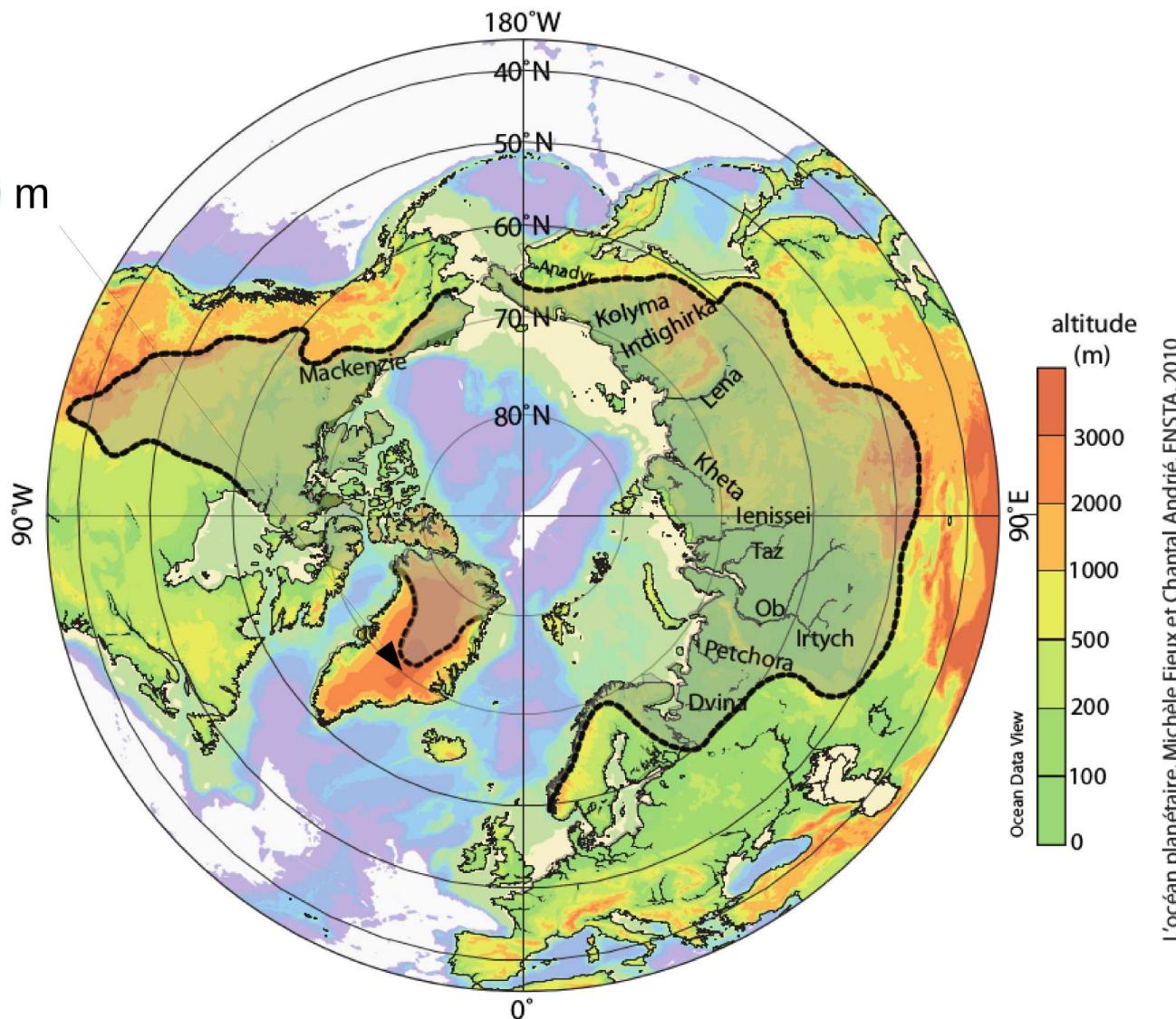


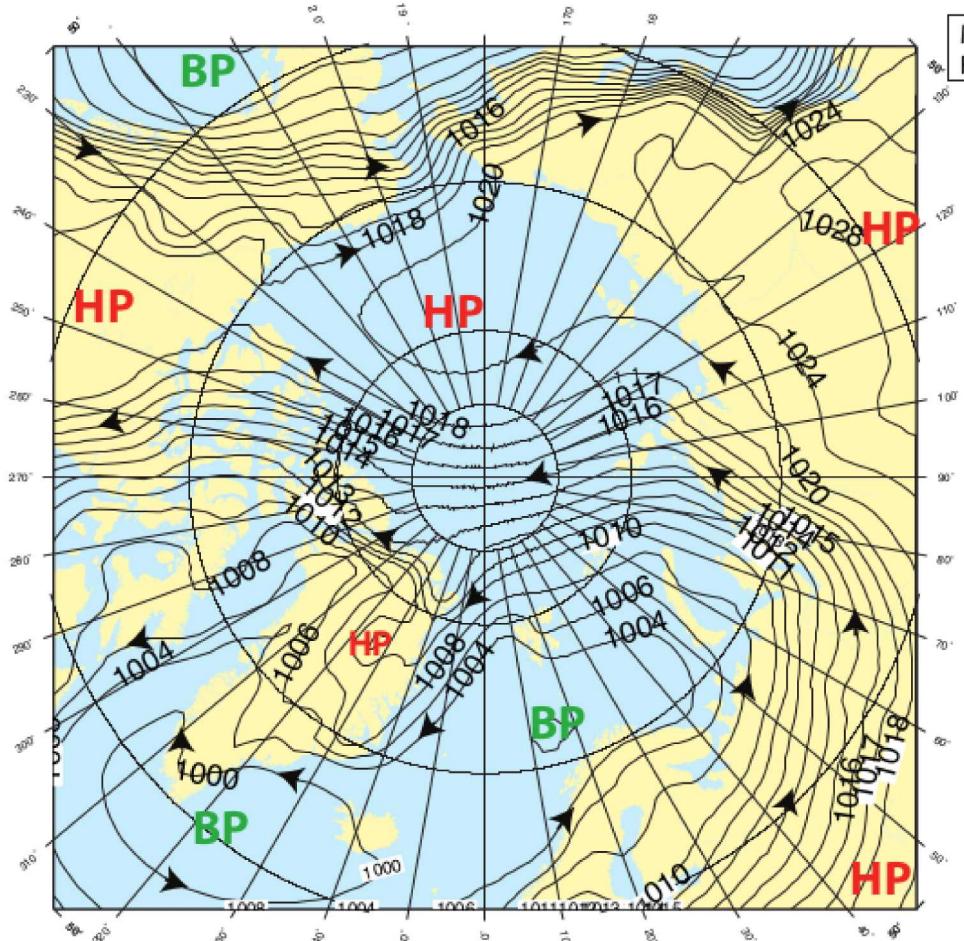
Figure 3-65- Zone de drainage (en gris) de l'océan Arctique depuis les montagnes Rocheuses jusqu'aux hauts plateaux Tibétains.

Climatologie

Hiver

Vent d'est sur le pôle
BP pression sur l'Islande
HP sur les terres

a) moyenne janvier 1979–2001 (ERA40)



Été

BP sur le pôle
HP pression sur l'Islande
HP sur les terres

b) moyenne Juillet 1979–2001 (ERA40)

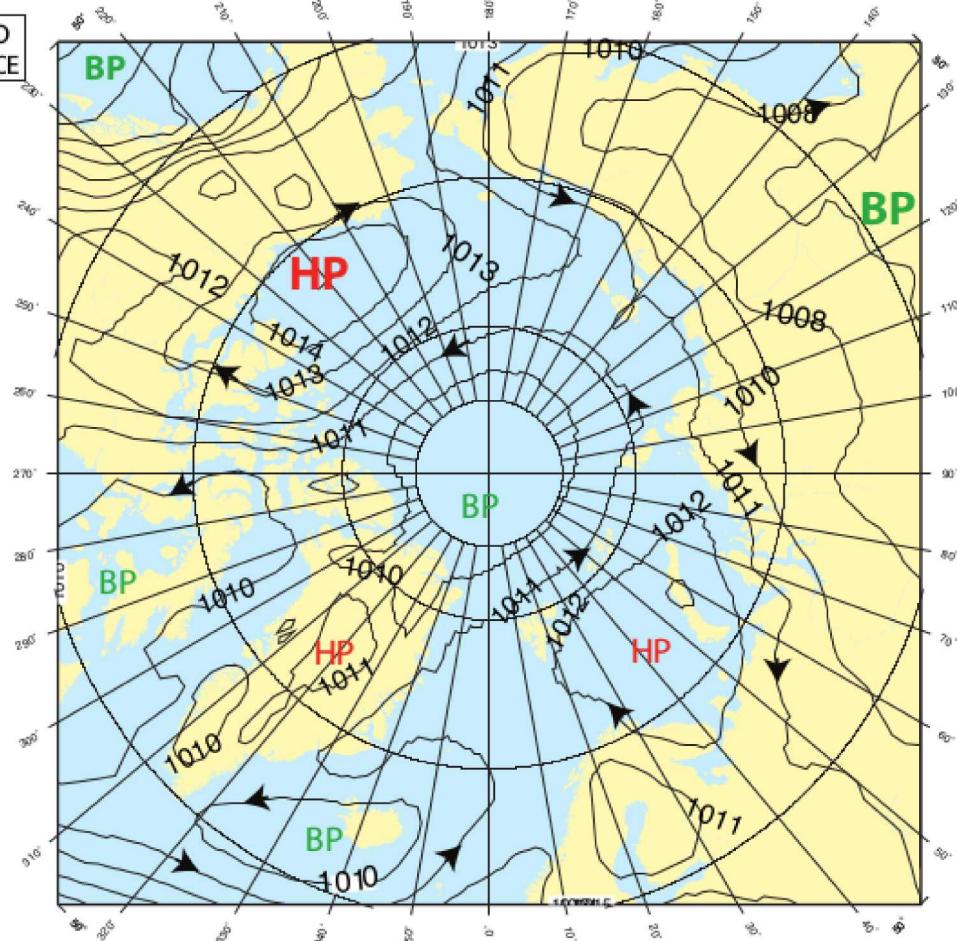
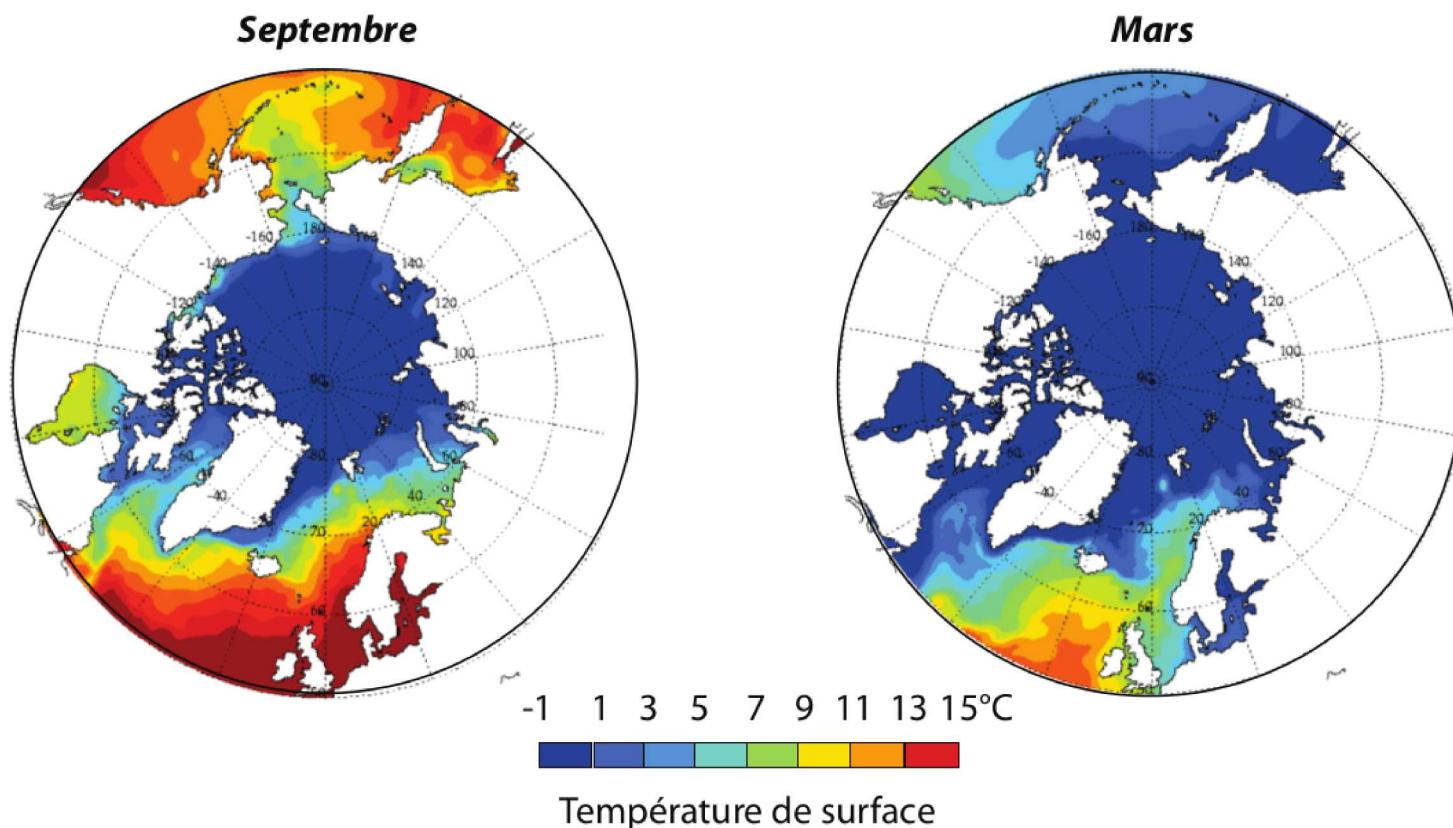


Figure 3-66- Système de pressions et vents moyens sur l'Arctique
(de M. Hontarrède, à partir du modèle ERA40 ECMWF/METEO-FRANCE).

Climatologie

Température de surface

Variations saisonnières visibles en périphérie (hors banquise)
Dissymétrie entre côte de la Norvège et du Groenland



L'océan planétaire, Michèle Fieux et Chantal Andrié, ENSTA, 2010

Figure 3-71- Température de surface en septembre (fin d'été) et en mars (fin d'hiver); les températures très basses correspondent à la présence de banquise (voir la Figure 3-67) (de G. Garric, copyright MERCATOR-OCÉAN. Travaux et interprétations effectués à partir de produits MERCATOR. Tous droits réservés,, données CERSAT-IFREMER).

Climatologie

Précipitations : neige, 100-250 mm/an (Marseille 588 mm/an)

Températures : Océan -13°C/+2°C, Continent : -20°C/+7°C, Glace : -25°C/-3°C

Épaisseur glace 2-4 m
Hummock (amas) et chenaux

Forte dissymétrie
Groenland-Norvège

Fort apports d'eau douce :
bassin de dilution
qui exporte eaux dessalées
et glace de mer.

Transfert de chaleur
Océan → Atmosphère

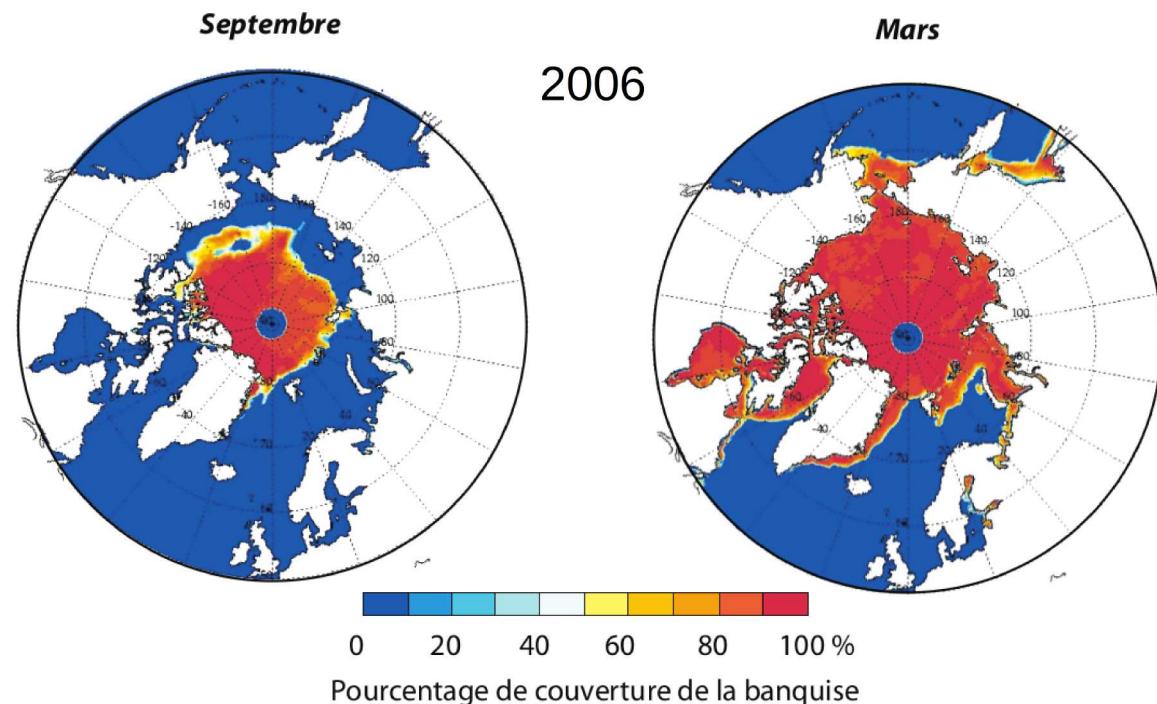


Figure 3-67- Variabilité saisonnière de la couverture de la banquise sur l'océan Arctique en 2006
(de G. Garric, copyright MERCATOR-OCÉAN. Travaux et interprétations effectués à partir de produits MERCATOR.
Tous droits réservés, données CERSAT-IFREMER).

Climatologie

Une **polynie** (du russe "полянья" [polynia]) est une zone qui reste libre de glace ou couverte d'une couche de glace très mince au milieu de la **banquise** formée d'**eau de mer** en **Arctique** ou en **Antarctique** (par opposition aux **icebergs** formés d'eau douce)

Polynyas are formed through two main processes:

Sensible heat polynya: this is thermodynamically driven, and typically occurs when warm water upwelling keeps the surface water temperature at or above the freezing point. This reduces ice production and may stop it altogether.

Latent heat polynya: is formed through the action of katabatic wind or ocean currents which act to drive ice away from a fixed boundary, such as a coastline, fast ice, or an ice bridge. The polynya forms initially by the first year pack ice being driven away from the coast, which leaves an area of open water within which new ice is formed. This new ice is then also herded downwind toward the first year pack ice. When it reaches the pack ice the new ice is consolidated onto the pack ice. This process continues over time, thus naming the latent heat polynyas as a major source of sea ice production in the Antarctic.^[5] The latent heat polynya is the open water region between the coast and the ice pack.

Les polynies jouent un rôle important dans l'écologie de l'océan Arctique. Elles offrent une zone d'eau libre aux mammifères marins, aux oiseaux comme le Manchot royal et le Manchot empereur, et aux ours blancs qui ne migrent pas durant l'hiver. La richesse en plancton — pouvant se développer dès que le Soleil apparaît —, apportée par les polynies, amorce la chaîne alimentaire, qui permet à la faune arctique de se développer.

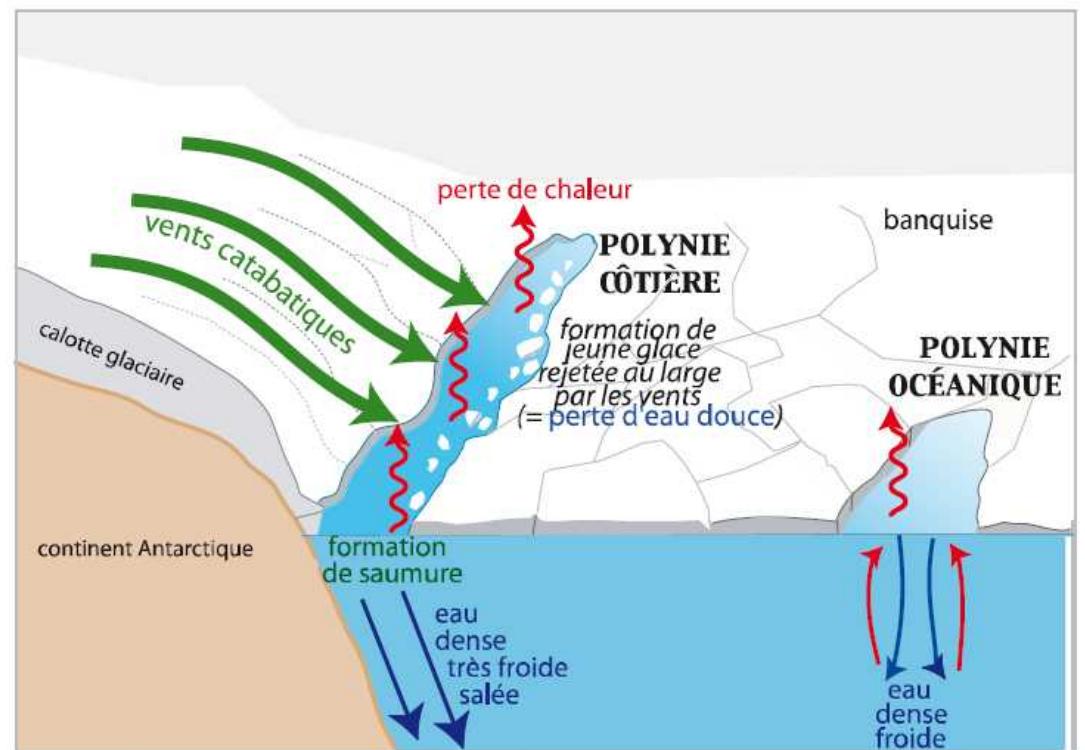
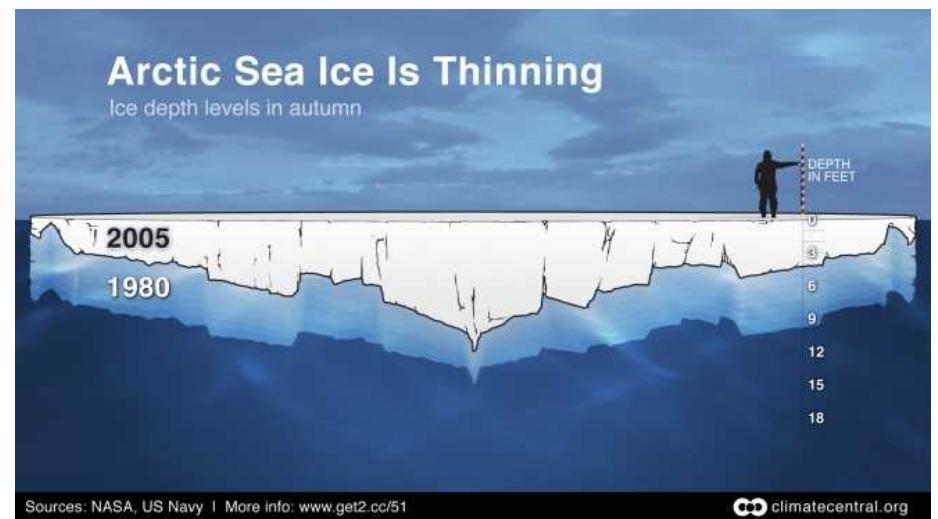
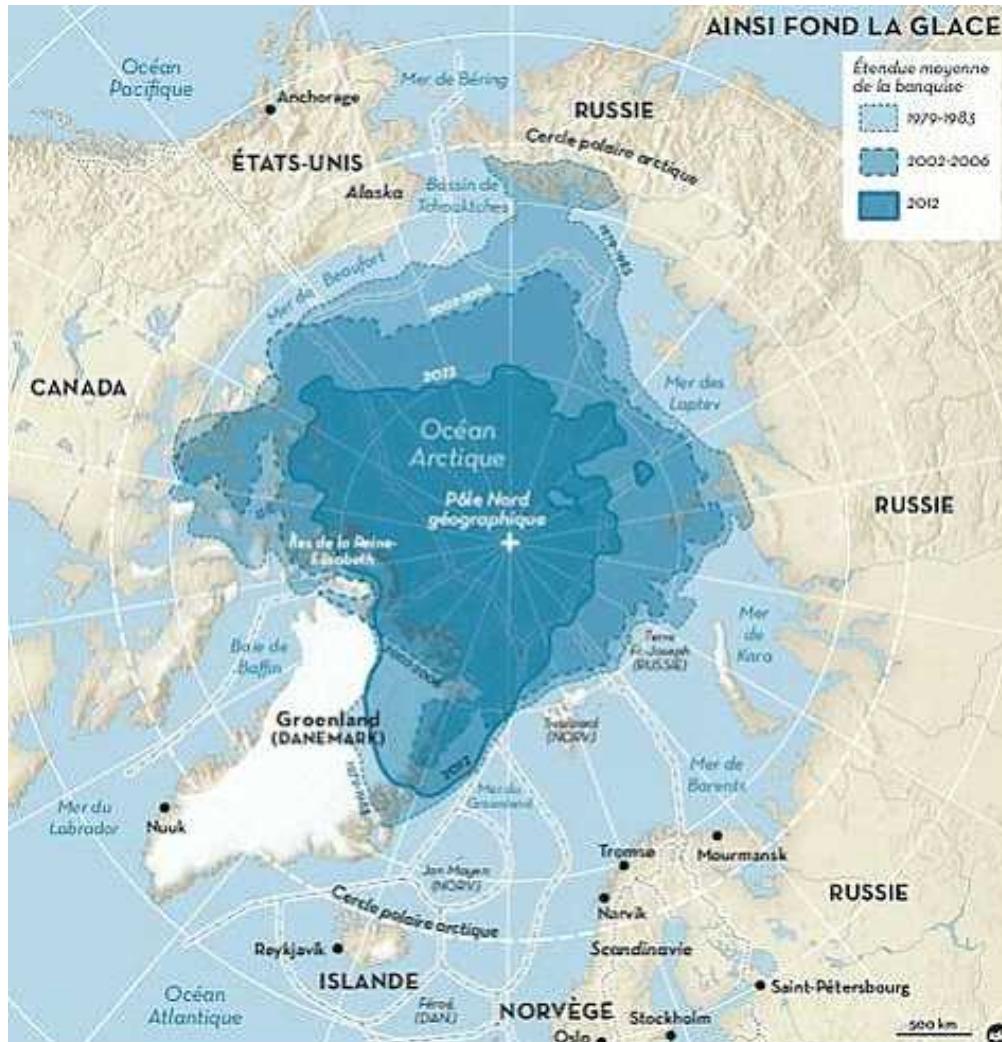


Figure 2-14 (modifiée)

NB : Toujours des schémas en Antarctique, mais mêmes processus en Arctique

Climatologie

Diminution de l'étendue moyenne de la banquise et aussi de son épaisseur



Kwok, Ron and Rothrock, A., "
Decline in Arctic sea ice thickness from submarine and ICESat records:
1958-2008
" Geophysical Research Letters 36, L15501 (2009)

Courantologie de surface

Mouvement de la banquise

1879-1881 dérive du vapeur Jeannette

1893 - 96 : expédition de Nansen avec le Fram



wikipedia.com EN & FR

2006 Tara

<https://oceans.taraexpeditions.org>

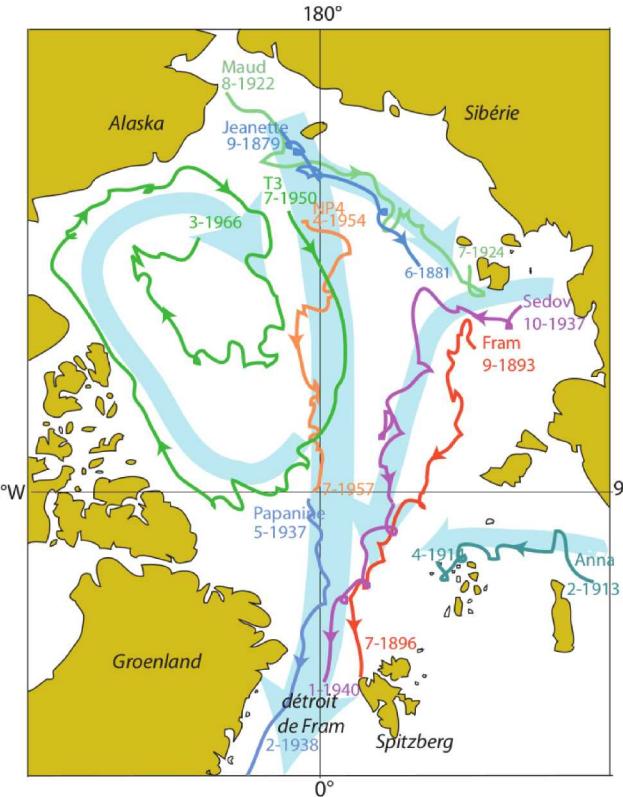


Figure 3-68- Dérives de navires piégés par la banquise, volontairement ou accidentellement, et de stations déposées sur la banquise (d'après Tchernia, 1978).



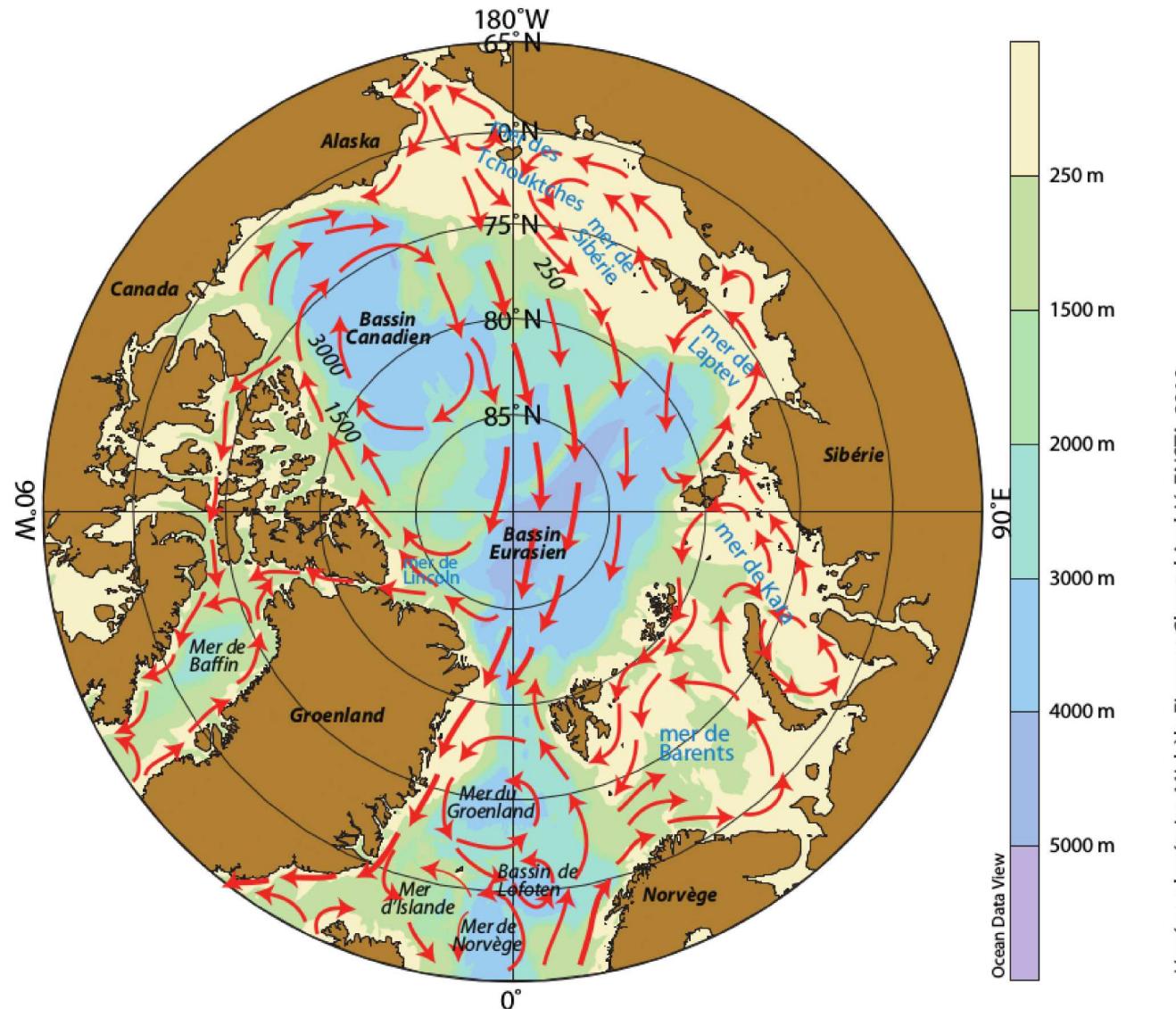


Courantologie de surface

Courant trans-arctique

Circulation anticyclonique
du bassin canadien
(induit par le vent)

Circulations cycloniques
sur le plateau sibérien
et
gyre subpolaire en
Mers Nordiques



L'océan planétaire, Michèle Fieux et Chantal Andrié, ENSTA, 2010

Figure 3-69- Schéma de la dérive moyenne de la glace dans l'océan Arctique à partir de dérives de navires, de stations hydrologiques et de bouées sur la banquise (bathymétrie ODV) (d'après Aagaard et al., 1985; Jones et al, 1995; Rigor and Wallace, 2004; Rudels et al., 1989).

Courantologie de surface

Gyre subpolaire

Courant Norvège : 30 Sv

FSA : Front Sub-Arctique

Ensuite le courant du Labrador entraîne icebergs à 40°N

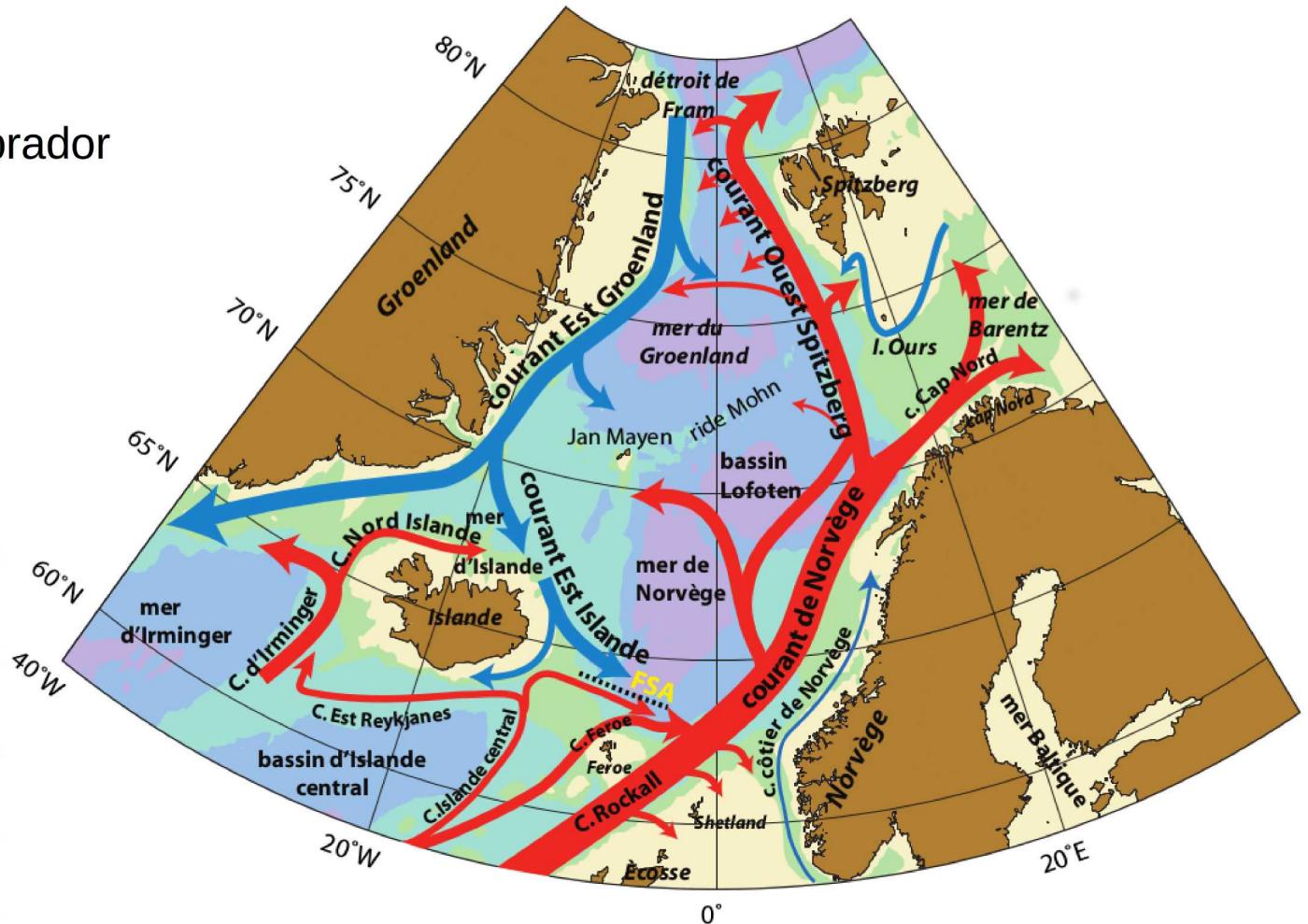
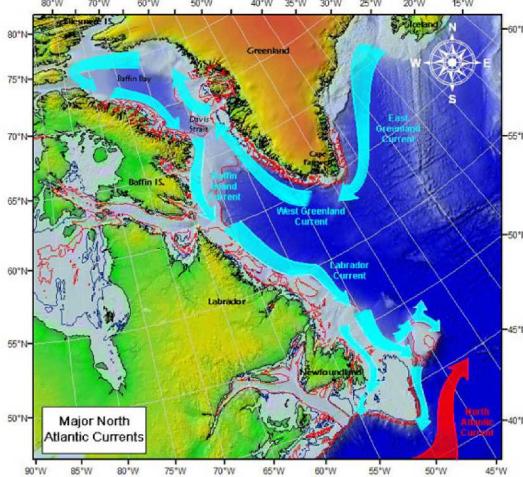


Figure 3-70- Schéma de la circulation de surface en mer de Norvège et mer du Groenland (en bleu courant froid et en rouge courant chaud) (d'après Osterhus and Gammelsrod, 1999) (ODV).

Hydrologie

1^{ère} approximation :
Arctique = bassin de dilution

Coté Atlantique, entrée de l'AW coté Norvège

Mélange le long de la route

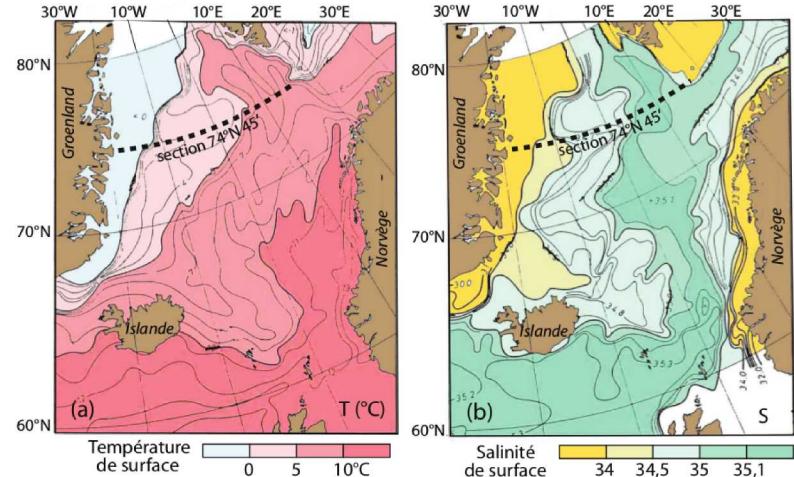


Figure 3-72- (a) Température et (b) salinité de surface en mer de Norvège et mer du Groenland en été (d'après Dietrich, 1969). Position de la section de la Figure 3-73.

L'océan planétaire, Michèle Fieux et Chantal Andrié, ENSTA, 2010

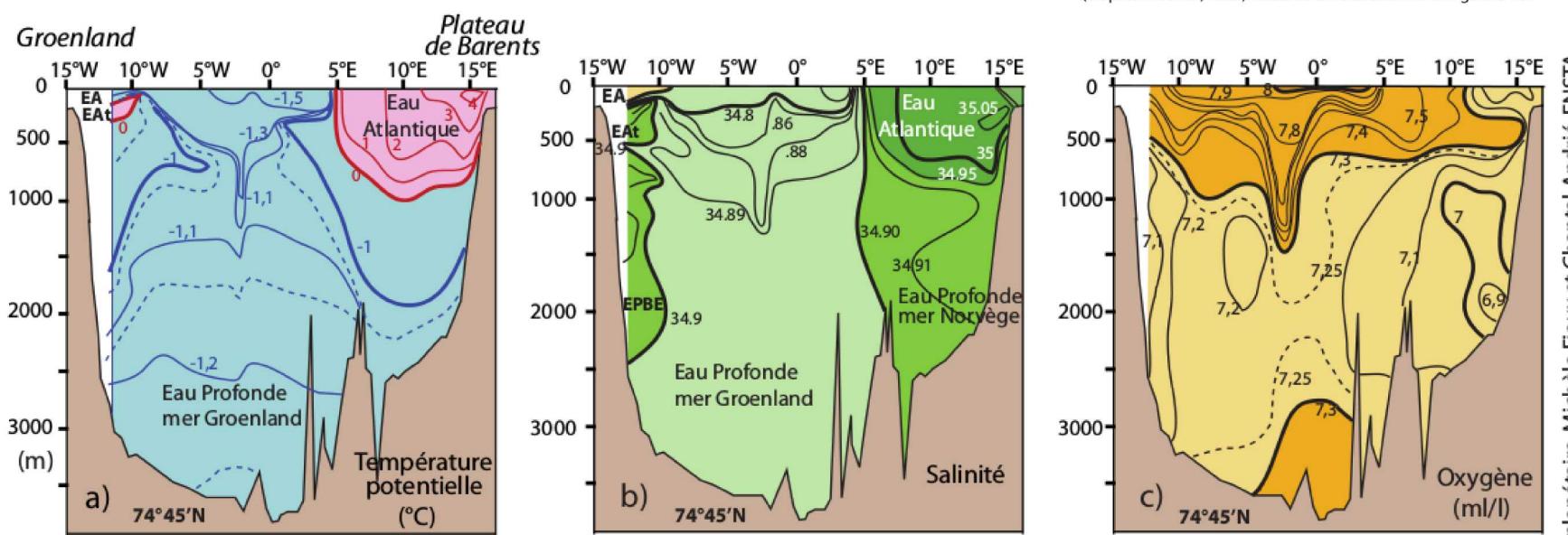


Figure 3-73- Sections (a) de température, (b) de salinité et (c) de teneur en oxygène à travers la mer du Groenland à 74°45'N (tracé de la section sur la Figure 3-72) [EA: Eau Arctique de surface, EPBE: Eau Profonde du Bassin Eurasien, EAt: Eau d'origine Atlantique] (d'après Rudels et al. 1989).

L'océan planétaire, Michèle Fieux et Chantal Andrié, ENSTA, 2010

Hydrologie

À 70°N séparation de l'AW

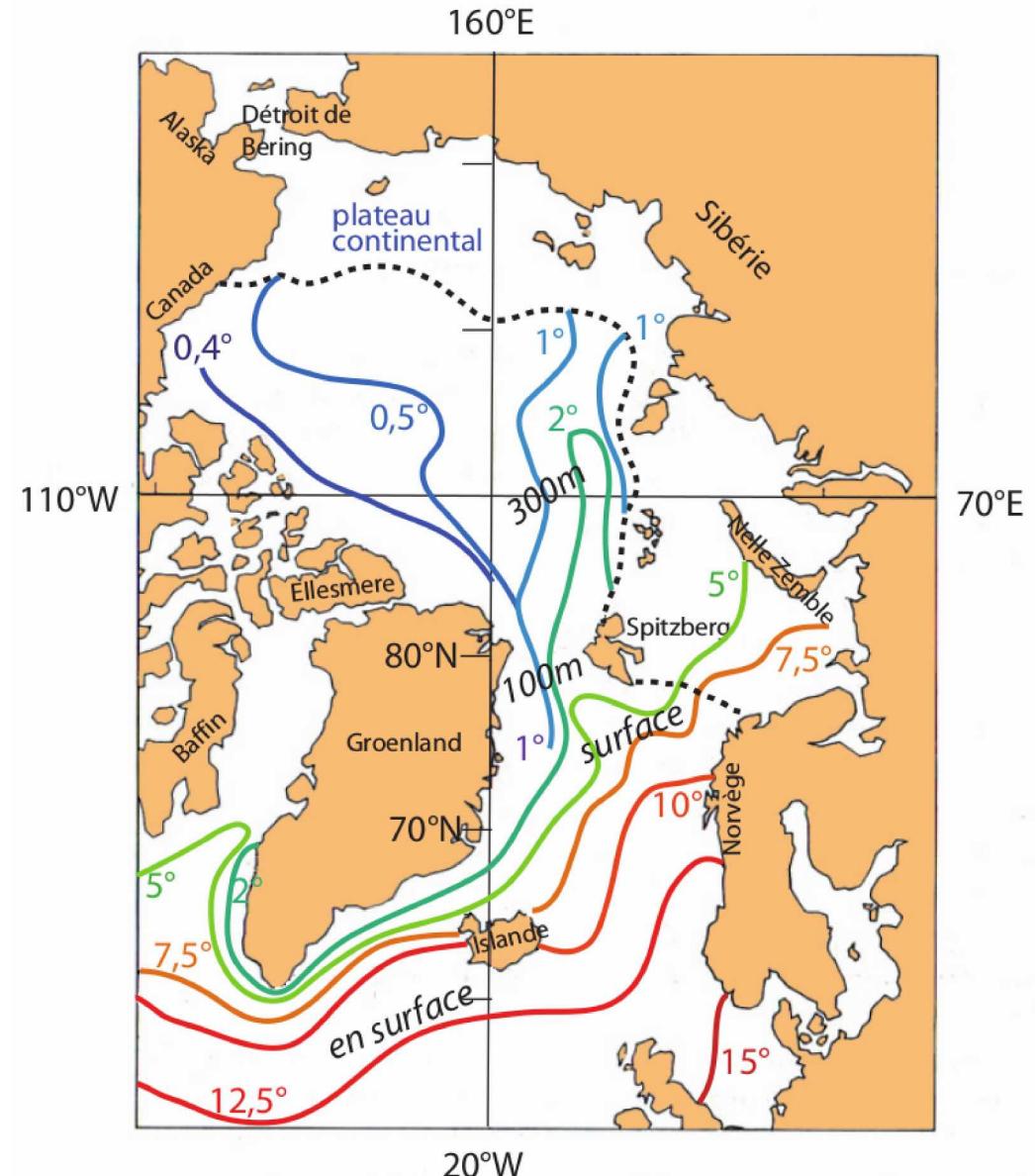
Branche principale
en mer de Barents

Branche secondaire
dans la gyre l'AW passe
sous les eaux froides et
dessalées sortantes
Max T à 100m dans detroit
de Fram

Entrée dans bassin
Canadien (effet Coriolis)
et approfondissement
continue (effet vent
négligeable)

Trajet lent 0.02 m/s

Et mélange réduisent
fortement le DeltaT



Hydrologie

Eau Arctique de surface

Influencé par eau provenant de Bering

Très froide $-1.9 < \theta < -1.5$

Très dessalée $S < 32$

Halocline à 25-50m

Couche barrière contre les échanges de chaleur

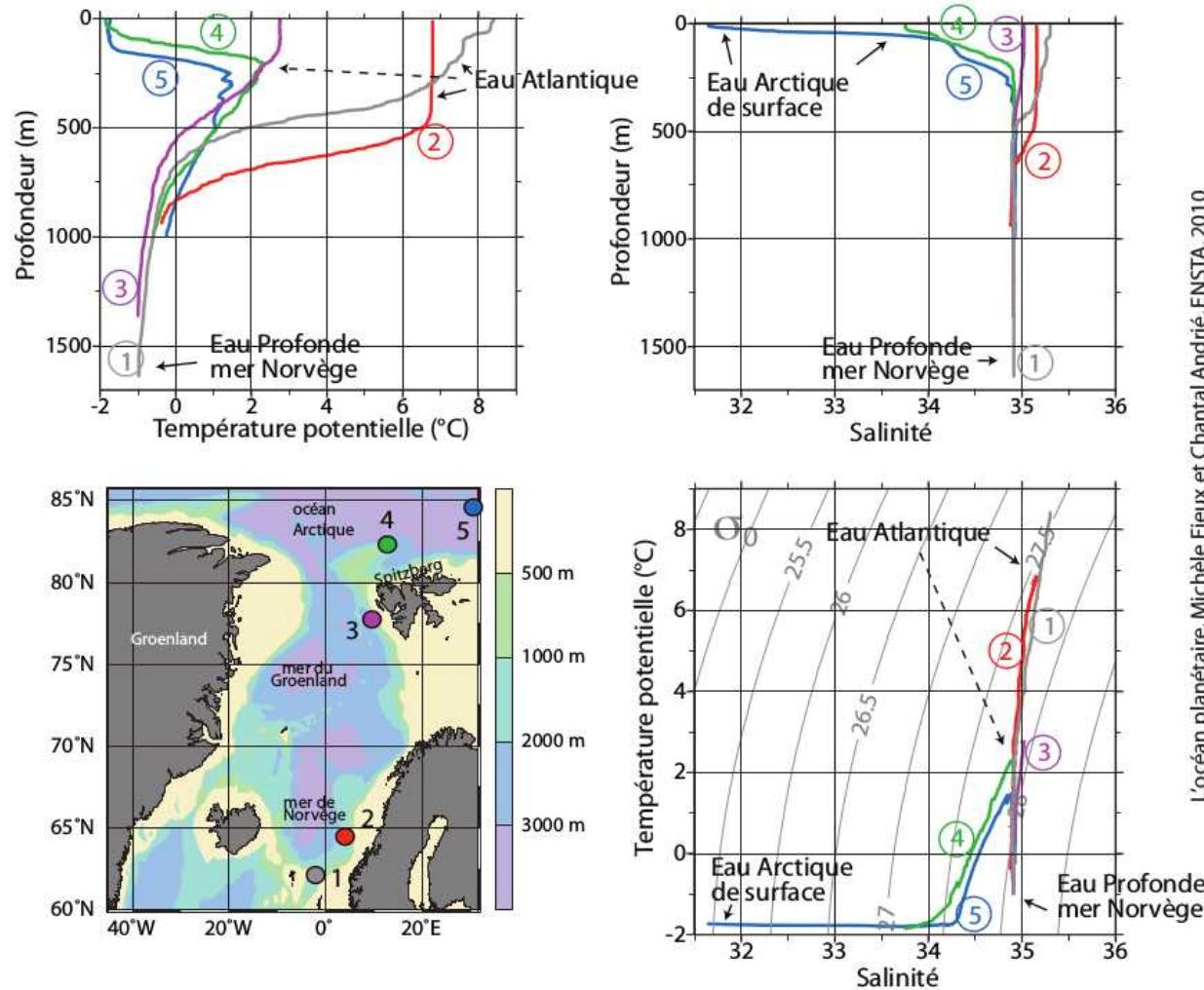


Figure 3-75- Profils de température potentielle, de salinité et diagrammes θ -S montrant l'évolution de l'Eau Atlantique depuis son entrée en mer de Norvège jusqu'à l'océan Arctique (ODV et données World Ocean Database).

Hydrologie

Formation eaux profondes

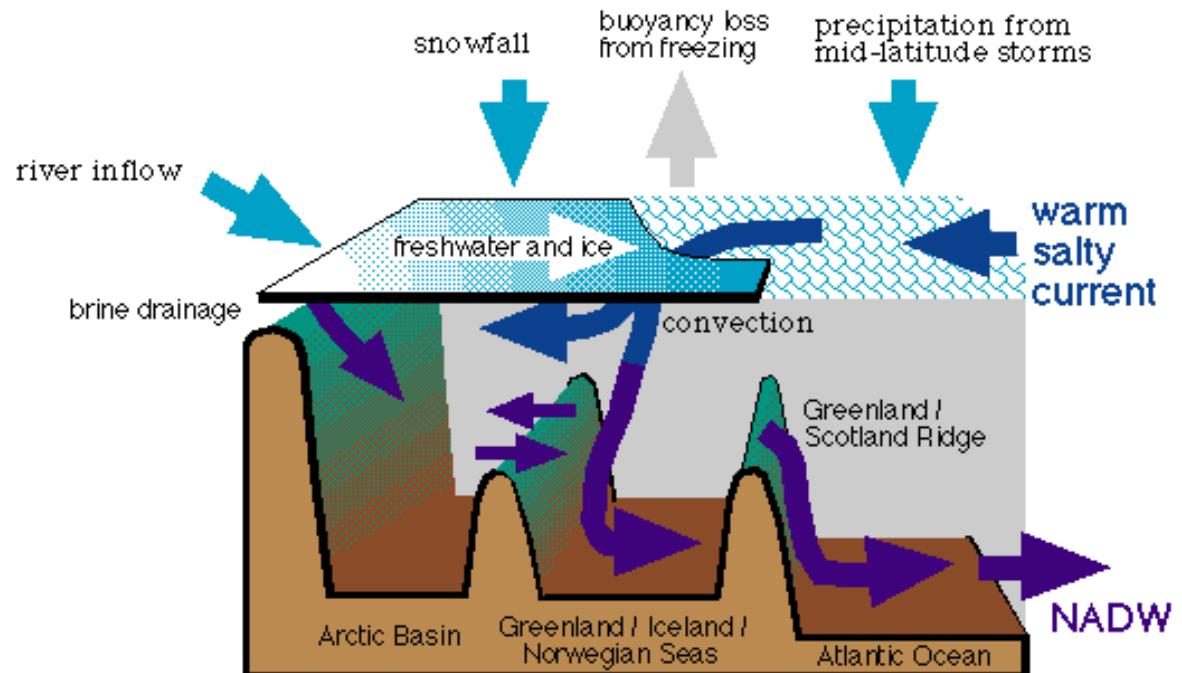
Favorisé par

- création de la glace
- refroidissement de surface ($T > 4^{\circ}\text{C}$)

Contrasté par

- eau douce des rivières et de fonte
- chutes de neige
- advection d'eau moins salée

Pour compenser la plongée eau plus chaude remonte
→ fonte de glace
→ arrêt de la convection



<http://paos.colorado.edu/~fasullo/1060/lectures/lec14d.html>

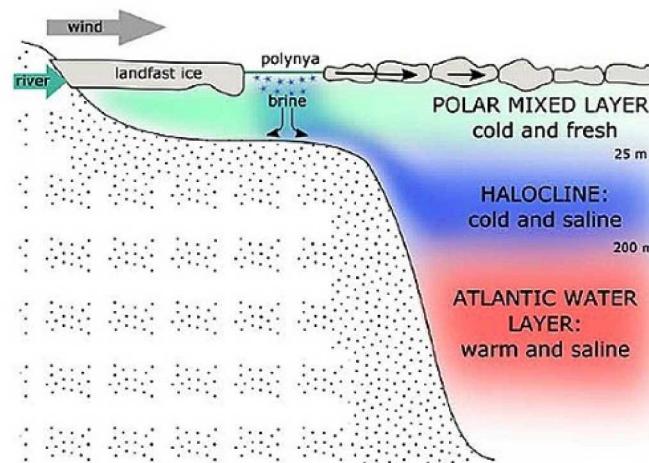


Figure 2. Arctic Ocean vertical stratification and winter processes maintaining the Arctic halocline.

<http://landscapesandcycles.net/arctic-iris-effect-and-dansgaard-oeschger-event.html>

Hydrologie

Eau Arctique Profonde

Par manque de mesure
on pensait que l'eau se formait
seulement en mer nordiques

Formation de la banquise sur les plateaux
→ salinité à 35 et
 $T \sim$ température de congélation
→ formation d'eau dense

On distingue :

- Eau de Fond du bassin Eurasien
(mélange avec Eau Profonde des mers Nordiques)

-Eau de Fond du bassin
Canadien
(+ salée)

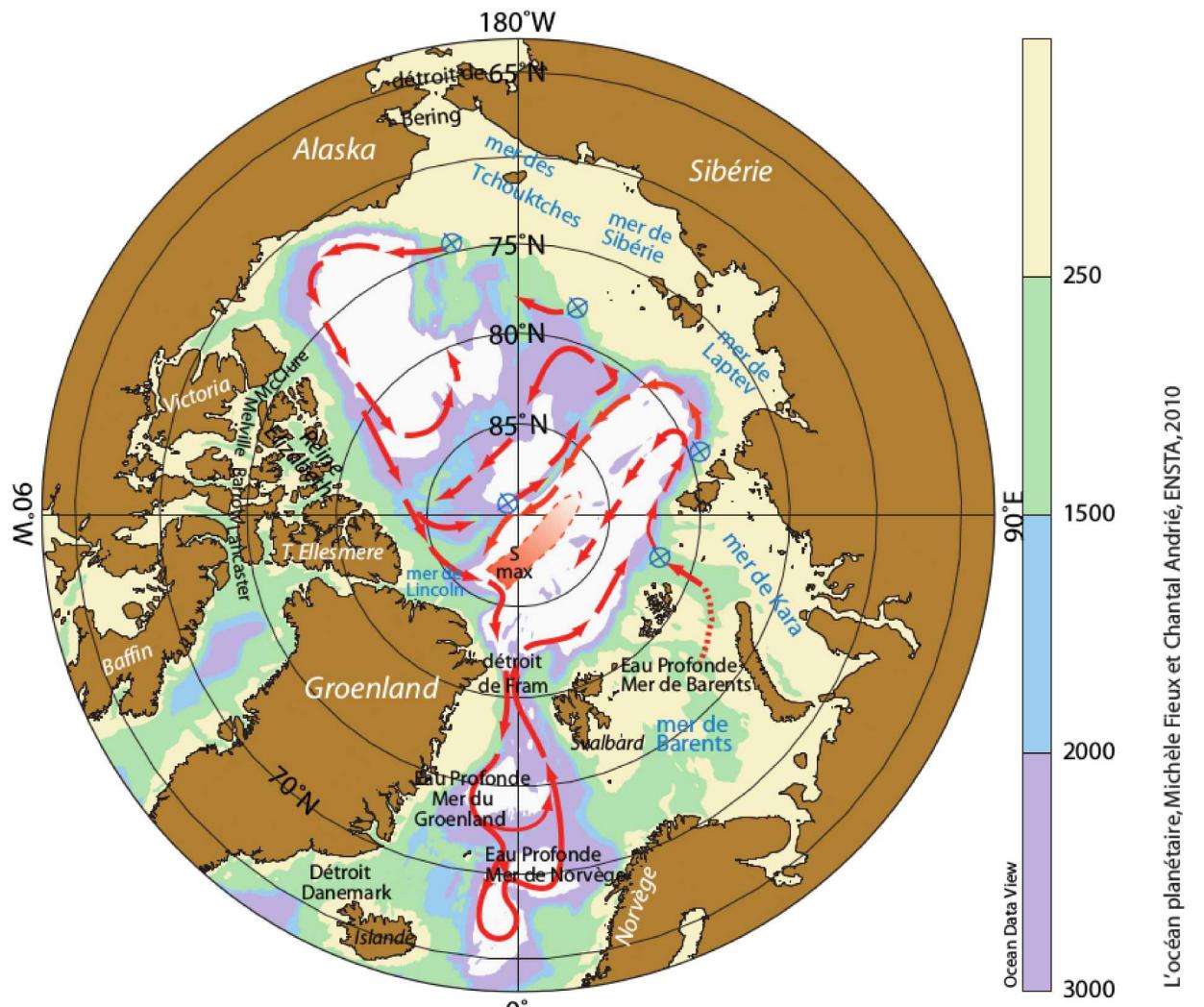
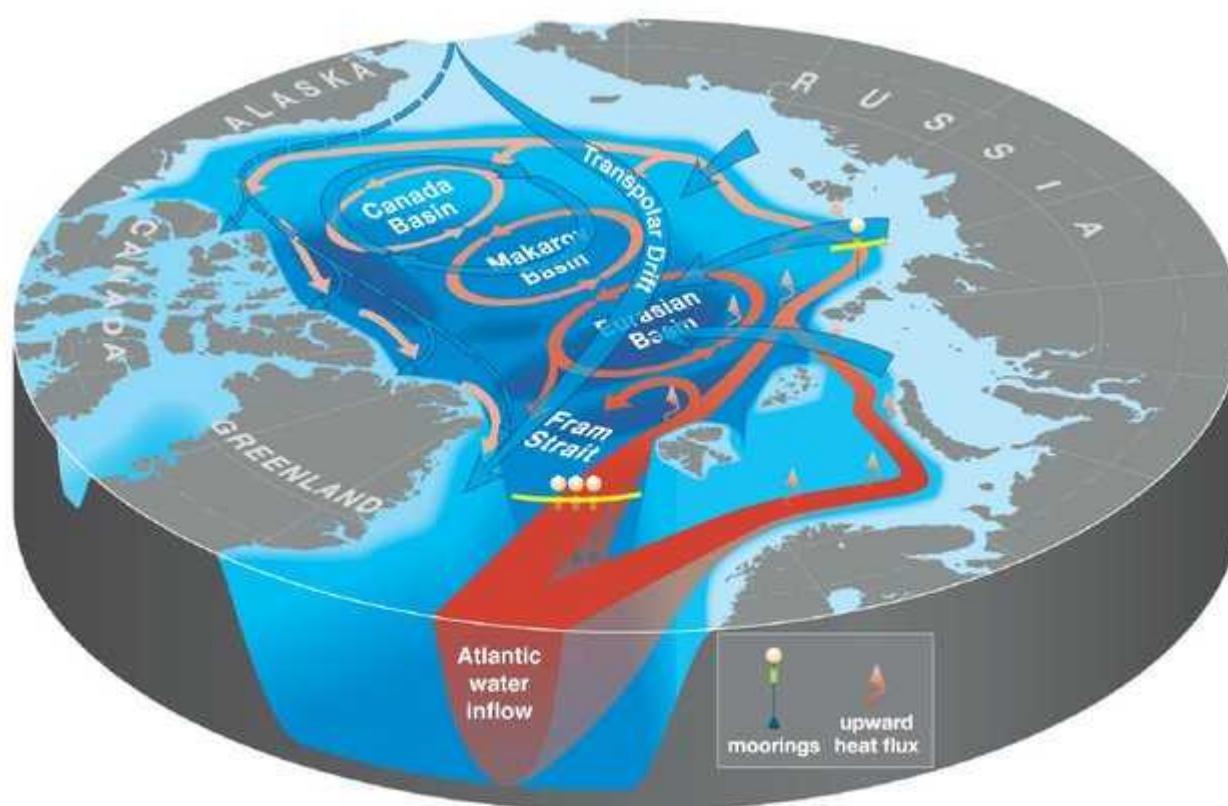


Figure 3-81- Schéma de la circulation profonde dans les bassins de l'océan Arctique. Les croix encerclées représentent les descentes d'eau dense du plateau et la zone en dégradé l'influence des eaux plus salées venant du bassin Canadien dans le bassin d'Amundsen (d'après Jones et al., 1995).

Circulation Générale

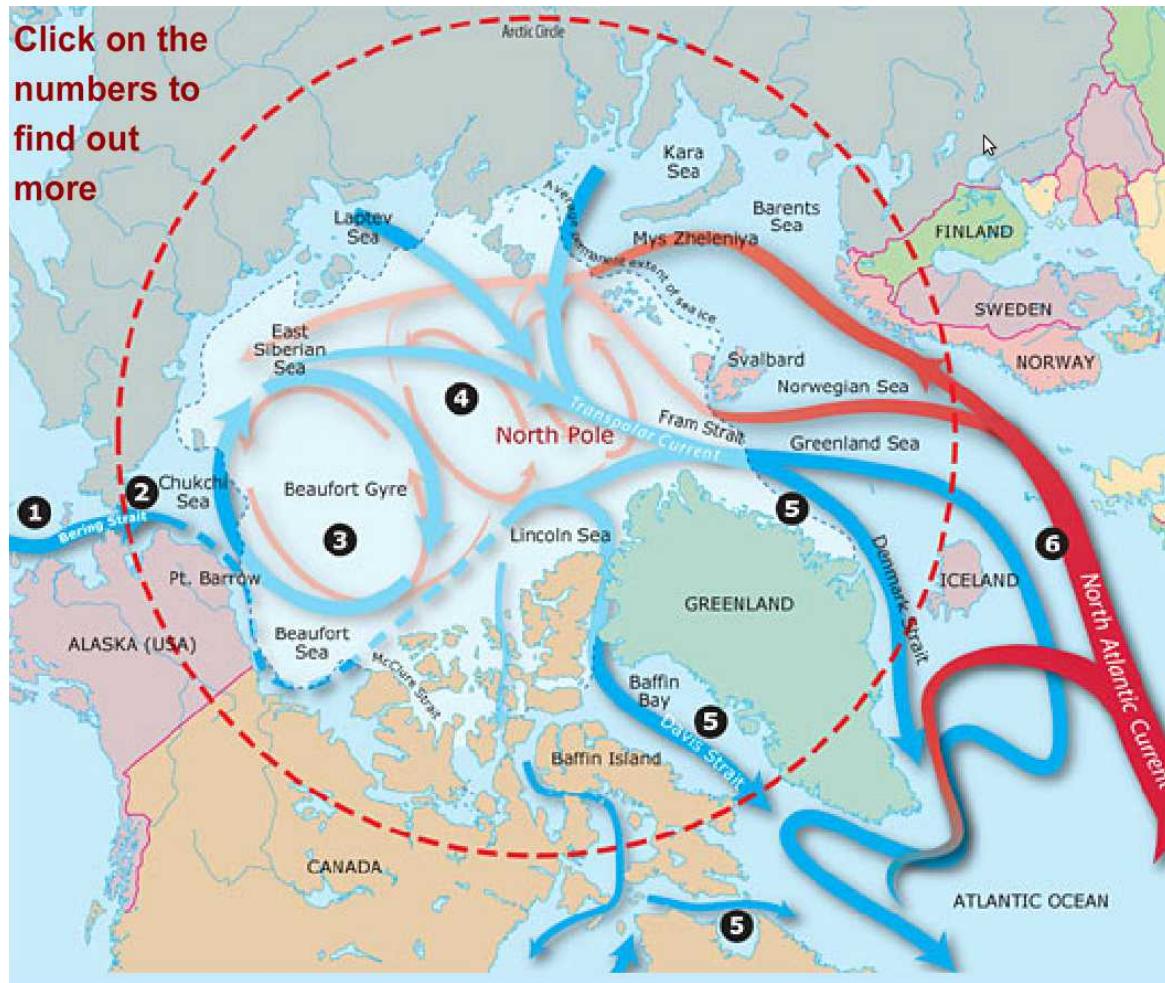
Schéma générale



https://www.researchgate.net/publication/258660721_Warming_of_the_Intermediate_Atlantic_Water_of_the_Arctic_Ocean_in_the_2000s/figures?lo=1

Circulation Générale

Schéma générale



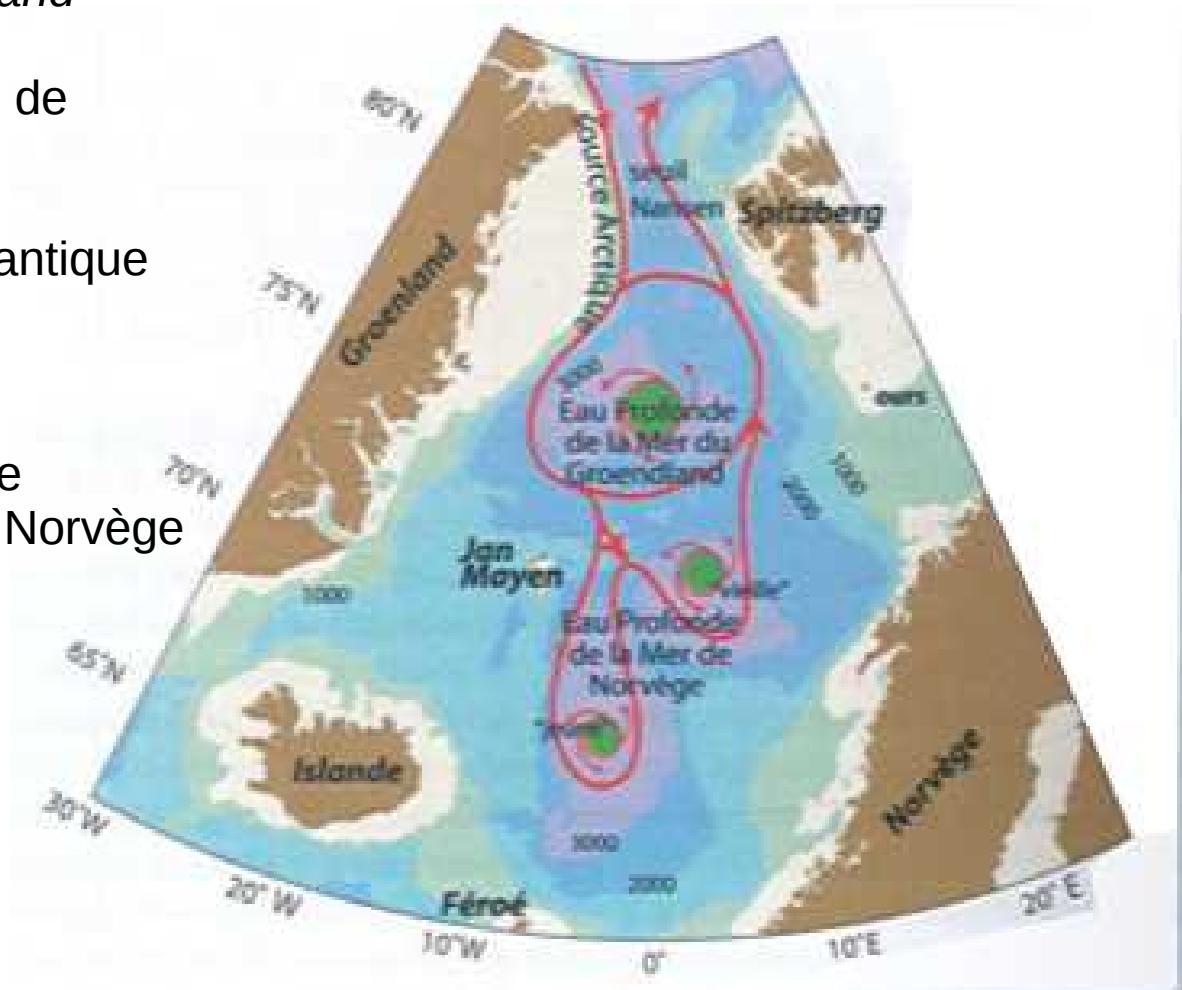
Hydrologie

Eau profonde de la mer du Groenland

Formation en hiver (tempêtes, pas de banquise)

Mélange eau de surface + Eau Atlantique sous-jacente

Mélange avec
Eau profonde Bassin Euroasiatique
donne Eau Profonde de la mer de Norvège



Hydrologie

Convection récente

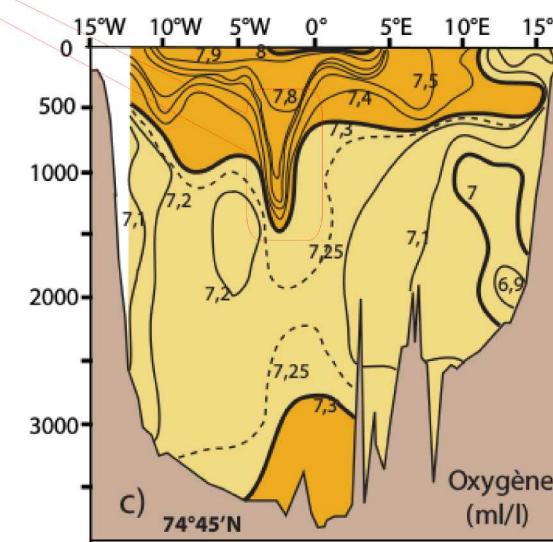
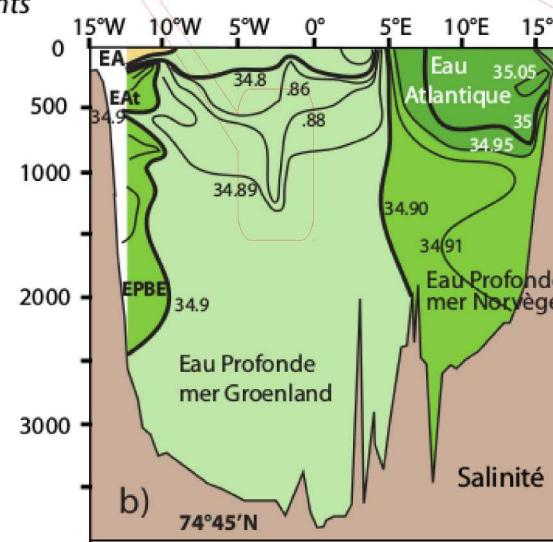
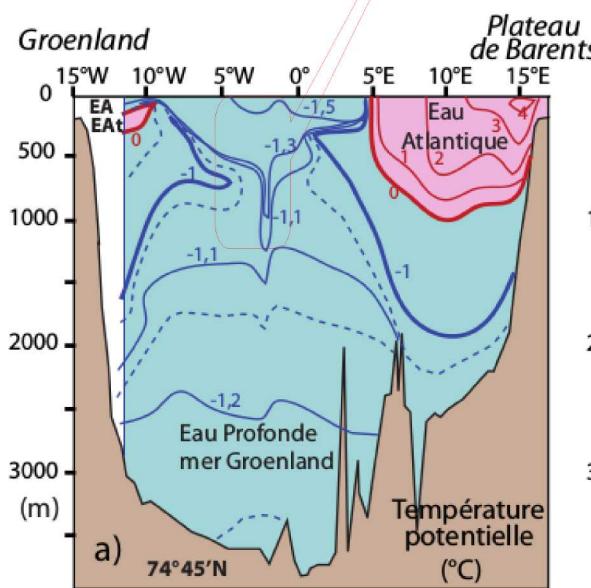


Figure 3-73- Sections (a) de température, (b) de salinité et (c) de teneur en oxygène à travers la mer du Groenland à 74°45'N (tracé de la section sur la Figure 3-72) [EA: Eau Arctique de surface, EPBE: Eau Profonde du Bassin Eurasien, EAt: Eau d'origine Atlantique] (d'après Rudels et al. 1989).

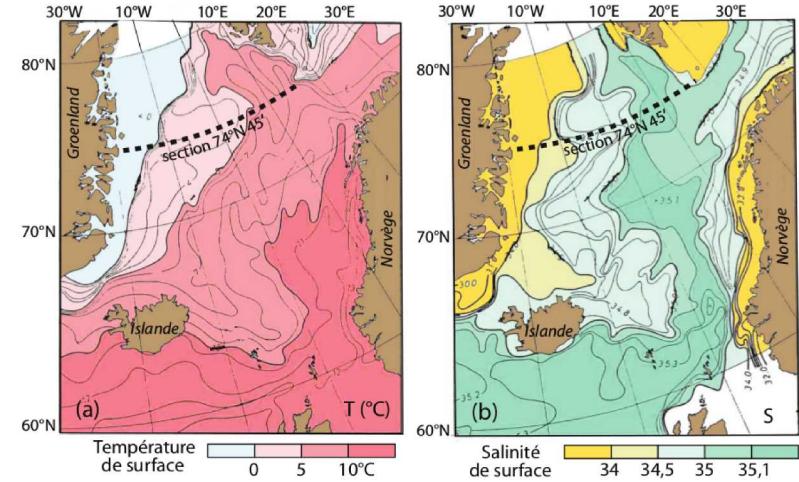


Figure 3-72- (a) Température et (b) salinité de surface en mer de Norvège et mer du Groenland en été (d'après Dietrich, 1969). Position de la section de la Figure 3-73.

Hydrologie

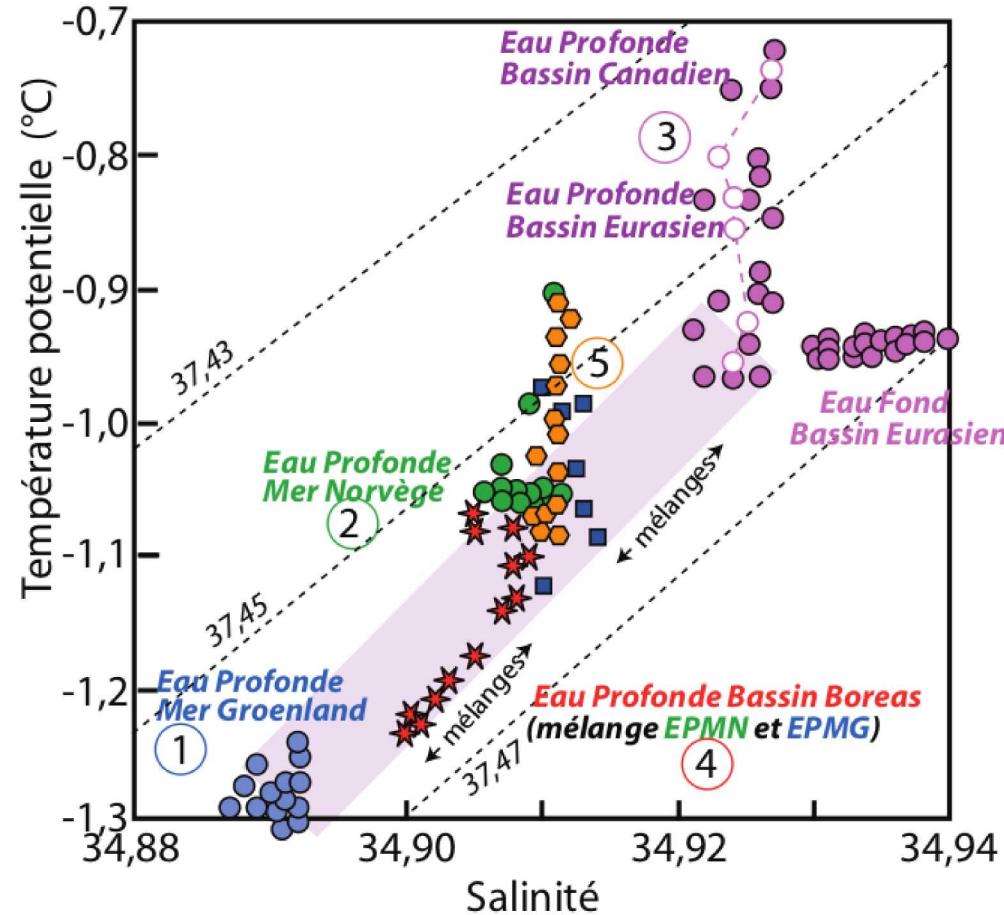
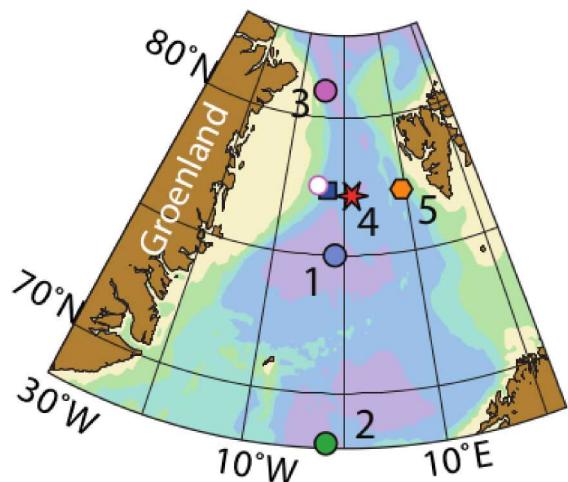


Figure- 3-77- Diagrammes θ -S des Eaux Profondes des mers de Norvège et du Groenland (isopycnes par rapport à 2000 m, σ_2) (Polarstern Arktis II/3 1984 and TTO/NAS expeditions, d'après Smethie et al. 1988).

Bilan des transports

Entrées :

Eau Atlantique, Eau de la mer de Bering, fleuves et précipitations

Sorties :

Eau de surface très froide et dessalé

Eau profonde froide et relativement salée

Lieu transformation principale :

Mers Nordiques

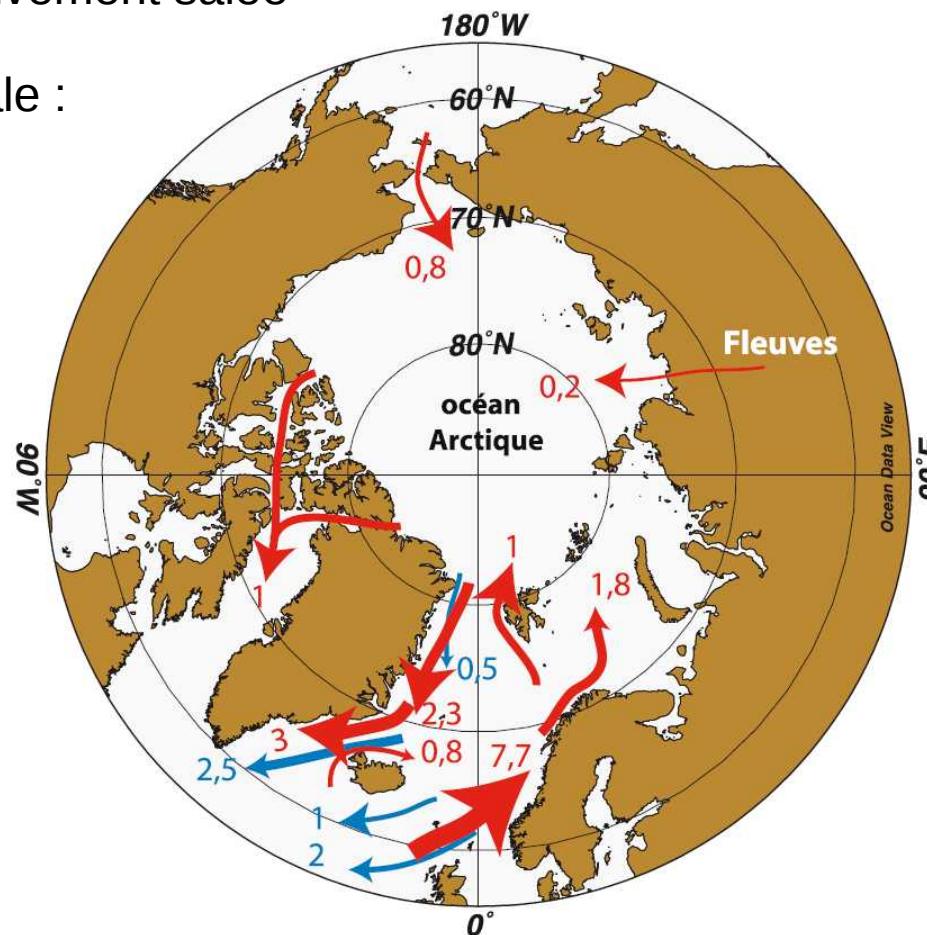


Figure 3-83 – (modifiée) Estimation des transports en Méditerranée Arctique

Questions ?!

