

Séance 2 et 3 : « Le sel dans les océans »

I. Circulation thermohaline et climat, *Activité découverte*

Document 1 : « La circulation océanique »

La salinité et la température de l'eau varient d'un point à l'autre. Les masses d'eau circulent dans l'océan mondial en se mélangeant très peu les unes aux autres. De ce fait, leur *température* et leur *salinité* évoluent très lentement et servent aux océanographes pour *tracer* la provenance de ces masses d'eau.

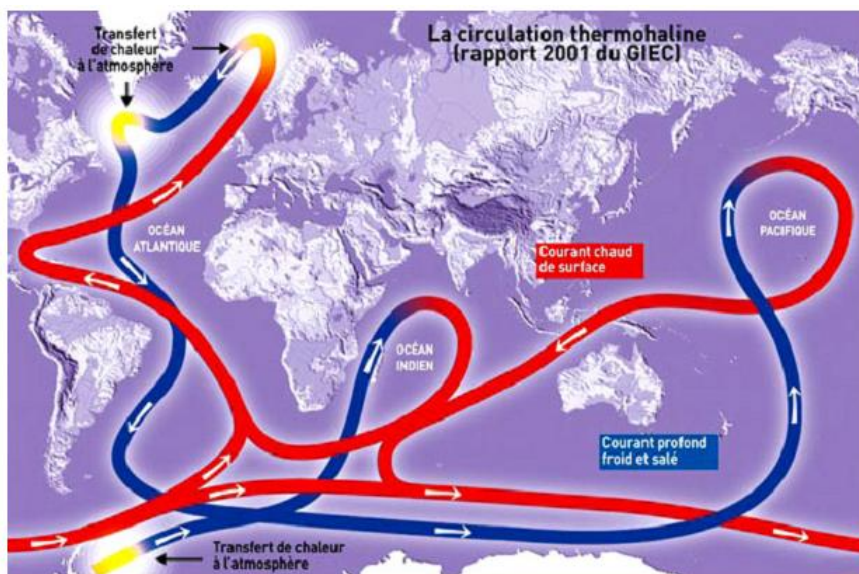
L'eau océanique est entraînée dans de *grands courants* qui mettent en jeu une énergie cinétique considérable. L'essentiel de cette énergie se trouve dans les courants de surface (généralement moins d'un kilomètre d'épaisseur), dont le moteur est le vent. Chaque grand bassin océanique est le siège d'un *courant tournant* (à cause de la *force de Coriolis*) le long de son pourtour : dans le sens des aiguilles d'une montre dans l'hémisphère Nord; dans le sens inverse dans l'hémisphère Sud. Un courant important, également causé par le vent, fait le tour du continent antarctique.

La *salinité* et la *température* de l'eau étant variables d'une masse d'eau à l'autre, il en résulte des *différences de densité* entre ces masses. Ces différences sont la cause d'une autre circulation, profonde, appelée *circulation thermohaline* : dans la mer de Norvège, mais aussi autour de l'Antarctique, les eaux deviennent très froides.

Une partie de l'eau gèle (vers - **1,8 °C**) pour donner la glace de mer (banquise), et, ce faisant, *expulse son sel*, qui augmente la *salinité* de l'eau liquide. Cette eau va ensuite parcourir un grand périple au fond de l'ensemble de l'océan mondial.

À la faveur des remontées d'eau froide profonde, produites par la diffusion vers les masses plus chaudes ou causées par le vent sur certains bords de côtes ou dans la zone équatoriale, ces eaux vont remonter vers la surface où elles se réchaufferont. Elles seront prises par la circulation de surface et finalement ramenées dans les zones de formation d'eau profonde, après un périple pouvant durer **1 000 ans**.

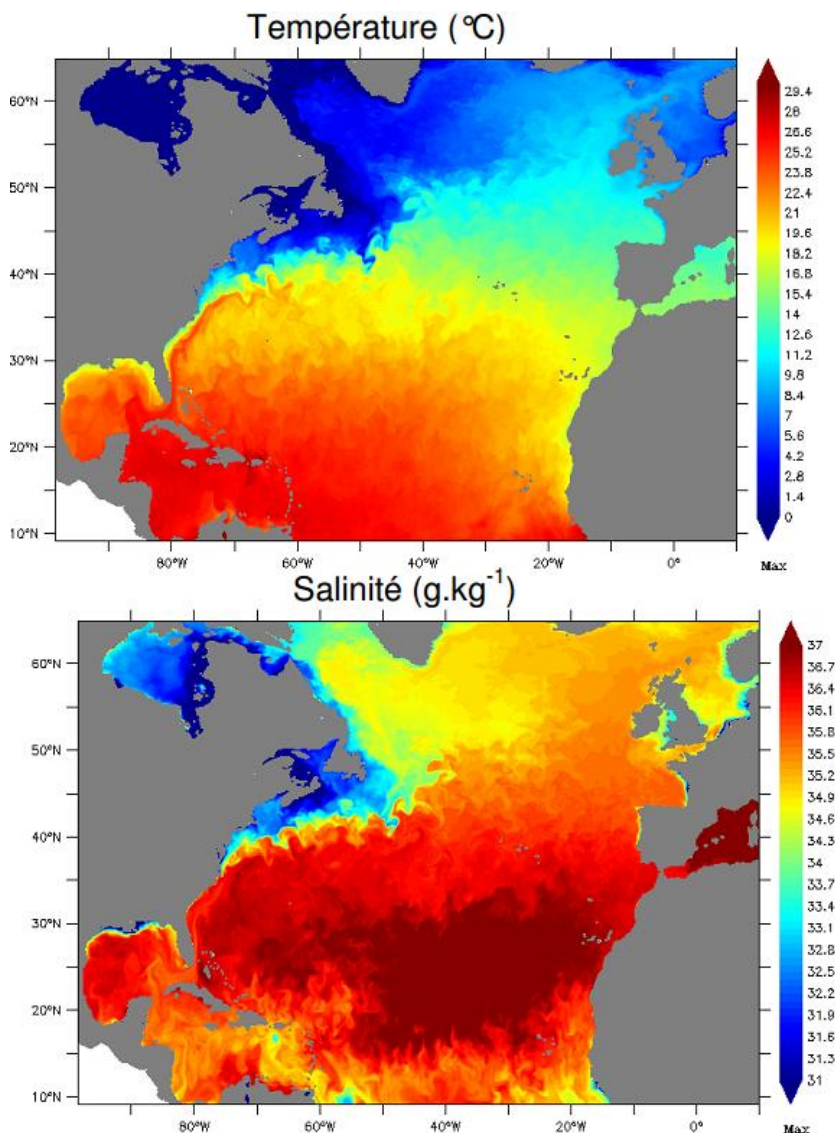
D'après : http://www.cea.fr/jeunes/themes/le_climat/le_climat/la_machine_climatique_-_2eme_partie



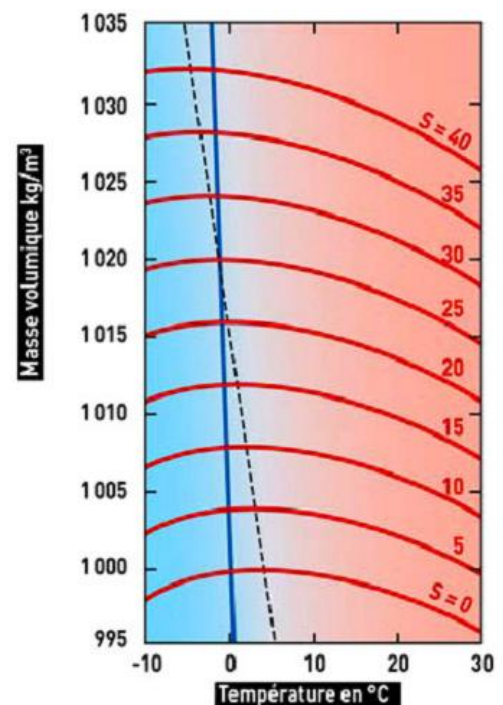
Carte de la circulation thermohaline

Document 2 : « Salinité et température à la surface de l'océan atlantique »

D'après <http://bulletin.mercator-ocean.fr>



Document 3 : « Variation de la masse volumique de l'eau avec la température et la salinité »



1. Pourquoi la solidification de l'eau de mer ne se produit pas vers 0°C , comme pour l'eau douce ?
2. Lors de la formation de la glace de mer, comment évolue la densité de l'eau qui se trouve sous la banquise ?
3. Interprétez la plongée des eaux de mer observée dans le nord de l'océan Atlantique.
4. La température hivernale moyenne est beaucoup plus faible à Montréal (Amérique du Nord) qu'à Bordeaux (Europe de l'Ouest), deux villes portuaires pourtant situées à la même latitude (environ 45°N).
 - a. Comparer la *température* et la *salinité* des eaux de mer à proximité de ces deux villes.
 - b. Quelle(s) hypothèse(s) formuler pour expliquer les différences constatées ?
5. Pourquoi est-ce important de connaître la *salinité* de l'eau de mer ?

Remarque importante : la *salinité* d'une eau de mer est la *masse d'espèces solides ioniques dissoutes* dans **1 kg** d'eau. C'est une information utile aux océanographes et aux climatologues.

II. Salinité et chlorinité : quelle différence ?

Analyse du problème

Dans l'eau de mer les proportions relatives des espèces dissoutes restent quasiment constantes quel que soit la *salinité*.

Le tableau ci-dessous indique les masses des principales espèces ioniques présentes dans une eau de mer de salinité $S = 35 \text{ g.kg}^{-1}$. Les valeurs sont exprimées en g.kg^{-1} .

Anions		Cations	
Chlorure (Cl^-)	18,980	Sodium (Na^+)	10,556
Sulfate (SO_4^{2-})	2,649	Magnésium (Mg^{2+})	1,272
Hydrogénocarbonate (HCO_3^-)	0,140	Calcium (Ca^{2+})	0,400
Bromure (Br^-)	0,065	Potassium (K^+)	0,380

La *chlorinité (Ch)* caractérise la *masse totale des ions halogénures dans l'eau*. Elle est exprimée également en *gramme par kilogramme d'eau*.

1. Comment la mesure de la *chlorinité* d'une eau permet-elle de connaître sa *salinité* ?

La question qui se pose maintenant est la suivante : quelle technique expérimentale utiliser pour déterminer la *chlorinité* d'une eau ?

Expérience préliminaire

- **Précipitation du chlorure d'argent**

Dans un tube à essai, introduire environ **2 mL** de solution aqueuse de *chlorure de sodium*, $\text{Na}^+_{(aq)} + \text{Cl}^-_{(aq)}$ de concentration en soluté apporté $C_1 = 5,0 \times 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$.

Ajouter quelques gouttes de solution aqueuse de *nitrate d'argent (I)*, $\text{Ag}^+_{(aq)} + \text{NO}_3^-_{(aq)}$, de concentration en soluté apporté $C_2 = 2,5 \times 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$.

Conserver le mélange **A** obtenu.

1. Noter vos observations
2. Écrire l'équation de la réaction chimique mise en jeu dans cette expérience.
3. Peut-on utiliser les *ions argent* pour doser les *ions chlorure* ? Que nous manque-t-il ?

- **Précipitation du chromate d'argent**

Dans un autre tube à essais, verser **2 mL** de solution aqueuse de *chromate de potassium*, $2 \text{K}^+_{(aq)} + 2 \text{CrO}_4^{2-}_{(aq)}$, de concentration massique 50 g.L^{-1} .

Ajouter quelques gouttes de solution aqueuse de *nitrate d'argent (I)*.

Conserver le mélange **B** obtenu.

4. Notez vos observations.
5. Écrire l'équation de la réaction chimique mise en jeu.

- **Précipitation préférentielle**

Dans le mélange **A**, ajouter quelques gouttes de solution de *chromate de potassium*. Agiter.

Dans le mélange **B**, ajouter quelques gouttes de solution de *chlorure de sodium*. Agiter

Dans un troisième tube à essai, verser **2 mL** de solution de *chlorure de sodium* et quelques gouttes de solution de *chromate de potassium*.

Ajouter alors goutte à goutte et en agitant la solution de *nitrate d'argent* (**I**).

6. Notez vos observations, notamment quand le deuxième précipité apparaît. Pourquoi parle-t-on de précipitation préférentielle ?
7. Quel rôle peut donc jouer le *chromate de potassium* ?
8. A l'instant où le précipité de *chromate d'argent* apparaît quelle relation existe-t-il entre la quantité de matière n_{Cl^-} des ions Cl^- initialement présents dans le tube à essai et la quantité de matière n_{Ag^+} des ions argent ajoutés ?
9. Soient **C** la concentration de la solution de *chlorure de sodium* utilisée, **V** le volume de la solution de *chlorure de sodium* utilisée, C_{Ag^+} la concentration de la solution de *nitrate d'argent* utilisée, V_{Ag^+} de solution de *nitrate d'argent* versée à l'apparition du précipité de *chromate d'argent*.
Quelle relation lie-t-elle ces 4 grandeurs ?

III. Détermination de la chlorinité d'une eau de mer, *Activité expérimentale*

Nous allons utiliser les paragraphes précédents pour doser une eau de mer de concentration inconnue **C** en ions *halogénure* : réaliser un dosage consiste à déterminer la concentration d'une espèce chimique dissoute. Cette notion sera revue en enseignement spécifique.

Différentes techniques de dosage existent ; nous allons utiliser ici une *méthode de titrage*, c'est-à-dire une technique utilisant une réaction chimique (*la réaction n°1 étudiée précédemment*). L'apparition du précipité de *chromate d'argent* nous permet de repérer l'équivalence du dosage.

L'équivalence d'un titrage est atteinte lorsqu'on a réalisé un *mélange stœchiométrique* du réactif titrant (ici les ions *argent*) et du réactif titré (ici les ions *chlorure*). Les deux réactifs sont alors totalement consommés. A l'équivalence la relation trouvée au paragraphe précédent est utilisable.

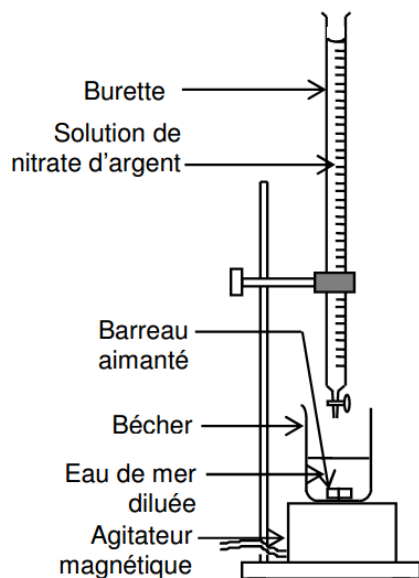


Schéma du dosage d'une eau de mer

1. L'échantillon d'eau de mer étant trop concentré pour pouvoir être dosé directement on le dilue **20 fois**. Indiquez les manipulations que vous allez effectuer compte tenu du matériel dont vous disposez.

Effectuez la dilution puis réalisez le montage pour effectuer le dosage comme indiqué dans le schéma ci-contre.

Faites un premier dosage rapide en utilisant **10,0 mL** de solution diluée, puis un deuxième avec un goutte à goutte plus précis. Noter le volume V_E de solution versé à l'équivalence.

$$V_E = \dots\dots\dots \text{ mL.}$$

2. Déterminez la concentration molaire de la solution diluée puis celle de l'eau de mer. En déduire la concentration massique C_m équivalente en *ions chlorure* de l'eau de mer.
3. Quelle grandeur physique caractéristique de la solution inconnue est-il nécessaire de connaître pour pouvoir calculer sa *chlorinité* ?

Utilisez le matériel disponible pour la déterminer.

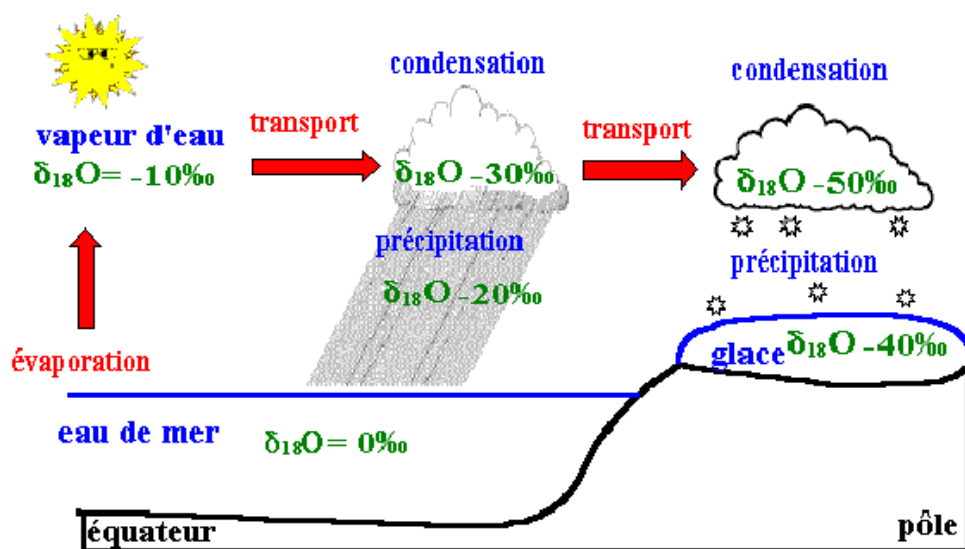
4. Calculez la *chlorinité* Ch , de l'eau de mer étudiée. En déduire sa salinité S .

IV. Un thermomètre isotopique, résoudre une problématique

Problématique : Comment l'analyse d'un échantillon de glace polaire permet-elle aux paléoclimatologues de reconstituer les climats du passé?

Document 1 :

À l'état naturel, l'élément oxygène présente principalement deux isotopes stables, ^{16}O (99,76 %) et ^{18}O (0,2 %). La formule d'une molécule d'eau est donc H_2^{16}O ou H_2^{18}O selon l'isotope d'oxygène qui la compose. La proportion de H_2^{18}O est plus faible dans la vapeur d'eau formée par évaporation que dans l'eau de l'océan d'où elle provient. De plus, lorsque la vapeur d'eau se liquéfie sous forme de précipitations (pluie, neige, etc.), la proportion de H_2^{18}O dans l'eau de ces précipitations est d'autant plus faible que la température est basse. Cette variation des proportions des différents isotopes d'un élément en fonction des conditions est appelée le *fractionnement isotopique*.



Document 2 : « Fractionnement isotopique »

Pour évaluer le fractionnement isotopique, les physiciens calculent le $\delta^{18}\text{O}$ (« delta ^{18}O », exprimé en « *par mille* », ‰) selon :

$$\delta^{18}\text{O} = \left[\frac{\left(\frac{\text{H}_2^{18}\text{O}}{\text{H}_2^{16}\text{O}} \right)_{\text{éch}}}{\left(\frac{\text{H}_2^{18}\text{O}}{\text{H}_2^{16}\text{O}} \right)_{\text{ref}}} - 1 \right] \times 1000$$

$(\text{H}_2^{18}\text{O}/\text{H}_2^{16}\text{O})_{\text{éch}}$ représente le rapport mesuré dans l'échantillon d'eau de pluie, de neige, de glace, etc. à étudier. $(\text{H}_2^{18}\text{O}/\text{H}_2^{16}\text{O})_{\text{ref}}$ représente le rapport mesuré dans une eau de référence (eau de mer).

Ainsi, $\delta^{18}\text{O}$ prend des valeurs négatives quand la proportion de ^{18}O est plus faible dans l'échantillon que dans la référence.

Document 3 : « Relation entre la température et le $\delta^{18}\text{O}$ »

Dans différentes stations météorologiques, la température moyenne annuelle et le $\delta^{18}\text{O}$ moyen dans les précipitations annuelles ont été calculés :

Station	Température (°C)	$\delta^{18}\text{O}$ (en ‰)
Mould Bay (Territoires du Nord-Ouest, Canada)	-16,5	-27
Hall Beach (Territoires du Nord-Ouest, Canada)	-13,2	-25,6
Simcoe (Ontario, Canada)	8,6	-10,2
Atikokan (Ontario, Canada)	1,2	-15,1
Victoria (Colombie Britannique, Canada)	16,1	-7,8
Churchill (Manitoba, Canada)	-7,2	-20,2
Waco (Texas, États-Unis)	19,1	-3,8

- Lors de l'analyse d'échantillons d'eau de pluie, la valeur de $\delta^{18}\text{O}$ est toujours négative si l'eau de référence est l'eau de mer. Expliquez ce résultat.
- Proposez une hypothèse sur la volatilité relative des molécules H_2^{16}O et H_2^{18}O pour expliquer le fractionnement isotopique observé au cours de l'évaporation.
- Étude graphique :
 - Tracez la courbe représentant les variations de $\delta^{18}\text{O}$ des précipitations en fonction de la température.
 - Modélisez la courbe et déterminez l'équation de la courbe modélisée.
- Pour un échantillon de glace polaire daté de **100 000 ans**, on trouve $\delta^{18}\text{O} = -43,3 \text{ ‰}$. Déterminez la température au pôle il y a **100 000 ans**.