

Séance de Spécialité n° 11 Salinité & surveillance des océans

Mots-clefs « mers, océans » et « climat ».

1 Origine de la salinité des mers

Les mers et les océans constituent de vastes étendues d'eau de différentes salinités recouvrant les deux tiers de la surface du globe. Cette salinité est constituée par l'apport des eaux de ruissellement faiblement chargées en ions sodium $\text{Na}^+_{(\text{aq})}$ et chlorure $\text{Cl}^-_{(\text{aq})}$, principalement, venant compenser le départ d'eau douce par évaporation de l'eau de mer.

La salinité est définie par la masse de sels dissous dans un kilogramme d'eau de mer. Elle s'exprime en UPS (Unité Pratique de Salinité), avec 1 UPS qui correspond à 1 g de sels dissous par kilogramme d'eau. Cette masse est déterminée par évaporation totale de l'eau.

Si la salinité de l'océan ne varie presque plus aujourd'hui grâce à un équilibre entre les apports (ruissellement) et les départs (sédimentation), certaines mers du globe (mer morte) voient leur salinité augmenter par une importante évaporation. Dans le passé, le taux de salinité était mesuré en évaporant de l'eau et en pesant le montant des sels restant. Alternativement, on peut mesurer la conductivité électrique de l'eau (voir plus loin).

a. Quelle est l'origine des ions contenus dans l'eau de mer ?

b. Donner la définition de la salinité de l'eau de mer.

2 Conductivité d'une solution électrolytique

Conductance La conductance G , exprimée en siemens (symbole S), est l'inverse de la résistance R :

$$G = \frac{1}{R}$$

Solution La portion de solution électrolytique comprise entre des électrodes parallèles, de surface S et distantes de ℓ , a une conductance :

$$G = \sigma \frac{S}{\ell}$$

σ est la conductivité de la solution, exprimée en $S \cdot m^{-1}$. Elle ne dépend ni du volume de solution, ni du système de mesure.

Conductimètre Appareil mesurant directement la conductivité σ d'une solution.

Certains conductimètres plus rudimentaires fournissent uniquement la conductance G de la solution comprise entre les deux électrodes de la cellule. Pour une cellule donnée,

$$G = K\sigma$$

où K est la constante de cellule. Pour une cellule formée de deux plaques identiques, de surface S , parallèles et en vis-à-vis, distantes de ℓ , la constante de cellule est égale à :

$$K = \frac{S}{\ell}$$

même si certains utilisent la convention inverse ($K = \ell/S$). Si on reste sur cette convention, K est alors exprimée en mètres (m).

Conductivité d'un électrolyte La conductivité électrique est la capacité d'une solution ionique à conduire l'électricité. Elle dépend de la nature et de la concentration des ions présents dans la solution. Conductivité σ d'une solution ionique contenant des ions notés X_i , de concentrations molaires $[X_i]$:

$$\sigma = \sum \lambda_i [X_i]$$

où λ_i est la conductivité molaire de l'ion X_i , donnée dans les tables.

Unités : σ en siemens par mètre ($S \cdot m^{-1}$), λ_i en siemens mètre carré, par mole ($S \cdot m^2 \cdot mol^{-1}$), $[X_i]$ en mole par mètres-cube ($mol \cdot m^{-3}$).

Dans les calculs de conductivité σ , ne pas oublier de convertir les concentrations molaires de $mol \cdot L^{-1}$ à $mol \cdot m^{-3}$! (Il suffit de multiplier par 1 000).

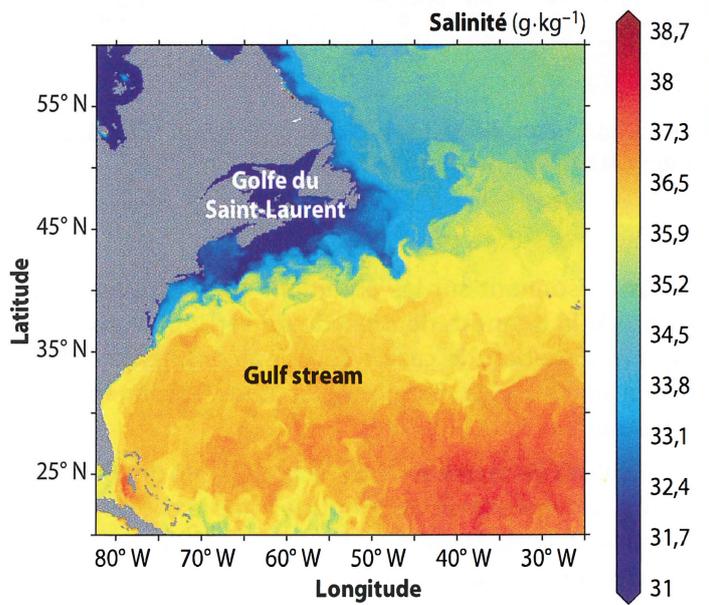
Le gros avantage de la conductivité est qu'il s'agit d'une valeur intrinsèque à une solution, elle ne dépend pas du volume ou de la nature des électrodes mises en œuvre pour la mesure.

c. Donner la définition d'une solution électrolytique.

d. Donner la définition de la conductivité électrique σ .

3 Des eaux plus ou moins salées

Voici la carte de salinité dans l'Atlantique Nord, le 25 janvier 2012, face aux côtes Nord-Est américaines :



Carte de salinité dans l'Atlantique Nord.

e. Comparer la salinité à l'embouchure du fleuve Saint-Laurent (Canada) et dans le Gulf Stream.

Dans l'eau de mer, les proportions relatives des différentes espèces dissoutes restent quasiment constantes quelle que soit la salinité. Voici un tableau qui liste, espèce par espèce, la composition typique d'une eau de mer :

Anions	g/kg	mol/kg
Chlorure (Cl^-)	19,3524	0,54586
Sulfate (SO_4^{2-})	2,7123	0,02824
Hydrogénocarbonate (HCO_3^-)	0,1080	0,00177
Bromure (Br^-)	0,0673	0,00084
Carbonate (CO_3^{2-})	0,0156	0,00026
Fluorure (F^-)	0,0013	0,00007
Hydroxyde (HO^-)	0,0002	0,00001
Cations	g/kg	mol/kg
Ion sodium (Na^+)	10,7837	0,46906
Ion magnésium (Mg^{2+})	1,2837	0,05282
Ion calcium (Ca^{2+})	0,4121	0,01028
Ion potassium (K^+)	0,3991	0,01021
Ion strontium (Sr^{2+})	0,0079	0,00009
Autres molécules	g/kg	mol/kg
Eau (H_2O)	965	53,6
Acide borique ($\text{B}(\text{OH})_3$)	0,0198	0,00032
Tetrahydroxyborate ($\text{B}(\text{OH})_4^-$)	0,0079	0,00010
Dioxyde de carbone*	0,0004	0,00001

Composition de l'eau de mer.

Voici la masse typique des principaux ions dissous dans l'eau de mer : NaCl 38 g/L, MgCl_2 2,42 g/L, KCl 0,39 g/L, CaCl_2 1,17 g/L, MgSO_4 3,38 g/L.

La **chlorinité** est définie par la masse de chlore Cl équivalente à la quantité d'ions chlorure $\text{Cl}^-_{(\text{aq})}$ et d'ions bromure $\text{Br}^-_{(\text{aq})}$ dans un kilogramme d'eau de mer. Ces quantités sont déterminées par conductimétrie.

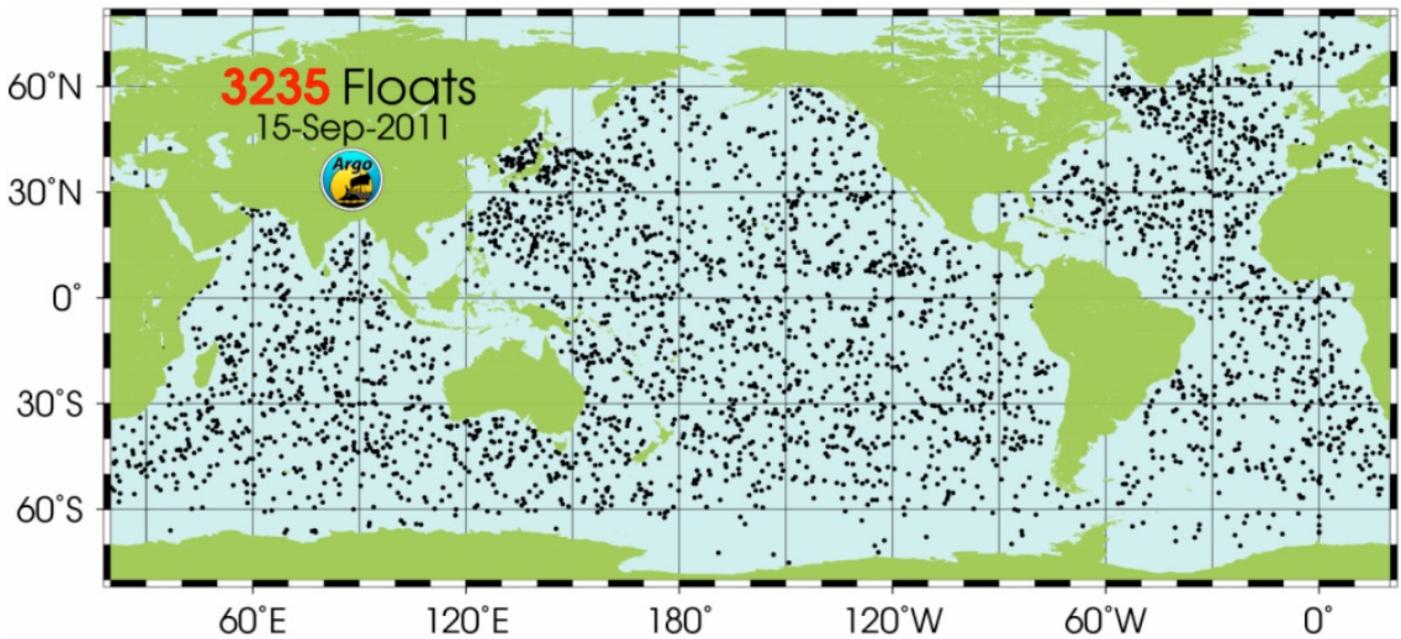
f. Comment une mesure de la chlorinité d'une eau de mer peut permettre de déterminer sa salinité ?



Bouée de mesure de la conductivité en continu.

g. En quoi le suivi de la salinité en un lieu donné peut-il être intéressant ? (ci-dessus, une bouée de mesure de la salinité en continu, installée par l'IFREMER)

4 Une surveillance continue de la salinité



Position des bouées ARGO au 15 septembre 2011.

L'eau des océans est en mouvement permanent. C'est un tapis roulant géant, à l'échelle du globe, d'eaux chaude ou froide. On connaît une partie de ce tapis roulant : le Gulf Stream.



Une bouée de mesure du système ARGO.

Les mesures de paramètres physico-chimiques de l'eau des océans alimentent les modèles de circulation océanique. En effet, les mouvements des masses d'eau sont régis par trois facteurs principaux :

- les vents de surface pour les courants de surface (non abordé pour l'instant, voir séances ultérieures) ;
- la température : une masse d'eau chaude est moins dense qu'une masse d'eau froide, ce qui entraîne un mouvement ascendant de l'eau plus chaude et descendant de l'eau plus froide ;
- la salinité : plus une eau est salée plus elle est dense, ce qui entraîne un mouvement descendant de cette eau.

L'évolution de cette circulation est sûrement liée au réchauffement climatique et peut être étudiée grâce à des

mesures de la salinité de l'eau. Les océans sont donc sous surveillance.

Par exemple, le programme ARGO est lancé depuis plus de dix ans : environ trois mille bouées enregistrent quotidiennement température et salinité de l'eau de mer en surface, au gré de leur errance sur tous les océans. Une de ces bouées est photographiée ci-dessous.

Régulièrement, les bouées émettent leurs données qui sont transmises par satellite. Chaque point sur le document ci-dessus correspond à la position d'une des bouées au 15 septembre 2011.

4.1 Comprendre la notion de salinité

L'eau de mer contient de nombreuses espèces dissoutes, la majorité d'entre elles est sous forme d'ions. Celle-ci est définie comme la masse en gramme d'espèces dissoutes contenues dans un kilogramme d'eau de mer. L'eau de mer de référence appelée « eau de mer normale » à la température de 15°C et à la pression atmosphérique normale de 1,0 bar, possède une salinité S de $35 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$.

h. La densité de l'eau de mer normale d est égale à 1,02597. Quelle est la masse d'espèces dissoutes dans un m^3 de cette eau de mer ?

i. Proposer un protocole simple permettant de mesurer la salinité d'une eau de mer au laboratoire.

4.2 Mesurer la salinité des océans

Les espèces dissoutes dans l'eau de mer étant essentiellement ioniques, la mesure de la conductivité électrique de l'eau de mer s'est imposée pour en déduire la salinité. Dans les océans, les salinomètres comme ceux présents sur les

bouées du programme ARGO mesurent simultanément la température, la pression et la conductivité de l'eau de mer. Elles peuvent réaliser jusqu'à huit mesures de conductivité par seconde, aboutissant à autant de valeurs de salinité.

Les mesures de conductivité permettent de calculer la salinité S en $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ d'un échantillon d'eau de mer à partir de la formule suivante :

$$S = 0,0080 - 0,1692 \cdot K^{1/2} + 25,3853 \cdot K + 14,0941 \cdot K^{3/2} - 7,0261 \cdot K^2 + 2,7081 \cdot K^{5/2}$$

avec K défini comme le rapport entre la conductivité électrique de cet échantillon d'eau de mer (à 15°C et à la pression de $1,0$ bar), et la conductivité électrique d'une solution de chlorure de potassium de référence de concentration molaire $C = 4,48 \times 10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ mesurée à la même température et à la même pression.

Données :

— Conductivité molaire ionique des ions chlorure à 15°C :

$$\lambda(\text{Cl}^-) = 6,10 \times 10^{-3} \text{ S} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mol}^{-1}$$

— Conductivité molaire ionique des ions potassium à 15°C :

$$\lambda(\text{K}^+) = 5,88 \times 10^{-3} \text{ S} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mol}^{-1}$$

j. En utilisant la relation donnant la conductivité électrique d'une solution, calculer la conductivité électrique de la solution de référence de chlorure de potassium.

k. On mesure, à 15°C , la valeur de cette conductivité électrique $\sigma_{\text{mesurée}} = 4,2914 \text{ S} \cdot \text{m}^{-1}$. Comparer ce résultat à la valeur calculée précédemment. Proposer une explication à l'écart obtenu.

l. Pour un échantillon de l'eau de l'océan arctique (à 15°C et à la pression de $1,0$ bar), on mesure la conductivité $\sigma_{\text{arct}} = 3,9604 \text{ S} \cdot \text{m}^{-1}$. Calculer la valeur de la salinité S d'une solution de cette eau de mer en donnant le résultat avec deux chiffres significatifs. Comparer à la salinité de « l'eau de mer normale ».

5 Corrigé des exercices de la séance n° 10

10.1 N° 3 p. 120 – Coefficient d'absorption acoustique

- L'énoncé donne le TR attendu, donc à partir de la formule de Sabine,

$$\text{TR} = 0,16 \times \frac{V}{A}$$

il est possible de calculer la surface équivalente d'absorption A de la salle :

$$A = 0,16 \times \frac{V}{\text{TR}}$$

Le volume de la salle, V , est exprimé en fonction de la longueur, de la largeur et de la hauteur de la salle :

$$V = L \cdot \ell \cdot H$$

Donc :

$$A = 0,16 \times \frac{L \cdot \ell \cdot H}{\text{TR}}$$

$$A = 0,16 \times \frac{15 \times 10 \times 3,2}{2,2}$$

$$A = 35 \text{ m}^2$$

La surface équivalente d'absorption de la salle est de 35 m^2 .

- Pour déterminer le coefficient d'absorption acoustique α_2 du matériau avec lequel il faut recouvrir le plafond, on utilise la relation :

$$A = \sum_i \alpha_i \cdot S_i$$

Dans cette relation, on prend en compte les murs et le plafond puisque, comme indiqué par le texte, l'absorption du sol est négligée, donc :

$$A = \alpha_1 \cdot S_1 + \alpha_2 \cdot S_2$$

soit :

$$\alpha_2 = \frac{A - \alpha_1 \cdot S_1}{S_2}$$

S_1 est la surface des murs et S_2 est celle du plafond :

$$S_1 = (15 + 15 + 10 + 10) \times 3,2 = 160 \text{ m}^2$$

$$S_2 = 15 \times 10 = 150 \text{ m}^2$$

$$\Rightarrow \alpha_2 = \frac{35 - 0,20 \times 160}{150} = 0,020$$

Le coefficient d'absorption acoustique du matériau recouvrant le plafond doit être de $0,020$.

- Dans une salle de réunion, on cherche un temps de réverbération plus faible que dans une salle de concert, le matériau utilisé doit donc avoir un coefficient d'absorption plus grand. Ce résultat est confirmé par les formules utilisées ci-dessus.

À un plus faible TR correspond une surface équivalente d'absorption de la salle plus grande et donc, une valeur de α_2 plus grande.

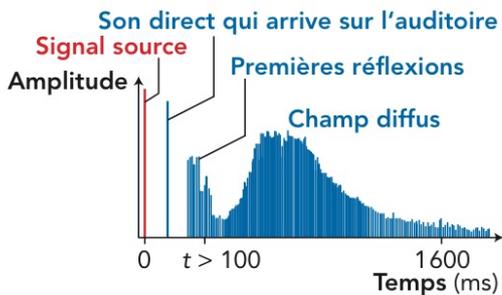
1. Selon le matériau utilisé dans la paroi, on modifie la durée de réverbération de la pièce contenant la source sonore, mais aussi celle de la pièce de l'autre côté de la paroi.

De plus, la paroi atténue l'intensité sonore dans la pièce adjacente. Cette atténuation dépend du matériau de la paroi et aussi de la fréquence du son.

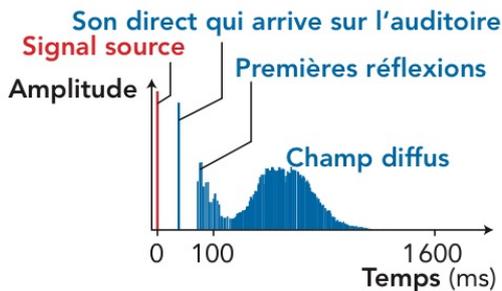
Ainsi, selon l'utilisation recherchée d'une pièce, on choisit un matériau adapté à la durée de réverbération voulue et à l'utilisation de la pièce adjacente attendue.

2. La réponse impulsionnelle dépend de la distance entre l'émetteur et le récepteur. Plus cette distance augmente et plus le son direct met longtemps à arriver au récepteur. Elle dépend aussi de la puissance de l'émetteur (amplitude plus ou moins grande) et des matériaux qui constituent les parois (amplitude des premières réflexions et du champ diffus, durée d'extinction).

- Cas où le récepteur s'éloigne de l'émetteur :



- Cas où les matériaux sont plus absorbants :



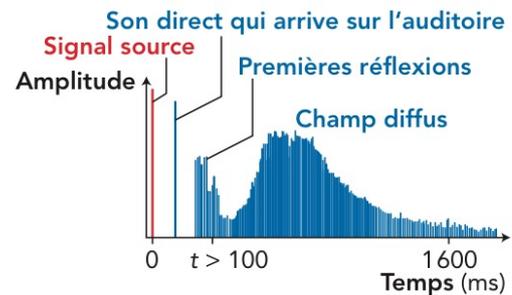
1. Selon le matériau utilisé dans la paroi, on modifie la durée de réverbération de la pièce contenant la source sonore, mais aussi celle de la pièce de l'autre côté de la paroi.

De plus, la paroi atténue l'intensité sonore dans la pièce adjacente. Cette atténuation dépend du matériau de la paroi et aussi de la fréquence du son.

Ainsi, selon l'utilisation recherchée d'une pièce, on choisit un matériau adapté à la durée de réverbération voulue et à l'utilisation de la pièce adjacente attendue.

2. La réponse impulsionnelle dépend de la distance entre l'émetteur et le récepteur. Plus cette distance augmente et plus le son direct met longtemps à arriver au récepteur. Elle dépend aussi de la puissance de l'émetteur (amplitude plus ou moins grande) et des matériaux qui constituent les parois (amplitude des premières réflexions et du champ diffus, durée d'extinction).

- Cas où le récepteur s'éloigne de l'émetteur :



- Cas où les matériaux sont plus absorbants :

