



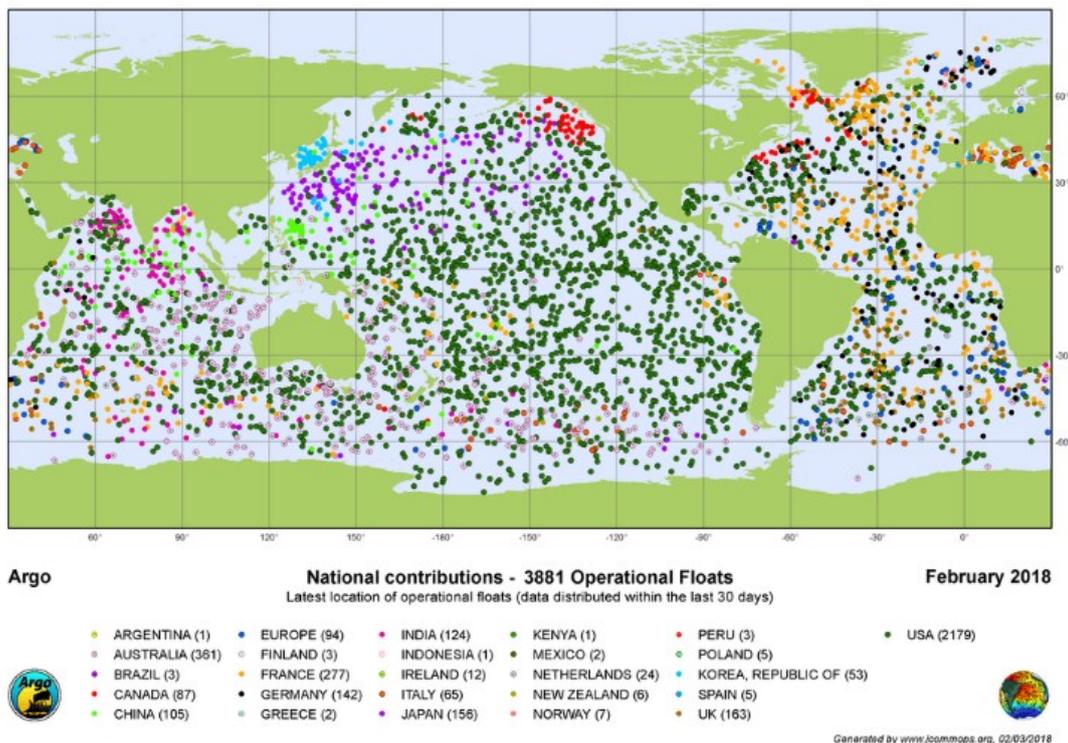
# Séquence n°2 : Prévention des risques - La balise Argo® -

## Le thermomètre planétaire ....

Les 4 000 flotteurs profileurs autonomes du réseau mondial Argo mesurent en temps réel la température et la salinité de l’océan à l’échelle de la planète. La nouvelle génération de flotteurs “BGC”, mesurent également des paramètres biogéochimiques essentiels pour comprendre les écosystèmes (mesures de l’oxygène, la chlorophylle-A, le carbone organique particulaire, les nitrates, le pH et l’irradiance, c’est-à-dire le rayonnement solaire qui parvient en profond.

Les flotteurs sont déployés en mer et dérivent au gré des courants. Ils sont programmés, sur un cycle de 10 jours, pour plonger à 2 000 m – voire 6 000 m pour la nouvelle génération de flotteurs Deep – puis remonter. Lors de cette remontée, ils collectent les données physico-chimiques en continu, de la profondeur à la surface. Une fois en surface, ils transmettent les données par satellite. Euro-Argo, la contribution européenne du réseau, est coordonnée en France.

<https://www.ifremer.fr/fr/infrastructures-de-recherche/observer-l-ocean-mondial-en-temps-reel>



Cartographie des flotteurs Argo (wikipedia, CC BY-SA 4.0)

### Comment ces balises Argo sont-elles devenues indispensables pour suivre la santé de notre planète ?

On se propose dans cette séquence de comprendre les phénomènes mis en jeu pour permettre au flotteur Argo de plonger puis de remonter à la surface puis d’étudier les systèmes embarqués sur le flotteur qui mesurent la température et la salinité des océans.

Un plan possible est le suivant :



Partie 1 : Comment la balise peut-elle plonger et remonter à la surface ?

Partie 2 : Comment peut-elle mesurer la température des Océans ?

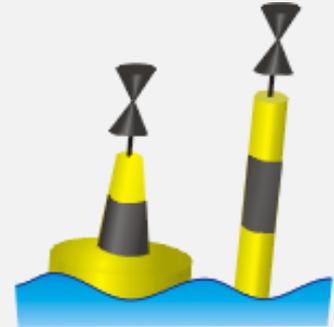
Partie 3 : Comment peut-elle déterminer la salinité de l'eau ?

## INTRODUCTION:

### Document 1 : Un peu d'histoire : 500 ans d'observation scientifique de l'océan

En dehors du cas particulier d'un courant de surface s'écoulant à proximité immédiate des côtes, la détection (donc l'identification) des courants marins, et encore plus leur mesure, ont toujours été un véritable défi pour les navigateurs et les océanographes.

Jusqu'à une époque très récente, le seul principe utilisable était d'observer le déplacement d'objets portés par le courant, le plus souvent des navires mais aussi divers types de flotteurs, ce qui supposait d'être en mesure de déterminer leur position à différents intervalles de temps, et leur éventuel déplacement propre par rapport à la masse d'eau.



La grande majorité des observations de courants de surface furent effectuées sur des navires, et dépendaient donc de la qualité des données de navigation : positionnement en latitude et longitude, mesure du cap, de la vitesse et de la dérive due au vent. Compte tenu des instruments et techniques utilisés sur les navires participant aux voyages d'exploration et de découverte, les observations de courants ne pouvaient être que qualitatives et très grossières. (...)

La situation s'améliora quelque peu avec la mise au point des horloges de marine, dans la deuxième moitié du XVIII<sup>ème</sup> siècle, qui permit un calcul beaucoup plus sûr et plus précis de la longitude. Les observations se multiplièrent alors que démarrait une ère d'intense exploration maritime et scientifique du monde, mais restaient exclusivement descriptives et qualitatives.

Parmi la panoplie des instruments modernes de mesure in situ des courants figurent des flotteurs passifs (dits "lagrangiens"), lointains héritiers des bouteilles dérivantes. Il s'agit de bouées de surface, dérivant à la même vitesse que la masse d'eau (donc indépendamment du vent) grâce à une ancre flottante immergée à la profondeur adéquate. Ces bouées sont équipées de systèmes de positionnement (Argos ou GPS) et d'émission des données par satellite ; elles permettent donc un suivi très précis et très fréquent du déplacement de la masse d'eau.

Depuis les années 1990, le suivi de courants profonds est effectué par **des flotteurs dérivants de subsurface appelés profileurs** (Rafos, Marvor, Provor), à la technologie beaucoup plus élaborée. Grâce à une flottabilité variable, ils se maintiennent à une profondeur programmée à l'avance où ils sont entraînés passivement, et remontent périodiquement à la surface pour envoyer par satellite toutes les positions enregistrées depuis la dernière émission. Ces positions sont calculées au fur et à mesure de la dérive en captant les signaux acoustiques d'émetteurs disposés sur le fond en des points fixes.

[https://www.brest.ird.fr/ressources/hist\\_mc.htm](https://www.brest.ird.fr/ressources/hist_mc.htm)



## Document 2 : Flotteurs dérivants de subsurface

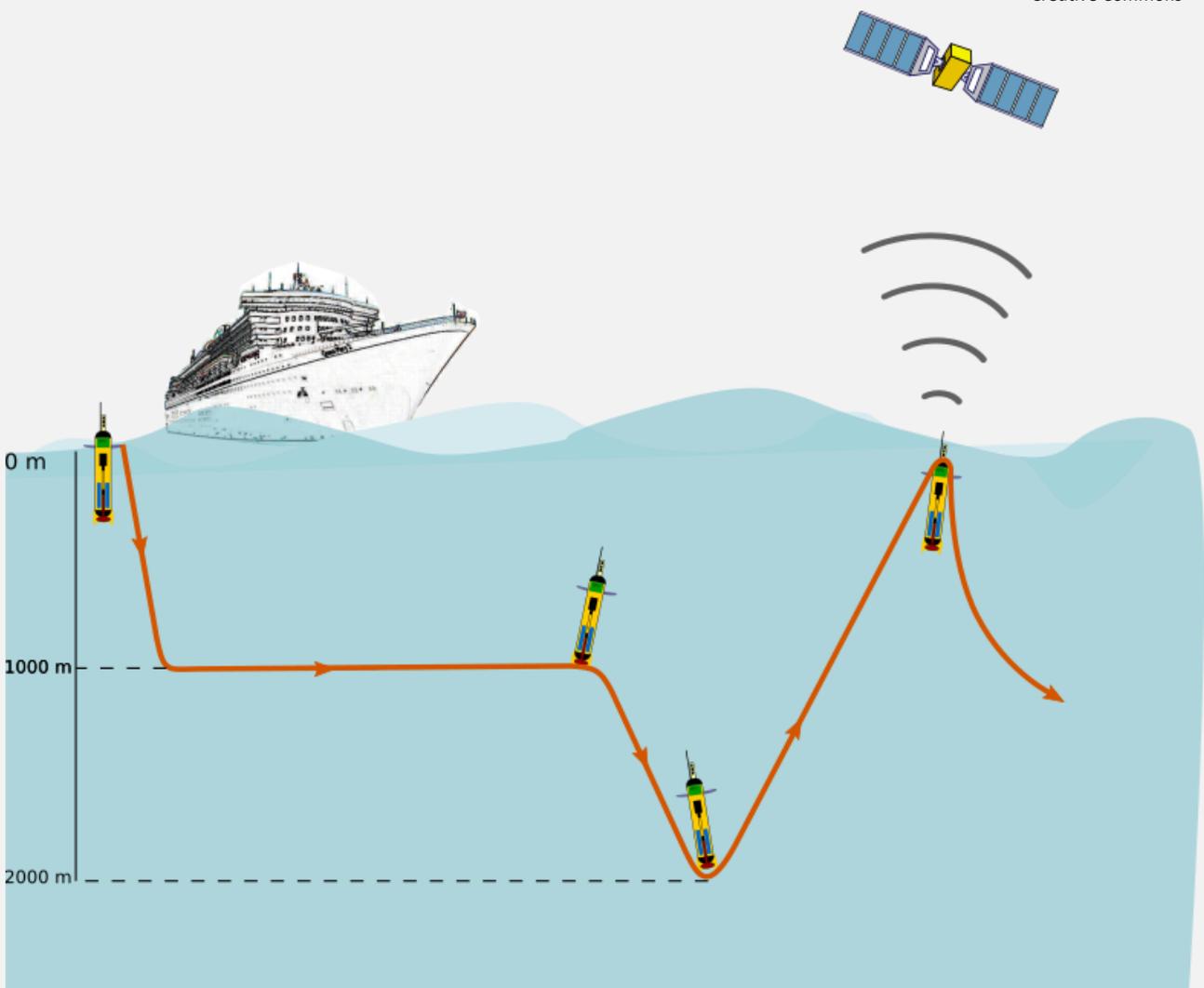
Une sonde Argos se présente sous la forme d'un long tube de deux mètres de long et de moins de vingt centimètres de diamètre (selon les générations). Elle fonctionne de manière autonome pendant toute sa durée de vie de plus ou moins quatre à cinq ans en réalisant « *continuellement un même cycle de dix jours, effectué environ 150 fois* ».

Ce cycle débute par une phase de neuf jours de dérive libre à environ 1 000 mètres de profondeur pendant laquelle la sonde est emportée par les courants. Le dixième jour, elle descend jusqu'à une profondeur de 2 000 mètres par exemple puis, aussitôt, remonte à la surface en mesurant « *des données de température et de salinité et, pour un certain nombre de sondes, d'autres paramètres comme l'oxygène* ».

Équipée d'un système de géolocalisation et de communication par satellite, chaque sonde Argos envoie ses données vers un satellite qui les relaie à un des onze centres de collecte des données dans le monde, dont un se situe à Brest. Une fois ses données transmises, la sonde termine son cycle en redescendant à 1 000 mètres de profondeur et en débute un nouveau.



Créative Commons



*Une mission complète – aussi appelée « cycle » – d'un flotteur Argos, depuis son déploiement jusqu'au moment où il transmet ses mesures aux satellites.*



## PARTIE 1 : Comment la balise Argos peut-elle plonger puis remonter à la surface ?

### ACTIVITE 1. Etude de la balise Argos

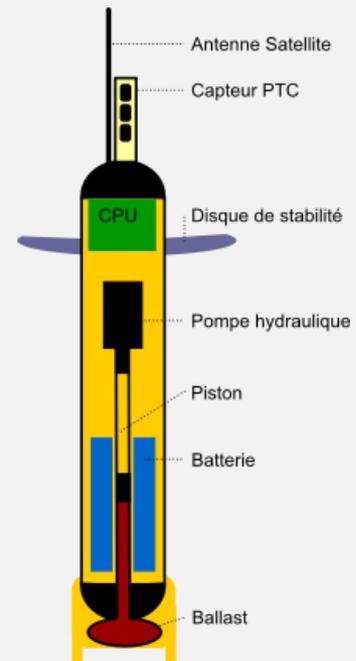
- **Objectifs** : Relier le volume du ballast au mouvement de la balise.
- **Explicitation des consignes, des attentes ; taches possibles** : Exploitation le document et répondre aux questions.

#### Document 1 : Description du Flotteur Argo

Les différents capteurs d'un flotteur Argo sont presque toujours situés dans la partie supérieure du flotteur, où nous trouvons aussi l'antenne qui permet d'échanger des données avec les satellites. Une unité centrale de traitement contient le micrologiciel du flotteur. Un disque de stabilité permet au flotteur de conserver une position presque verticale en amortissant le mouvement des vagues à la surface de la mer.

Un bloc hydraulique permet le déplacement du flotteur lors d'une descente et d'une remontée. Le flotteur est équipé d'un ballast rempli d'huile en contact avec l'eau. Le remplissage ou le vidage du ballast permet de faire varier le volume du flotteur et ainsi de faire varier une force exercée sur le flotteur. Cette force est la **poussée d'Archimède**. Cette force est dirigée verticalement vers le haut. Elle d'autant plus importante que le volume du ballast est élevé.

Dès lors, pour faire descendre le flotteur, il faut diminuer le volume du ballast. Une électrovanne, commandée par un transistor de puissance, permet la circulation de l'huile du ballast vers un réservoir intérieur. Pour faire remonter le flotteur, il faut au contraire augmenter le volume. Une pompe, entraînée en rotation par un moteur à courant continu et un multiplicateur, permet la circulation de l'huile du réservoir intérieur vers le ballast.



1. Sur quel paramètre doit-on agir pour faire monter ou descendre le flotteur ?
2. Faire un bilan des forces exercées sur le flotteur. Représentez graphiquement ces forces sur le schéma.
3. D'après le principe d'inertie, que pouvez-vous dire de la somme vectorielle de ces deux forces lorsque le flotteur est en mouvement ?
4. Le flotteur est capable de monter ou descendre grâce à l'action des forces qui sont exercées. Parmi les forces citées précédemment, citer celle(s) dont l'intensité peut varier. Quels sont les paramètres éventuels qui font varier cette force ?

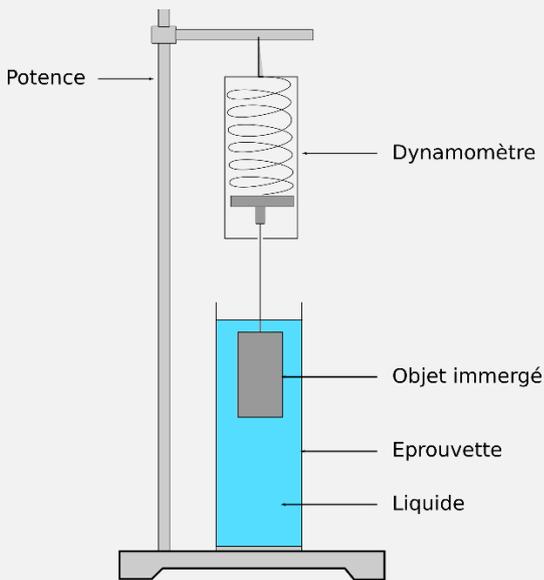


### ACTIVITE 2. Poussée d'Archimède

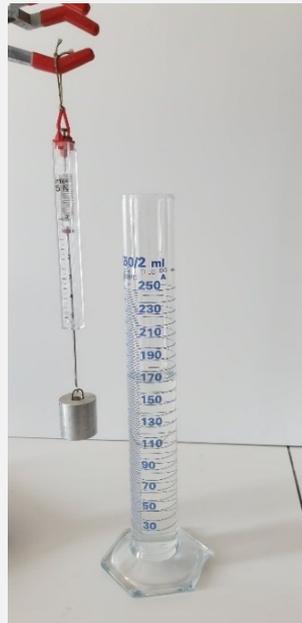
- **Objectifs** : Comprendre et redémontrer l'expression de la poussée d'Archimède.
- **Matériel** : Dynamomètres, masses marquées, grande éprouvette graduée 250mL, potence, eau, pied à coulisse.  
**Explicitation des consignes, des attentes ; taches possibles** : Exploitation de la poussée d'Archimède, les élèves peuvent aussi travailler en groupe sur des paramètres différents : masse, volume, masse volumique (eau salée ou eau distillée). Représentation vectorielle des forces. Bilan des forces. Principe d'inertie.

#### Document 2 : Expériences à réaliser

##### Dispositif expérimental :



##### Expérience 1 : Hors du liquide



##### Expérience 2 : Dans le liquide



1. Quelles sont les 2 forces appliqués sur le système {masse marquée} lorsque celui-ci est hors de l'eau ?
2. Le dynamomètre mesure l'intensité (la norme) de l'une de ces forces. Citer cette force. Le système étant à l'équilibre, donner l'intensité de l'autre force. Justifier.
3. Réaliser l'**expérience 1** du document 2, puis mesurer l'intensité de la force  $F_1$  sur le dynamomètre.
4. Réaliser l'**expérience 2** en immergeant la masse marquée dans l'eau. Mesurer l'intensité de la force  $F_2$ . Que constatez-vous ? Expliquer.
5. A partir du bilan des forces s'exerçant sur le système cette fois-ci totalement immergé dans le dispositif expérimental (**expérience 2**) du **document 2**, expliquer comment ce dispositif permet de mesurer la norme  $\vec{F}_a$  de la poussée d'Archimède subie le système.
6. Mesurer la valeur de la poussée d'Archimède subie par **des corps de même volume mais de masses différentes**. Présenter les résultats sous forme de tableau.



7. La valeur  $\vec{F}_a$  de la poussée d'Archimède qui s'exerce sur un corps dépend-elle de la masse de ce corps ?
8. D'après l'activité 1, comment varie la poussée d'Archimède exercée sur un objet avec le volume immergé ?
9. Proposer un protocole permettant de relier la force exercée au volume immergé. Les mesures réalisées seront exploitées graphiquement.

**Faire valider le protocole par le professeur puis le réaliser.**

10. Question supplémentaire : Le graphique peut également être tracé grâce à un programme Python. Ouvrir le programme « Poussée d'Archimède » dans Edupython, le compléter et tracer le graphique de l'influence du volume sur la valeur de la poussée d'Archimède.

```
import matplotlib.pyplot as plt

plt.title ( "Titre du graphique" ) # A compléter
plt.xlabel ( "grandeur et unité" ) # A compléter
plt.ylabel ( "grandeur et unité" ) # A compléter

x= [ ] # A compléter
y= [ ] # A compléter

plt.plot (x,y, c='blue' , marker = '+')

plt.show ()
```

### Document 3 : La poussée d'Archimède

Tout corps plongé dans un fluide subit la poussée d'Archimède : c'est une force, noté  $\vec{F}_a$ , verticale, dirigée vers le haut, égale au poids du fluide déplacé et appliquée au centre de gravité du volume de fluide déplacé.

Son expression vectorielle est :

$$\vec{F}_a = \rho V \vec{g}$$

$\rho$  : masse volumique du fluide (en  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ )

$V$  : volume du corps immergé (en  $\text{m}^3$ )

$\vec{g}$  : champ de pesanteur terrestre ( $g = 9,8 \text{ N}\cdot\text{kg}^{-1}$ )

Remarque : La masse volumique de l'eau vaut  $\rho = 1000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  et la masse volumique moyenne de l'eau de mer vaut entre 1020 à 1030  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$



11. Les résultats expérimentaux obtenus sont-ils compatibles avec la loi citée dans le document 3.



### ACTIVITE 3. La profondeur a-t-elle une influence sur le volume du ballast ?

- **Objectifs** : Etablir la relation entre la pression et la profondeur d’immersion et étudier la compressibilité de différents fluides (air et eau) et établir la relation entre la pression et le volume.
- **Matériel** : Eprouvette 250mL, Pressiomètre, règle graduée, eau salée, seringue, eau, pressiomètre
- **Ressources disponibles** :
- **Explicitation des consignes, des attentes ; taches possibles** :
  - Proposer un protocole expérimental pour établir la relation entre deux grandeurs (pression et profondeur). Loi hydrostatique.
  - Comprendre les propriétés de différents fluides.

En faisant varier le volume du ballast, la balise descend et la profondeur augmente.

1. Comment la pression varie avec la profondeur ? Citer des exemples que vous connaissez pour justifier votre réponse.
2. Selon vous, quel effet pourrait avoir une variation de pression sur le volume du ballast ?

#### Document 4 : Expérience à réaliser

##### Matériel à votre disposition :

- Pressiomètre
- Règle graduée + tuyau
- Eprouvette de 250 mL
- Eau salée



3. Proposer un **protocole** expérimental permettant d’établir la relation entre profondeur d’immersion  $h$  et la pression  $P$ . Vos résultats devront être organisés.

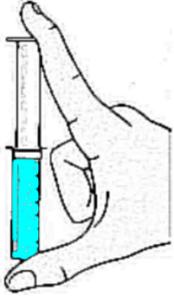
#### Faire valider le protocole par le professeur puis le réaliser.

4. Noter l’équation de la modélisation afin de relier la pression à la profondeur  $h$ . Vos résultats confirment-ils votre hypothèse de la question 1.
5. La formule de la pression en un point quelconque du liquide situé à une profondeur  $h$  est donnée par la relation suivante :  $P = P_0 + \rho gh$  avec  $P$  la pression en un point ;  $h$  la profondeur ;  $P_0$  la pression atmosphérique ;  $g$  l’intensité de pesanteur  $g = 9,81 \text{ N.kg}^{-1}$  et  $\rho$  la masse volumique du liquide.  
Le modèle précédent est-il en accord avec cette relation ?
6. Si l’on suppose que cette modélisation reste valable quelle que soit la profondeur, quelle est l’ordre de grandeur de la pression subit par la balise lorsqu’elle se trouve à la profondeur la plus grande de son cycle ?



### Document 5 : Expériences à réaliser

Expérience 1



Expérience 2



- **Manipulation 1 : L'eau**  
Remplir la seringue d'eau, puis boucher l'extrémité avec un doigt. Appuyer sur le piston.
- **Manipulation 2 : L'air**  
Remplir la seringue d'air, puis boucher l'extrémité avec un doigt. Appuyer sur le piston.

7. Réaliser les 2 expériences du **Document 5** et noter vos observations.  
L'eau est-il un fluide compressible ? Même question pour l'air.

8. A l'aide des différents résultats obtenus, la profondeur a-t-elle, selon vous, une influence sur le volume du ballast ?

#### ACTIVITE 4. Création d'un ludion

- **Objectifs** : Création d'un ludion. Comprendre comment la balise peut plonger et remonter à la surface : faire le lien avec la pression.
- **Matériel** : Billes de colonne a distillée, pipette plastique préalablement coupé et refermé/soudé, bouchon tube à essai troué des deux côtés, grande éprouvette de 250mL, eau ou eau salée, balance, règle, pied à coulisse.
- **Explicitation des consignes, des attentes ; taches possibles** : Exploitation des conclusions établies précédemment pour fabriquer un ludion. Mesure de volume. Démarche d'investigation.

### Document 6 : Création d'un ludion-Principe du flotteur Argos

Matériel pour créer le ludion : un tube à essai en verre, d'un bouchon percé des deux côtés sur lequel on fixe l'extrémité d'une pipette pasteur en plastique préalablement coupé et soudé, des billes en verre de colonne a distillé.

Matériel pour tester le ludion : Une éprouvette graduée, eau salée, balance, règle ou pied à coulisse

Deux positions sont possibles pour fixer le bouchon et la pipette :

**A** A l'extérieur du tube à essai :



**B** A l'intérieur du tube à essai :





1. Identifier dans la liste de matériel nécessaire à la création du ludion (**Document 6**) à quoi peuvent correspondre chacun des éléments qui constituent la balise (**Document 1 1**).
2. Quel paramètre modifie-t-on en faisant varier la position de la pipette de la position A à la position B ?
3. A l'aide des docs. et des conclusions que vous avez établi dans les activités précédentes, réaliser les deux expériences suivantes en respectant les consignes :  
Expérience 1 : Fabriquer un ludion qui flotte à la surface  
Expérience 2 : Fabriquer un ludion qui coule.

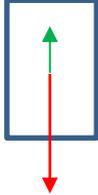
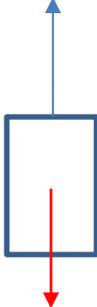
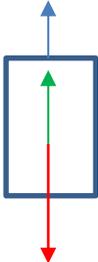
**ATTENTION dans les deux expériences :**

- Le volume de la pipette pasteur préalablement soudé ne pourra pas être modifié.
- Le nombre de billes doit rester le même dans les deux expériences.

4. **DEFI rapidité** : La balise Argos reste à un niveau de flottaison stable et défini pendant la phase de dérive.  
Remplir l'éprouvette d'eau jusqu'à la graduation 250mL. Trouver le plus rapidement possible un moyen de faire flotter le ludion au milieu de l'éprouvette graduée, à sa position d'équilibre.



## Résultats d'expériences et dispositifs expérimentaux

<p><b>Activité 1 :</b> Etude de la balise Argo</p>	<p>1) Pour faire monter ou descendre le flotteur, il faut jouer sur le volume du ballast.</p> <p>2) Poids <math>\vec{P}</math> et la poussée d'Archimède <math>\vec{F}_a</math>.</p>  <p>3) Lorsque le flotteur est en mouvement, les forces ne se compensent pas. Contraposée du principe d'inertie.</p> <p>4) La seule force dont l'intensité varie est la poussée d'Archimède : elle dépend du volume de fluide déplacé (volume immergé) et de la masse volumique du fluide (la nature du fluide utilisé) (et de l'intensité de pesanteur).</p> <p><u>Remarque</u> : Le poids du flotteur ne varie pas car l'huile utilisée pour faire varier la taille du ballast reste dans le flotteur</p>
<p><b>Activité 2: La poussée d'Archimède</b></p>	<p>1) Les deux forces appliquées sont <u>le poids</u> et <u>la force du rappel du ressort</u> (tension)</p> <p>2) L'intensité de la force F mesurée est égale au poids de la masse marquée, en effet d'après le <b>principe d'inertie</b> lorsqu'un système est immobile alors les forces qui s'exerce sur lui se compensent donc ici <math>\vec{F}_1 = - \vec{P}</math> donc en valeur absolue <math>F_1 = P</math></p>  <p>3) Expérience 1 : Hors de l'eau : <math>F_1 = 1,0 \text{ N}</math></p> <p>4) Expérience 2 : Immergé : <math>F_2 = 0,88 \text{ N}</math> on remarque que <math>F_2 &lt; F_1</math> dû à une force supplémentaire</p> <p>5) Bilan des forces expérience 2 : Poids <math>\vec{P}</math>, la force de rappel du ressort (tension) <math>\vec{F}_2</math> et la poussée d'Archimède <math>\vec{F}_a</math>. La poussée d'Archimède est une force verticale vers le haut qui compense le poids</p>  <p><math>\vec{F}_2 + \vec{F}_a = - \vec{P}</math> donc en valeur absolue <math>F_2 + F_a = P</math> d'où <math>F_a = P - F_2 = F_1 - F_2 = 1,0 - 0,88 = 0,12 \text{ N}</math></p>



6) Même volume mais masses différentes :  
Volume d'eau initial dans l'éprouvette : 170 mL



	Aluminium	Cuivre	Fer
Masse (en g)	56,17	176,62	156,12
Volume final (en mL)	190	190	190
Volume cylindre (en mL ou cm <sup>3</sup> )	20	20	20
F1 hors de l'eau (en N)	0,50	1,75	1,50
F2 dans l'eau (en N)	0,30	1,50	1,30
Fa poussée d'Archimède (en N)	0,20	0,25	0,20

7) On remarque que l'intensité de la poussée d'Archimède est quasiment identique. Les écarts sont essentiellement dû à la précision des dynamomètres. **CONCLUSION : On peut donc dire que la valeur de la poussée d'Archimède ne dépend pas de la masse du corps.**

8) Plus le volume augmente, plus la poussée d'Archimède est grande.

9) Même masse mais volumes différents :

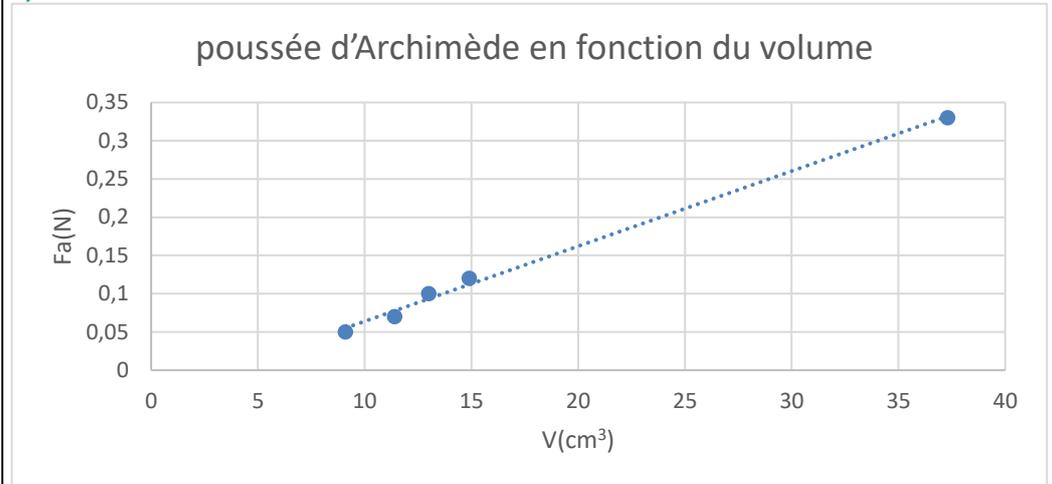


	Zinc	Fer	Aluminium	Plomb	Cuivre
Masse (en g)	100,10	100,27	100,41	100,3	100,7
Volume (en cm <sup>3</sup> )	14,9	13,0	37,3	9,09	11,4
F1 hors de l'eau (en N)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
F2 dans l'eau (en N)	0,88	0,90	0,67	0,95	0,93
Fa poussée d'Archimède (en N)	0,12	0,10	0,33	0,05	0,07



**CONCLUSION : La valeur de la poussée d'Archimède dépend du volume du corps.**

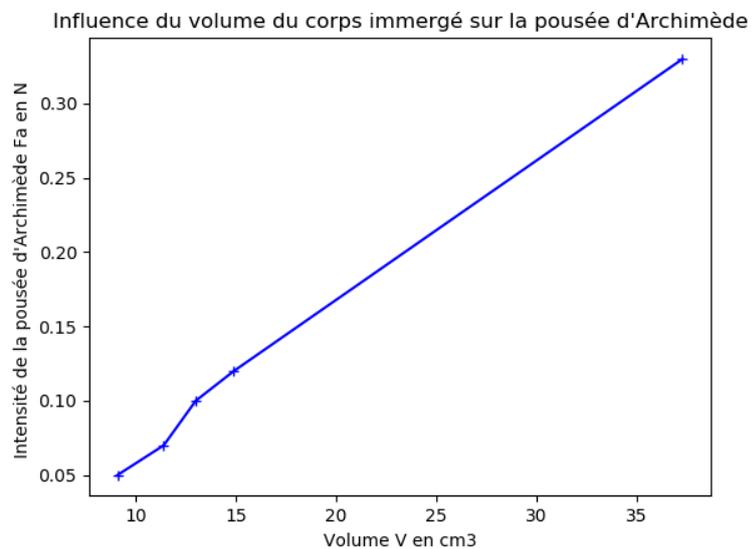
9)



10)

```
• import matplotlib.pyplot as plt
• x= [9.09,11.40,13.0,14.9,37.3]
• y= [0.05,0.07,0.10,0.12,0.33]

• plt.plot (x,y, c='blue' , marker = '+')
• plt.title ( "Influence du volume du corps immergé sur la poussée d'Archimède" )
• plt.xlabel ("Volume V en cm³")
• plt.ylabel ("Intensité de la poussée d'Archimède Fa en N ")
• plt.show ()
```



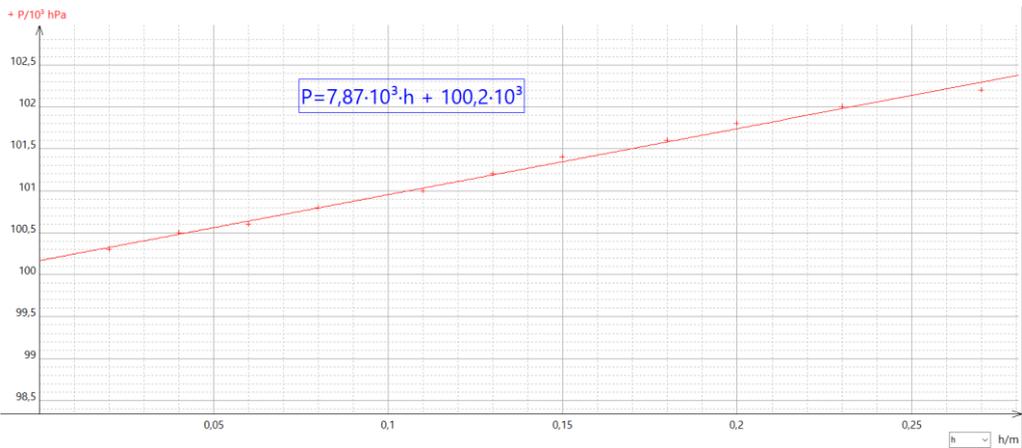
11) On remarque que l'intensité de la poussée d'Archimède et le volume sont deux grandeurs proportionnelles. Les résultats expérimentaux sont donc bien compatibles avec la loi citée dans le document 3.

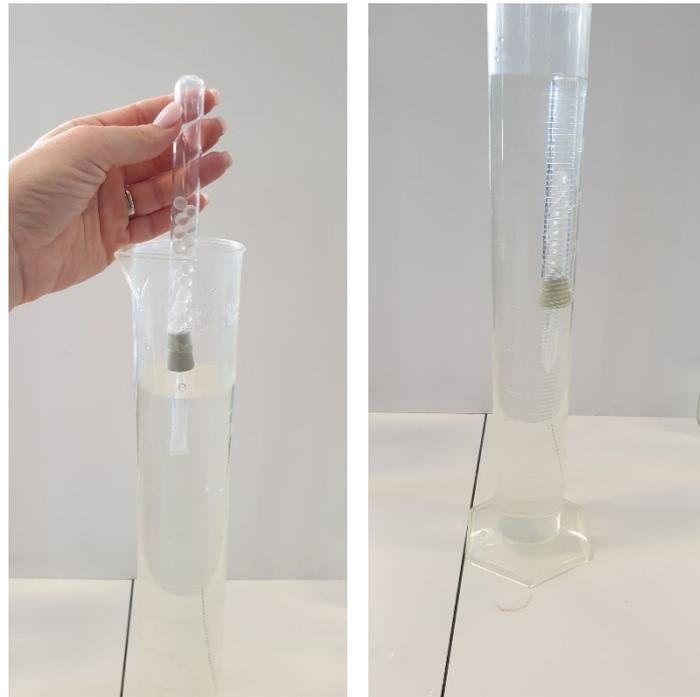
Le coefficient de proportionnalité de la droite de modélisation correspond donc à :  $k = \rho \cdot g$   
 $k = 0,00835 \text{ N} \cdot \text{cm}^{-3}$  et  $\rho = 1 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{cm}^{-3}$  et  $g = 9,81 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$  soit  $\rho \times g = 0,00981 \approx k$



	<p><b>Remarques :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Le volume du cylindre a été calculer à partir de la formule du volume que l'on peut rappeler aux élèves <math>V = \pi \cdot r^2 \cdot h</math> les mesure du diamètre et de la hauteur ont été faite à l'aide d'un pied à coulisse (électronique). Cette méthode est plus précise qu'avec des mesures de volume à l'éprouvette qui reste possible.</li> <li>La précision du dynamomètre devra être adapté à la mesure pour ne pas dépasser la capacité maximum de celui-ci.</li> </ul>																										
<p><b>Activité 3 :</b> <b>La profondeur a-t-elle un impact sur le volume du ballast ?</b></p>	<p><b>1)</b> Quand la profondeur augmente le volume diminue. Par exemple l'air dans nos poumons lors d'une plongée.</p> <p><b>2)</b> Le volume du ballast va donc diminuer lors d'une descente et augmenter lors d'une montée.</p> <p><b>3) Protocole :</b></p> <p>Remplir l'éprouvette d'eau. Plonger le dispositif (règle graduée + tuyau ; NB : l'extrémité du tuyau est déjà fixée à la graduation zéro de la règle métallique) dans l'eau et noter la pression indiquée par le pressiomètre. Faire une série de mesure en faisant varié la profondeur d'immersion en faisant varier la profondeur. Tracer à l'aide d'un tableur-grapheur la courbe représentant l'évolution de la profondeur h en fonction de la pression P. Modéliser. Noter l'équation du modèle.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div> <table border="1" data-bbox="608 1263 828 1785"> <thead> <tr> <th>h</th> <th>P</th> </tr> <tr> <th>m</th> <th>Pa</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0,0200</td><td>1,003·10<sup>5</sup></td></tr> <tr><td>0,0400</td><td>1,005·10<sup>5</sup></td></tr> <tr><td>0,0600</td><td>1,006·10<sup>5</sup></td></tr> <tr><td>0,0800</td><td>1,008·10<sup>5</sup></td></tr> <tr><td>0,1100</td><td>1,010·10<sup>5</sup></td></tr> <tr><td>0,1300</td><td>1,012·10<sup>5</sup></td></tr> <tr><td>0,1500</td><td>1,014·10<sup>5</sup></td></tr> <tr><td>0,1800</td><td>1,016·10<sup>5</sup></td></tr> <tr><td>0,2000</td><td>1,018·10<sup>5</sup></td></tr> <tr><td>0,2300</td><td>1,020·10<sup>5</sup></td></tr> <tr><td>0,2700</td><td>1,022·10<sup>5</sup></td></tr> </tbody> </table>	h	P	m	Pa	0,0200	1,003·10 <sup>5</sup>	0,0400	1,005·10 <sup>5</sup>	0,0600	1,006·10 <sup>5</sup>	0,0800	1,008·10 <sup>5</sup>	0,1100	1,010·10 <sup>5</sup>	0,1300	1,012·10 <sup>5</sup>	0,1500	1,014·10 <sup>5</sup>	0,1800	1,016·10 <sup>5</sup>	0,2000	1,018·10 <sup>5</sup>	0,2300	1,020·10 <sup>5</sup>	0,2700	1,022·10 <sup>5</sup>
h	P																										
m	Pa																										
0,0200	1,003·10 <sup>5</sup>																										
0,0400	1,005·10 <sup>5</sup>																										
0,0600	1,006·10 <sup>5</sup>																										
0,0800	1,008·10 <sup>5</sup>																										
0,1100	1,010·10 <sup>5</sup>																										
0,1300	1,012·10 <sup>5</sup>																										
0,1500	1,014·10 <sup>5</sup>																										
0,1800	1,016·10 <sup>5</sup>																										
0,2000	1,018·10 <sup>5</sup>																										
0,2300	1,020·10 <sup>5</sup>																										
0,2700	1,022·10 <sup>5</sup>																										



	 <p>4) <b>CONCLUSION : Plus la profondeur d’immersion augmente et plus la pression augmente.</b> C’est donc en accord avec la question 1.</p> <p>5) Oui c’est en accord : fonction affine du type <math>f(x) = ax + b</math></p> <p>6) Dans l’eau la pression subit à 2000m de profondeur est de <math>1,583 \cdot 10^7</math> Pa</p> <p>7) Pour l’eau le piston n’avance pas : <b>L’eau n’est pas (peu) compressible.</b> Pour l’air le piston avance au-delà de la moitié : <b>L’air est compressible.</b></p> <p>8) Le fluide se trouvant dans le ballast est de l’huile c’est un fluide incompressible donc la profondeur n’aura pas d’impact sur le volume du ballast</p>
<p><b>Activité 4 : Création d’un ludion</b></p>	<p>1) Tube à essai = balise Billes = lesté + appareillages internes Bouchon + pipette = vessie + fluide hydraulique</p> <p>Pipette à l’extérieur du tube à essai = fluide hydraulique en bas de la balise dans la vessie extérieure. Pipette à l’intérieur du tube à essai = fluide hydraulique au milieu de la balise dans la vessie intérieure.</p> <p>2) La position de la pipette permet de faire varier le volume total mais pas la masse. Le tube à essai est lesté par des billes de verre (billes de colonne de distillation), de manière à couler pour le petit volume mais flotter pour le grand volume.</p> <p>3) <u>Expérience 1 : Le ludion flotte</u></p>



Lorsque le ludion est mis à l'eau avec la pipette en position A, l'eau exerce une force sur lui, la poussée d'Archimède. Comme vu précédemment c'est une force qui est dirigée verticalement vers le haut et qui permet au ludion de remonter car  $F_a > P$ . Et de flotter quand  $F_a = P$ . Cette poussée dépend de la place qu'occupe le ludion dans l'eau, donc de son volume et ne dépend pas de la masse de celui-ci.

#### Expérience 2 : Le ludion coule



Lorsque le ludion est mis à l'eau avec la pipette en position B, le volume du ludion change mais la masse reste identique. Le ludion coule car  $F_a < P$ .

Pour aller plus loin créer un ludion à la maison :  
<https://www.youtube.com/watch?v=4ezlBds3TyA>

4) Pour que le ludion soit en flottaison stable il faut que  $F_a = P$



### Ce qu'il faut savoir faire :

Compétences	Capacités associées	Où dans cette partie
APP	Rechercher et organiser les informations pour répondre aux questions	Activité n°1
	Rechercher les informations utiles afin de proposer la liste de matériel	Activité n°4
ANA	Formuler des hypothèses sur le mouvement du flotteur	Activité n°1
	Formuler une hypothèse sur la relation entre pression et profondeur.	Activité 2
	Proposer un protocole expérimental pour relier la poussée d'Archimède au volume immergé	Activité 2
	Proposer un protocole expérimental pour relier la pression à la profondeur	Activité 3
	Identifier les paramètres de flottaison	Activité 4
REA	Réaliser les mesures pour déterminer la poussée d'Archimède	Activité n°2
	Réaliser le protocole validé et les courbes associées	
	Réaliser le protocole pour relier profondeur et pression	Activité n°3
	Réaliser expériences de flottaison pour valider les paramètres proposés	
VAL	Confronter le modèle proposé reliant profondeur et pression aux résultats expérimentaux obtenus	Activité n°3
COM	Rédiger les questions de manière cohérente et compréhensible	Activité n°1 à 4

### Liens avec le programme de physique chimie de seconde

Thème	Notions et contenus	Où dans cette partie ?
Modéliser une action sur un système	Représenter qualitativement la force modélisant l'action d'un support dans des cas simples relevant de la statique.	Activité n°
Modéliser une action sur un système	Modéliser l'action d'un système extérieur sur le système étudié par une force. Représenter une force par un vecteur ayant une norme, une direction, un sens.	
Principe d'inertie	Exploiter le principe d'inertie ou sa contraposée pour en déduire des informations soit sur la nature du mouvement d'un système modélisé par un point matériel, soit sur les forces.	



## PARTIE 2 : Comment mesurer la température de l'eau des océans ?

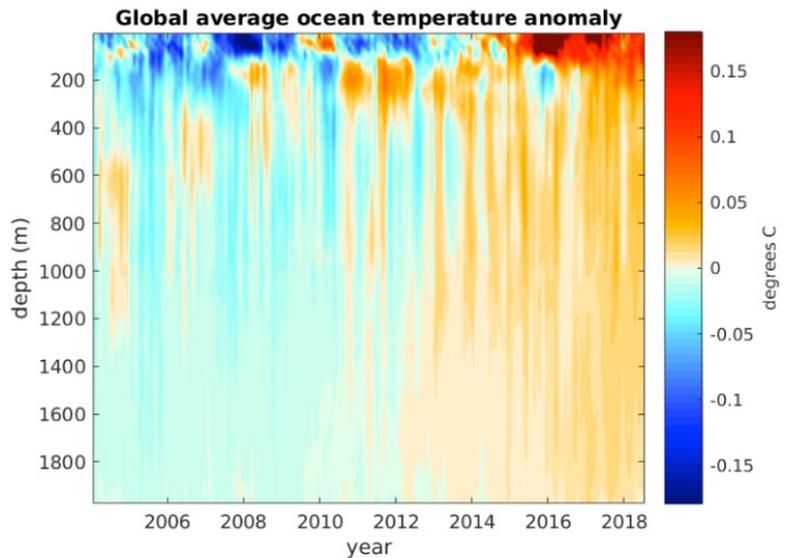
L'Océan peut stocker 1 000 fois plus d'énergie que l'atmosphère. Le réseau ARGOS unique au monde de 3 880 balises autonomes permet de mesurer l'expansion thermique liée au réchauffement climatique de l'Océan. Il représente un complément indispensable aux données d'observations satellitaires.

<https://www.cls.fr/argo-le-thermometre-planetaire/>

Le programme Argo est destiné à l'observation de notre climat changeant. L'océan a absorbé plus de 90% de la chaleur ajoutée au système climatique depuis les années 1970, avec 75% stockés au-dessus de 2000 mètres et 15% en dessous.

En utilisant les mesures Argo, les scientifiques peuvent calculer comment et où la proportion en énergie des océans change. Étant donné que l'eau de mer se dilate à mesure qu'elle se réchauffe, sa contribution à l'élévation du niveau de la mer peut également être estimée.

L'image est produite à l'aide du champ quadrillé de données Argo.



Source : <https://argo.ucsd.edu/science/argo-and-climate-change/>

### Questions :

1. Comment évolue la température moyenne des océans ? A quoi est dû cette évolution selon vous ?

On souhaite dans l'activité qui suit, comprendre le principe de fonctionnement d'un capteur de température.

#### ACTIVITE 1. Découverte du capteur.

- **Objectifs** : Découvrir un capteur : la thermistance
- **Matériel** : CTN (attention le nom de la thermistance doit être caché dans cette activité), thermomètre, ohmmètre
- **Explicitation des consignes, des attentes ; taches possibles** :
  - Les élèves s'approprient le matériel et vérifient comment la résistance varie en fonction de la température.
  - Identification du capteur



### Document 1 : Les différents type de thermistances

Les thermistances sont des conducteurs thermosensibles dont la résistance varie avec la température. Elles sont constituées d'un matériau semi-conducteur d'oxyde métallique encapsulé dans une petite bille d'époxy ou de verre.

Elles font partie de la famille des capteurs dont le principe est basé sur la transformation d'une grandeur physique que l'on cherche à mesurer en une grandeur électrique. Pour connaître la grandeur à mesurer, il faut donc :

- Mesurer la grandeur électrique,
- Utiliser la relation entre la grandeur physique et la grandeur électrique.



Les CTN ont soit un coefficient de température négatif (CTN), soit un coefficient de température positif (CTP). Dans le premier cas, le plus courant, la thermistance a une résistance qui diminue lorsque la température augmente, tandis que dans le second, on constate une résistance accrue lorsque la température augmente.

#### Exemple d'utilisation :

Une thermistance CTP peut servir d'élément chauffant dans des fours de taille réduite à température régulée. En revanche, les thermistances CTN sont principalement utilisées pour la mesure de température, et sont largement répandues dans les automobiles pour surveiller la température des moteurs.

#### **Caractéristiques techniques**

**Type de coefficient de température :** CTN  
**Résistance à 25°C :** 100Ω  
**Tolérance :** ±10%  
**Puissance maximale :** 450mW  
**Longueur :** 5.5mm  
**Profondeur :** 5mm  
**Hauteur :** 6.5  
**Température d'utilisation minimum :** -55°C  
**Température d'utilisation maximum :** +125°C

#### **Caractéristiques techniques**

**Type de coefficient de température :** CTP  
**Résistance à 25°C :** 100Ω  
**Longueur :** 5 (Dia.)mm  
**Profondeur :** 4mm  
**Dimensions :** 5 (Dia.) x 4mm  
**Température d'utilisation minimum :** -10°C  
**Température d'utilisation maximum :** +120°C



### Document 2 : Expérience à réaliser

- Mesurer la résistance de la thermistance se trouvant sur votre pailleuse à l'aide d'un ohmmètre.
- Donner la valeur de la résistance à la température de la salle :  $R_1 =$
- Noter la valeur de la température de la salle  $\theta_1 =$
- Prendre l'extrémité du dispositif (qui contient la thermistance) dans la main et observer l'évolution de la valeur de la résistance.
- Donner la valeur de la résistance après une durée de deux minutes :  $R_2 =$



### Questions :

1. Quelle est la grandeur physique qui modifie la résistance d'une thermistance ?
2. Comment varie la résistance de ce capteur en fonction de la température ?
3. La résistance de la thermistance pour une température donnée est-elle toujours la même ?
4. A l'aide du document 1, expliquer si cette thermistance est une CTN ou une CTP.



### ACTIVITE 2. Etalonnage du capteur

- **Objectifs** : Etudier une CTN et déterminer sa courbe d'étalonnage
- **Matériel** : CTN, plaque chauffante, thermomètre, ohmmètre, cristallisoir, support + noix, eau
- **Ressources disponibles** : Animation  
<http://ressources.univlemans.fr/AccesLibre/UM/Pedago/physique/02/electro/ctn.html>
- **Explicitation des consignes, des attentes ; taches possibles** :
  - Réaliser un montage expérimental, utiliser des capteurs. Suivre un protocole.
  - Tracer et interpréter une courbe d'étalonnage. Utiliser un tableur grapheur et modéliser.
  - Utiliser les lois des circuits.

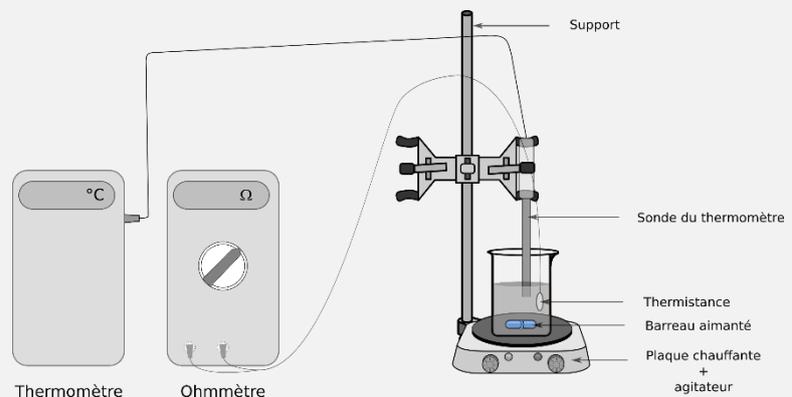
#### Document 4 : Expérience à réaliser

- Réaliser le montage ci-contre.

**Attention** : La thermistance ne doit pas toucher les parois du cristallisoir.

- Mettre en marche la plaque chauffante et l'agitation.

**Attention** : L'agitation doit être modérée et l'agitateur ne doit pas être en contact avec la thermistance.



*Etalonnage de la CTN*



- Relever tous les 5°C (environ) la température  $\theta$  de l'eau et la résistance  $R$  de la thermistance.

Organiser vos résultats dans un tableau de mesures.

**On arrêtera les mesures lorsque la température de l'eau aura atteint 90°C.**

- Eteindre la plaque chauffante.
- Représenter grâce à un logiciel tableur-grapheur (par exemple Regressi, Excel, LibreOffice), l'évolution de la résistance  $R$  en fonction de la température  $\theta$  de l'eau.
- Penser à enregistrer votre travail !



#### Questions :

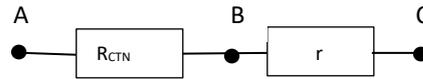
1. Peut-on qualifier la thermistance de capteur linéaire ? Justifiez.
2. La modélisation de cette courbe vous semble-t-elle facile ?
3. Déterminer la température de l'eau à l'instant où vous lisez cette question, sans utiliser le thermomètre du dispositif expérimental. Expliquer votre démarche.



Seconde – Sciences et laboratoire

On décide d'associer la thermistance (la CTN) en série avec un conducteur ohmique de résistance  $r$  égale à  $300 \Omega$ . Une tension  $U_{AB}$  de  $5,0 \text{ V}$  est appliquée aux bornes de cette association. Le montage obtenu est appelé « un pont diviseur de tension ».

On notera  $U_{AB} = U_{CTN}$  ;  $U_{BC} = U_r$  et  $U_{AC} = U$



4. Soit  $I$  l'intensité du courant circulant dans le pont diviseur. En utilisant les lois des circuits. Montrer que :

$$I = \frac{U}{R_{CTN} + r}$$

5. En déduire que la tension  $U_r$  aux bornes du conducteur ohmique  $r$  est :

$$U_r = \frac{r}{R_{CTN} + r} \times U$$

6. A l'aide du logiciel tableur/graphueur, calculer les valeurs de la tension  $U_r$  puis représenter la courbe  $\theta = f(U_r)$ .
7. Il est possible de modéliser cette courbe (ou une partie de cette courbe ; indiquer sur quelle plage de température dans ce cas) à l'aide d'un modèle affine. Modéliser cette courbe et noter l'équation de la droite obtenue.

L'association pont diviseur de tension / CTN ainsi fabriqué **peut maintenant être considéré comme un capteur de température** dont la caractéristique  $U_r = f(\theta)$  ou  $\theta = f(U_r)$  est affine pour toute les températures (ou sur une plage de températures).

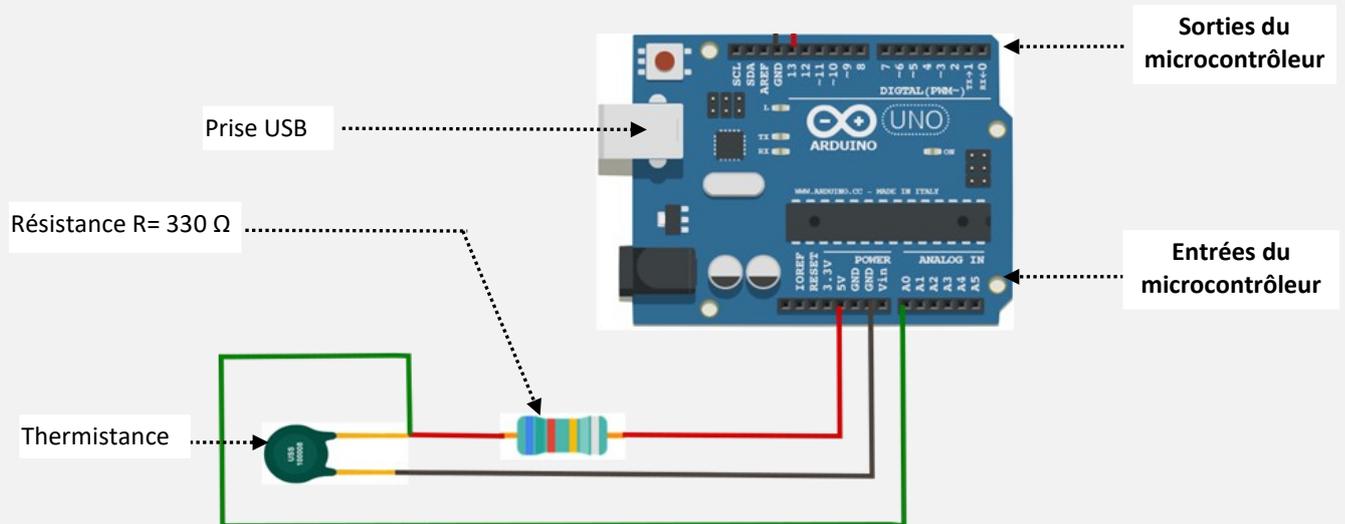


### ACTIVITE 3. Automatisation de la mesure de la température de l'eau

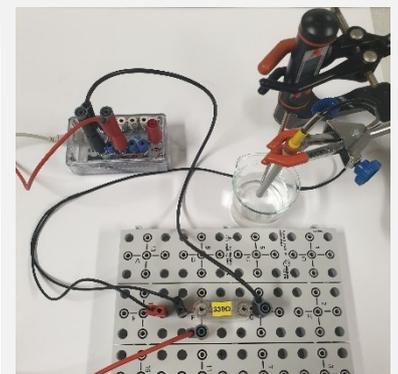
- **Objectifs** : Déterminer de manière automatique la température de l'eau à l'aide d'une CTN et d'un microcontrôleur.  
Utiliser un dispositif comportant microcontrôleur et un capteur de température (CTN) ;  
Tester et modifier un programme informatique afin de déterminer la température de l'océan.
- **Matériel** : CTN, eau, glaçons, microcontrôleur Arduino, résistance 330  $\Omega$ , fils de connexion.
- **Explicitation des consignes, des attentes ; taches possibles** :
  - Réalisation d'un circuit électrique. Utilisation d'un microcontrôleur
  - Exploitation de la droite d'étalonnage
  - Le programme du microcontrôleur est fourni aux élèves, à compléter avec l'équation de la modélisation (activité 2).

#### Document 5 : Microcontrôleur Arduino

Le microcontrôleur joue le rôle de générateur entre la borne 5V qui correspond à la borne + et la borne GND qui correspond à la borne – ou 0V. Il permet aussi de mesurer une tension entre l'entrée A0 et la borne GND.



Remarque : Le microcontrôleur convertit la tension électrique  $U_r$  envoyée sur l'entrée analogique A<sub>0</sub> en un nombre qui peut prendre n'importe quelle valeur entière entre 0 et 1023. La valeur de 1023 est associée à une valeur maximale de 5,0 V pour la tension  $U_r$ .





**Questions :**

1. Quelle grandeur physique est mesurée sur l'entrée analogique d'un microcontrôleur ?
2. Proposer une stratégie pour afficher la température sur le moniteur série sur l'ordinateur ?
3. Réaliser le protocole suivant :
  - Réaliser le circuit du document 5.

**APPELER LE PROFESSEUR POUR FAIRE VERIFIER VOTRE CIRCUIT OU EN CAS DE DIFFICULTES**

- Brancher la liaison USB de la carte Arduino sur l'ordinateur.
- Démarrer le logiciel Arduino.
- Ouvrir le programme CTN.ino.



```
//Programme permettant d'afficher la température sur le moniteur série

//Initialisation des constantes et variables

int E=0;           // Valeur sur l'entrée A0
float T=0.0;       // Température
float U=0.0;       // Tension aux bornes de la résistance 330 Ohm

void setup(){
  Serial.begin(9600);
}

void loop(){

  E=analogRead(A0); // Voie d'entrée A0
  U = 5.0*E /1023;  // Conversion de la valeur lue sur A1 en tension (algébrique)

  T = ; // A compléter avec l'équation obtenue à partir de la courbe d'étalonnage

  Serial.print("T="); // Affichage de la température
  Serial.print(T);
  Serial.println("°C");

  delay (2000);
}
```

- Compléter le programme pour afficher la température.
- Téléverser le programme.
- Afficher le moniteur série.
- Plonger la thermistance dans un bécher contenant de l'eau à température ambiante puis un bécher d'eau froide contenant des glaçons. Noter les températures obtenues avec le programme. Les vérifier à l'aide du thermomètre.



## Résultats d'expériences et dispositifs expérimentaux

### Remarque :

On utilise pour cette partie les CTN de la marque Jeulin mais il est possible d'utiliser aussi une CTN « maison », ici elle a été montée dans un tube en aluminium isolé avec de la gaine rétractable et du plastique. Un fils de connexion dédoublé a été soudé sur les branches de la CTN.



Le microcontrôleur Arduino a été monté dans des boîtiers avec sortie double puit.

Merci aux technicien(ne)s.



<b>Introduction</b>	1) On remarque une augmentation des anomalies de températures moyennes globales au cours des années. Ces anomalies sont sûrement dû à une augmentation des activités humaines, à l'augmentation des gaz à effets de serre, au réchauffement climatique ...
<b>Activité 1 : Découverte du capteur</b>	1) La grandeur physique qui modifie la résistance thermique est la température. 2) Quand la température augmente la résistance diminue. 3) Oui, la résistance est toujours la même pour une température donnée (et pour une thermistance donnée) 4) La thermistance est une CTN, Coefficient de Température Négatif car d'après notre expérience la résistance de celle-ci diminue lorsque la température augmente.



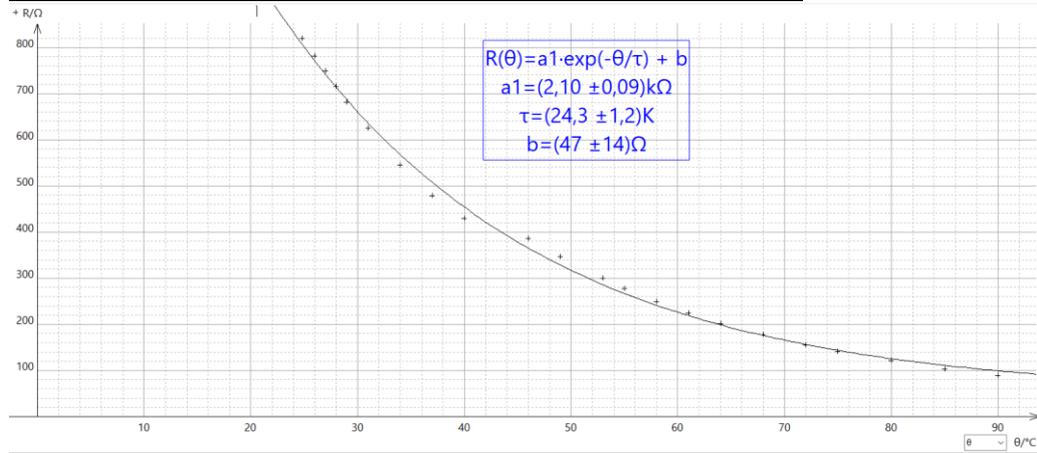
**Activité 2 :  
Etalonnage du  
capteur**

**Remarque :** Thermostat au max sur la plaque chauffante  
Volume d'eau : 125 mL

Θ (°C)	24,8	26	27	28	29	31	34	37	40	43	46
R (Ω)	819	782	749	715	682	625	545	478	430	436	386

49	53	55	58	61	64	68	72	75	80	85	90
346	300	277	249	224	202	177	155	141	121	103	89

**Graphique de l'évolution de la résistance en fonction de la température :**



1) La thermistance n'est pas un capteur linéaire car la courbe d'étalonnage ( $R=f(\theta)$ ) n'est pas une droite linéaire passant par l'origine (fonction linéaire).

2) La modélisation n'est pas simple car ce n'est pas une connue en seconde : fonction affine, linéaire ou constante.

**REMARQUES :**

- Cette courbe d'étalonnage n'est pas facilement modélisable par des élèves de seconde (fonction exponentielle)

Rappel théorique :  $R_{CTN} = R_0 \cdot e^{B \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{298} \right)}$

$R_0$  résistance nominale (à 25°C ou 298 K, connue à 20%) et B coefficient caractéristique de la CTN.

- La tension U est la tension appliquée aux bornes du pont diviseur de tension, elle est égale à 5V. C'est le microcontrôleur qui servira de générateur dans l'activité 3.

3) Pour déterminer la température de l'eau sans utiliser le thermomètre lire la valeur de la résistance est déterminer la température par lecture graphique en utilisant les curseurs ou la valeur modélisé. Exemple avec une résistance  $R=372\Omega$  ; la température est alors de de 47 °C

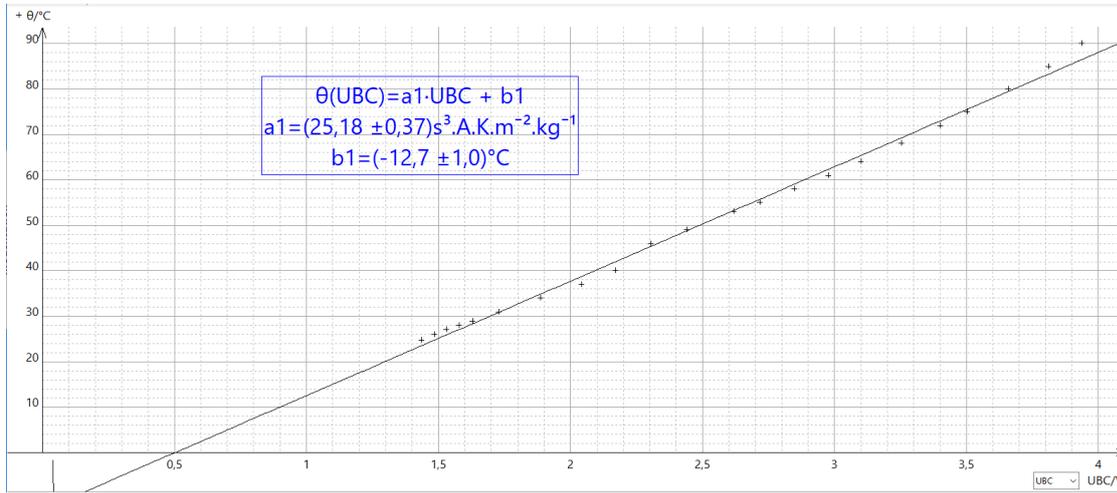
4) D'après la loi d'additivité des tensions :

$$U = U_{CTN} + U_r$$

Avec la loi d'Ohm :

$$U = R_{CTN} \times I + r \times I$$



	<p style="text-align: center;"><math>U = (R_{CTN} + r) \times I</math></p> <p style="text-align: center;">D'où : <math>I = \frac{U}{R_{CTN} + r}</math></p> <p>5) <math>U_r = r \times I = r \times \frac{U}{R_{CTN} + r} = \frac{r}{R_{CTN} + r} \times U</math></p> <p>6) Le pont diviseur de tension ainsi fabriqué constitue un capteur de température dont la caractéristique <math>\theta = f(U_r)</math> est linéaire. La courbe <math>\theta = f(U_r)</math> est tracée puis modélisée par une fonction affine :</p> <div style="text-align: center;">  <p style="border: 1px solid blue; padding: 5px; display: inline-block;"> <math>\theta(UBC) = a_1 \cdot U_{BC} + b_1</math>  <math>a_1 = (25,18 \pm 0,37) s^3 \cdot A \cdot K \cdot m^{-2} \cdot kg^{-1}</math>  <math>b_1 = (-12,7 \pm 1,0) ^\circ C</math> </p> </div> <p>7) <b>Equation du modèle</b> : <math>\theta = 25,2 \times U_r - 12,7</math></p>
<p><b>Activité 3 :</b> <b>Détermination de la température de l'eau à l'aide d'une CTN et d'un programme Arduino</b></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) En entrée le microcontrôleur reçoit une tension, on mesure la tension aux bornes de thermistance.</li> <li>2) Il est intéressant d'afficher la température pour pouvoir suivre son évolution dans les océans, exploiter et interpréter les valeurs obtenues.</li> <li>3) <math>T = 25 \cdot U - 12,6</math> ; ligne programme Arduino à compléter.</li> </ol> <p style="text-align: center;"><i>Avec la CTN « maison »</i></p> <div style="text-align: right;">  </div>



**Ce qu'il faut savoir faire :**

Compétences	Capacités associées	Où dans cette partie
APP	Rechercher et organiser les informations pour répondre aux questions	Activité n°1
ANA	Proposer stratégie pour afficher une température à l'aide d'un microcontrôleur	Activité 2
REA	Exploiter la courbe obtenue pour déterminer la température	Activité n°2
	Réaliser le protocole validé et les courbes associées	
	Exploiter les relations pour tracer les courbes linéarisées reliant la tension et la température. Exploiter les courbes modélisées pour déterminer une température.	
	Réaliser le circuit électrique et compléter le programme du microcontrôleur pour afficher la température	Activité n°3
VAL	Confronter le nuage de points obtenu aux modèles connus	Activité n°1
COM	Rédiger les questions de manière cohérente et compréhensible	Activité n°1, 2 et 3

**Liens avec le programme de physique chimie de seconde**

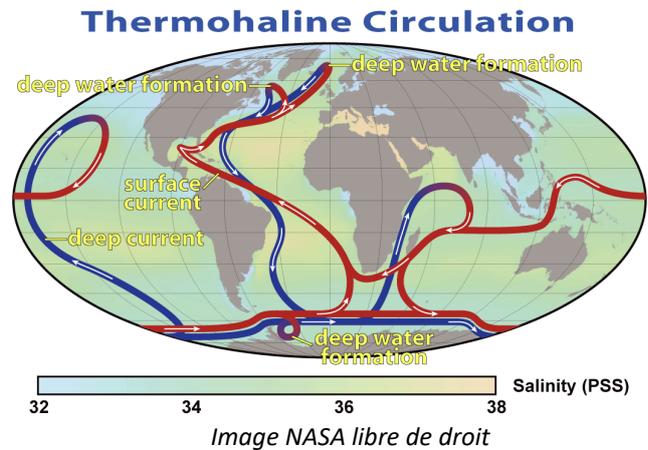
Thème	Notions et contenus	Où dans cette partie ?
Signaux et capteurs	Mesurer une grandeur physique à l'aide d'un capteur électrique résistif. Produire et utiliser une courbe d'étalonnage reliant la résistance d'un système avec une grandeur d'intérêt (température, pression, intensité lumineuse, etc.). Utiliser un dispositif avec microcontrôleur et capteur.	Activité n°



### PARTIE 3 : Comment déterminer la salinité de l'eau ?

La salinité d'une eau de mer, est une information utile aux océanographes et climatologues. La densité de l'eau de mer dépend de sa température et de sa salinité, c'est-à-dire de sa concentration en sels dissous. Dans l'Arctique, l'eau qui gèle pour former la banquise rejette son sel dans l'eau liquide.

Les eaux liquides de surface sont alors froides et chargées en sel : leur densité est élevée. Elles plongent en profondeur et sont entraînées vers le sud. Sous les Tropiques, la température de ces eaux augmente ; elles remontent à la surface.



Ce phénomène crée un vaste courant appelé circulation thermohaline qui joue un rôle important dans la régulation du climat en transportant de la chaleur. Pour mieux établir une carte de ce courant, les chercheurs utilisent des mesures de salinité effectuées avec les balises Argos.

Source : Wikipédia

Les courants de profondeur assurent le maintien de la vie dans les océans. En circulant au fond des océans, l'eau s'enrichit en nutriments. En remontant, elle entraîne ces nutriments en surface, ce qui alimente les algues et le phytoplancton formant la base des chaînes alimentaires océaniques.

#### Document 1 : Le Gulf Stream et la régulation du climat

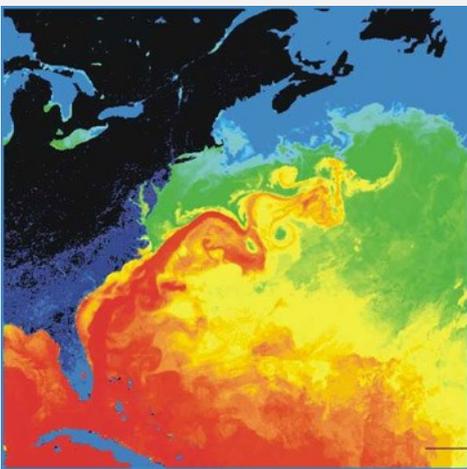


Photo NASA, libre de droit

Actuellement, les scientifiques savent que le Gulf Stream s'inscrit dans la circulation thermohaline globale. C'est parce qu'il y a circulation thermohaline, et plongée d'eau, que le *Gulf Stream* remonte vers le Nord pour remplacer l'eau qui plonge, et réciproquement. Cette boucle est fragile. Imaginons un réchauffement climatique mondial. Si la calotte groenlandaise actuelle fond un peu plus que maintenant, la surface de l'Atlantique Nord verra sa salinité diminuer.

La conséquence serait un arrêt ou un ralentissement de la circulation thermohaline et du *Gulf Stream* (partie rouge de l'image thermique ci-contre ; le continent nord-américain est bleu/noir). Le climat de la France risquerait alors de devenir celui du Canada (Vancouver ou Seattle (USA) sont à la même latitude que La Rochelle !).

Un arrêt du *Gulf Stream* semble déjà avoir été enregistré. Lors de la fonte de la calotte canadienne, à la fin du dernier épisode glaciaire, l'essentiel de l'eau est descendue vers l'océan par le Mississippi. Quand la fonte de cette calotte s'est accélérée, d'immenses lacs et le Saint Laurent se sont mis en place, contribuant ainsi à une baisse brutale de la salinité de l'Atlantique. Cet arrêt du *Gulf Stream* est associé à un épisode climatique très froid, le Dryas récent, il y a 13.000 ans, pendant lequel la température moyenne de l'Europe a baissé de plusieurs degrés en moins de 50 ans. Le nom de « Dryas » provient du nom d'une petite fleur qui pousse sous les climats très froids.

Source : <https://planet-terre.ens-lyon.fr>



**Questions préliminaires :**

1. Expliquer ce qu'est la circulation thermohaline. Comment cette circulation peut-elle se faire ?
2. Décrire le rôle de la circulation thermohaline sur la régulation du climat et sur la vie sur Terre.
3. Pourquoi est-il important de mesurer et de connaître la salinité des océans ?

**Document 2 : Comment mesure-t-on la salinité d'une eau ?**

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). Une unité UPS correspond à 1 gramme de sels dissous dans un kilogramme d'eau de mer.

Comme les proportions des différents sels dissous sont très sensiblement constantes, il suffit de déterminer la concentration d'un seul de ces sels dissous pour connaître la salinité totale d'un échantillon d'eau de mer. La relation entre la salinité et la chlorinité a été définie en 1902 à partir de nombreuses mesures de laboratoires sur des échantillons provenant de toutes les mers du globe. **La chlorinité** étant la quantité (en  $\text{g.kg}^{-1}$ ) d'ions chlore, brome et iode qui précipitent lors du titrage au nitrate d'argent.

$$S = 0,03 + 1,805 \times Cl \quad S \text{ salinité, } Cl \text{ chlorinité.}$$

Un inconvénient majeur est que cette formule donne une salinité de 0,03 pour une chlorinité nulle. L'UNESCO a donc proposé en 1969 une nouvelle formule définissant ce qu'on appelle la **salinité absolue** :

$$S = 1,80655 \times Cl$$

Ces définitions ont été revues lorsque furent développées des techniques utilisant la conductivité d'une solution électrolytique (une solution qui contient des ions qui sont les porteurs de charges et qui conduisent le courant électrique). La conductivité électrique représente l'aptitude d'une solution à conduire le courant. Son unité est le Siemens par mètre ( $\text{S.m}^{-1}$ ).

Depuis 1978, la salinité est officiellement mesurée à partir de la conductivité électrique de l'eau.

La salinité de l'eau de mer vaut en moyenne 35 UPS.

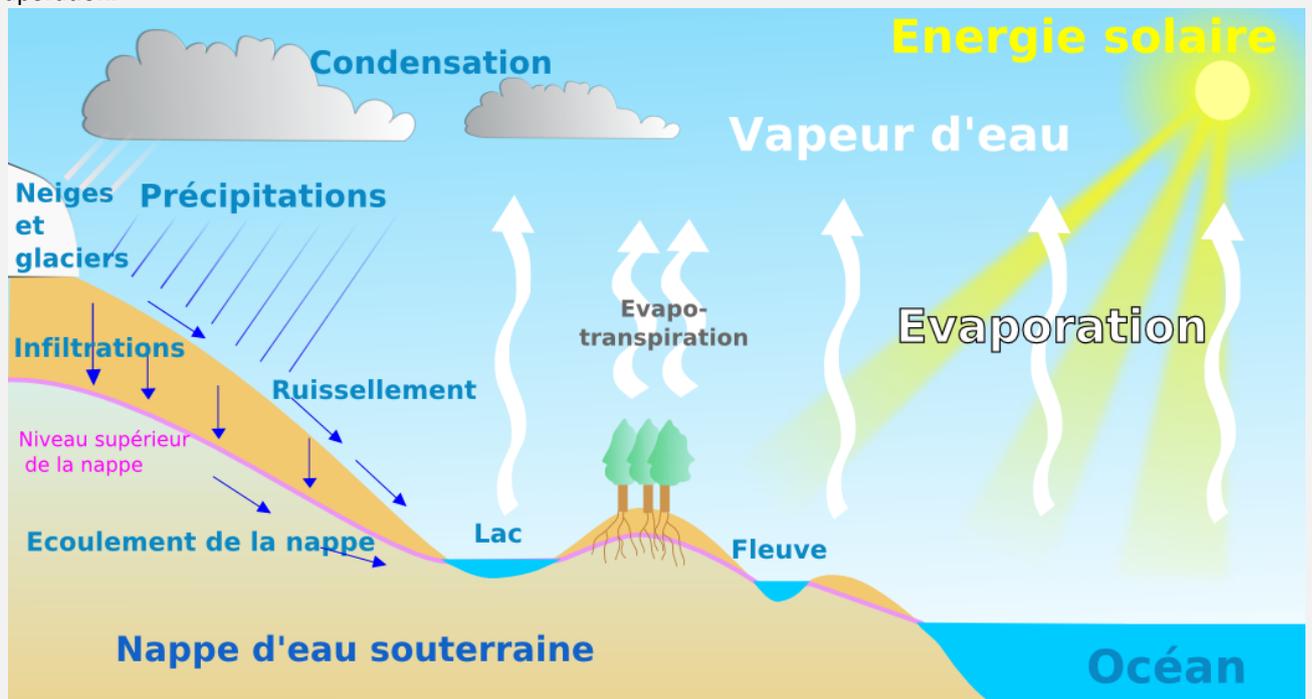


### ACTIVITE 1. Reconstitution d'une eau de mer

- **Objectifs** : Comprendre la composition de l'eau de mer
- **Matériel** : Fiole jaugée de 100mL, balance, coupelle de pesée, eau distillée, NaCl et CaCl<sub>2</sub> solide
- **Explicitation des consignes, des attentes ; taches possibles** : préparation de solution par dissolution. La solution sera conservée pour l'activité 2.

#### Document 3 : Cycle de l'eau

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 s'est constituée par l'apport des eaux de ruissellement faiblement chargées en ions sodium Na<sup>+</sup>, magnésium Mg<sup>2+</sup>, calcium Ca<sup>2+</sup>, chlorure Cl<sup>-</sup>, sulfate SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> venant compenser le départ d'eau douce par évaporation de l'eau de mer. 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.



Licence CC BY 3.0

#### Document 4 : Composition d'une solution d'1 L d'eau de mer artificielle préparée au laboratoire

Sels	NaCl	MgCl <sub>2</sub>	KCl	CaCl <sub>2</sub>	MgSO <sub>4</sub>
m (g)	27,2	2,42	0,39	1,17	3,38

#### Questions :

1. Pourquoi les eaux de ruissellement se chargent-elles en ions ?
2. Donner le protocole permettant de préparer 100 mL de cette eau de mer artificielle. Réaliser le protocole.

**APPELER LE PROFESSEUR POUR FAIRE VALIDER VOTRE PROTOCOLE OU EN CAS DE DIFFICULTES**

3. Proposer un protocole pour déterminer la masse volumique de cette solution d'eau de mer simplifiée. Le réaliser.



### ACTIVITE 2. Mesure de la salinité absolue

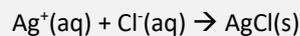
- **Objectifs : Déterminer la salinité absolue de l'eau de mer**
- **Matériel :** Montage titrage (burette de 25mL, agitateur magnétique + barreau aimanté) + erlenmeyer de 100 mL + solution de nitrate d'argent ( $C = 2,5 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ) + eau salée préparée activité 1
- **Explicitation des consignes, des attentes ; taches possibles :** Utilisation d'une pipette jaugée, Dosage par titrage colorimétrique

#### Document 5 : Qu'est-ce qu'un dosage colorimétrique ?

**Doser** une espèce chimique en solution, c'est déterminer précisément sa quantité, sa concentration en solution.

Pour cela on peut utiliser un dosage par titrage mettant en jeu une réaction chimique.

Ici les ions chlorures peuvent être titrés par une solution de nitrate d'argent ( $\text{Ag}^+ + \text{NO}_3^-$ ) dont la concentration est connue. Les ions argent et chlorure réagissent et forment une entité solide, un précipité le chlorure d'argent, non soluble dans l'eau selon l'équation suivante :



- Dans une burette graduée, verser le **réactif titrant**, de concentration connue : solution de nitrate d'argent ( $\text{Ag}^+ + \text{NO}_3^-$ )
- Prélever 10,0 mL d'eau salée **diluée 20 fois** à l'aide d'une pipette jaugée, cette solution est appelée le **réactif titré** de concentration inconnue. Placer cet erlenmeyer sur un agitateur magnétique sous la burette graduée.
- Ajouter quelques gouttes de fluorescéine qui joue le rôle d'indicateur coloré.
- Verser lentement, sous agitation modérée, le réactif titrant dans l'erlenmeyer.
- Arrêter l'ajout lorsqu'on remarque un changement de coloration.
- Lire le volume versé de réactif titrant.

Ce changement de coloration correspond à un moment particulier où on a versé exactement la quantité de réactif titrant permettant de consommer la totalité du réactif titré, on sait que les deux réactifs sont entièrement consommés on parle alors **d'équivalence**.

Dans le cas du dosage des ions chlorures : à l'équivalence, on a autant d'ions  $\text{Ag}^+$  apportés qu'il y avait d'ions  $\text{Cl}^-$ , les quantités de matières sont donc identiques.

$$n(\text{Ag}^+) = n(\text{Cl}^-),$$

On en déduit la relation suivante, qui tient compte de la dilution, permettant de calculer la concentration  $C_{(\text{Cl}^-)}$  d'ions  $\text{Cl}^-$  en  $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ :

$$C_{(\text{Cl}^-)} = 1,775 \times V_E$$

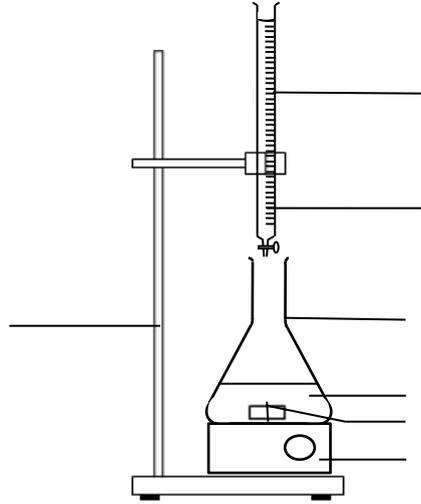
Avec  $V_E$  : volume de solution de nitrate d'argent versée connue en mL

Les instruments de la balise Argo mesurent en temps réel la salinité de l'eau de mer. Les mesures doivent donc être automatisées et l'utilisation d'un capteur est indispensable.

Ainsi la mesure conductimétrique permet d'automatiser la mesure de salinité. Pour valider le dispositif expérimental, on souhaite comparer les résultats obtenus par conductimétrie aux résultats obtenus par titrage au laboratoire.



1. Compléter le schéma du dispositif de titrage avec le vocabulaire suivant : solution titrante, solution titrée, barreau aimanté, burette graduée, agitateur magnétique, support, erlenmeyer



2. Réaliser le titrage et déterminer la concentration en ions chlorure dans l'eau de mer.
3. En déduire la chlorinité puis la salinité absolue de l'eau de mer.



**ACTIVITE 3. Mesure de la salinité par conductimétrie**

- **Objectifs** : Déterminer la salinité de l’eau de mer par dosage par étalonnage
- **Matériel** : Conductimètre, support, solution de chlorure de sodium étiquetée « Eau de mer diluée 10 fois »  $C = 2,0 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ , solutions étalons de chlorure de sodium (0,5 / 1,0 / 2,0 / 2,5 / 5,0 et  $10 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ )
- **Explicitation des consignes, des attentes ; taches possibles** : Préparation d’une solution par dilution, Dosage par étalonnage conductimétrique, utilisation d’un tableur-grapheur (Ici Regressi mais *Utilisation Excel possible : compétence PIX*)

**Document 6 : Conductivité et Loi de Kohlrausch**

La conductivité d’une solution ionique noté  $\sigma$ , mesure l’aptitude de celle-ci à conduire le courant électrique. Elle dépendra de la nature, du nombre d’ions présents et de la température. Un conductimètre est un appareil qui permet de mesurer cette conductivité. L’unité légale de conductivité est le Siemens par mètre ( $\text{S}\cdot\text{m}^{-1}$ ).

Comme les ions chlorure et les ions sodium représentent 90% des ions présents dans l’eau de mer, on va faire l’hypothèse que la conductivité de la solution est principalement due aux à celle des ions  $\text{Cl}^-$  et  $\text{Na}^+$ .

Autrement dit on va utiliser la loi de **Kohlrausch simplifiée** :

Pour une solution diluée, la conductivité électrique d’un électrolyte est proportionnelle à sa concentration :

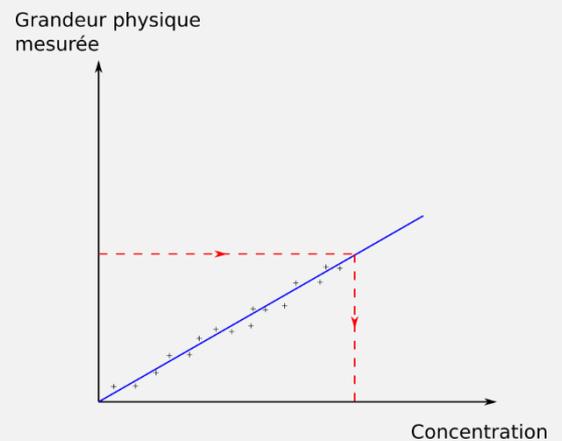
$$\sigma = k \times C \quad \text{Avec } \sigma \text{ la conductivité en } \text{S}\cdot\text{m}^{-1}$$

**Document 7 : Dosage par étalonnage**

Le dosage par étalonnage permet de déterminer la concentration d’une espèce chimique à partir d’une relation entre une grandeur physique, mesurée à l’aide d’un instrument, et la concentration.



Les propriétés de l’espèce chimique sont exploitées pour mesurer la grandeur physique associée. Par exemple on mesure la conductivité d’une espèce conductrice ou l’absorbance d’une solution colorée caractéristique de l’espèce chimique concernée. La relation recherchée est compatible avec les lois physiques mises en jeu. Elle est complètement déterminée par l’utilisation de solutions **appelées solutions étalons**, dont on connaît la concentration. En mesurant la grandeur physique concernée, on peut ainsi reporter sur un graphique des points dont l’abscisse correspond à la concentration des solutions connues et l’ordonnée à la grandeur physique mesurée. On obtient ainsi par modélisation une courbe d’étalonnage. Il suffit alors de mesurer la grandeur physique de la solution à doser afin d’obtenir un point de la courbe dont l’abscisse indique la concentration recherchée.



**Document 8 : Gamme étalons : Solutions de chlorure de sodium**

Solution	S1	S2	S3	S4	S5	S0
Concentration (en $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ )	0,5	1,0	2,0	2,5	5,0	10,0
Conductivité $\sigma$ (en $\text{mS}\cdot\text{m}^{-1}$ )						



1. Proposer un protocole expérimental afin de préparer la solution S3 à partir d'une solution mère S0 de chlorure de sodium de concentration  $C_0 = 10 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ .

**APPELER LE PROFESSEUR POUR LUI PROPOSER VOTRE PROTOCOLE OU EN CAS DE DIFFICULTES**

2. Réaliser la solution après validation.
3. Mesurer la conductivité de votre solution S3 ainsi que pour chacune des autres solutions étalons à votre disposition et compléter la dernière ligne du tableau du Document 8.
4. Tracer la droite d'étalonnage à l'aide d'un tableur grapheur (Regressi).
5. Cette droite d'étalonnage est-elle en accord avec la loi de Kohlrausch simplifiée ?
6. Utiliser cette droite d'étalonnage afin de déterminer la concentration en ions chlorure de l'eau de mer.
7. En déduire la chlorinité puis la salinité absolue de l'eau de mer.
8. Comparer votre résultat à celui trouvé avec la première méthode (Activité 2) ainsi qu'à la salinité moyenne des océans.



## Résultats d'expériences et dispositifs expérimentaux

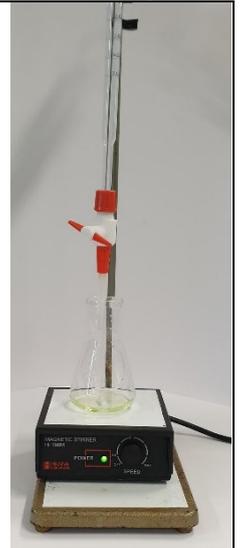
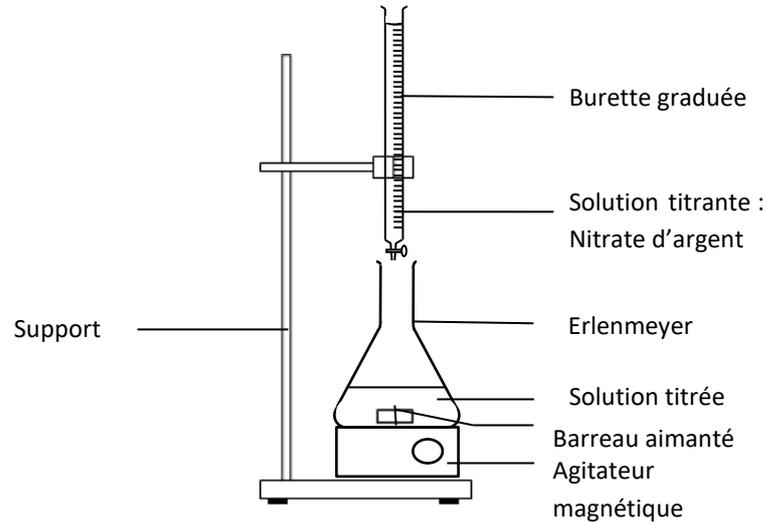
<p><b>Introduction</b></p>	<p>1) La circulation thermohaline (“thermo” = température, “haline” = salinité) est la circulation globale des eaux profondes des océans engendrée par la différence de densité de l’eau.</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• <b>L’eau salée est plus dense que l’eau douce.</b></li></ul> <p>Plus la salinité de l’eau augmente et plus celle-ci devient dense. Par exemple : Si dans une zone l’évaporation est grande, ou l’eau se solidifie et où les précipitations sont faibles, l’eau sera plus salée. Cette eau est plus lourde et glisse sous les eaux dont la salinité est plus faible.</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• <b>L’eau froide est plus dense que l’eau chaude.</b></li></ul> <p>Plus l’eau est dense, plus elle descend vers le fond. L’eau de surface se refroidit près des pôles, devient plus dense et coule vers le fond.</p> <p>2) Cette circulation thermohaline est essentielle :</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Elle permet le transfert de chaleur entre les pôles et l’équateur. Sans elle, l’écart de température entre l’équateur et les pôles serait beaucoup plus marqué.</li><li>• Chargé l’eau en nutriment ce qui assure le maintien de la chaîne alimentaire.</li></ul> <p>3) Il est important de connaître et de mesurer la salinité des océans car tout dérèglement/anomalie de celle-ci, montrera un ralentissement de cette circulation thermohaline et donc un dérèglement du climat. La salinité est donc un moyen de suivre l’évolution de la « santé » de la planète.</p>
<p><b>Activité 1 : Reconstitution d’une eau de mer</b></p>	<p>1) L’eau de ruissellement se charge en sédiments car elle traverse les différentes roches sédimentaires.</p> <p>2) <b>PROTOCOLE :</b> Toute la verrerie sera préalablement rincée à l’eau distillée.</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• A l’aide d’une balance et d’une coupelle de pesée, prélever 2,7g de Chlorure de sodium solide ; NaCl puis 0,58g de Chlorure de calcium solide ; CaCl<sub>2</sub>.</li><li>• Verser les solutés, dans une fiole jaugée de 100mL, à l’aide d’un entonnoir à solide. Rincer ensuite la coupelle et l’entonnoir avec de l’eau distillée en récupérant l’eau de rinçage dans la fiole.</li><li>• Remplir la fiole jaugée au 3/4 avec de l’ED, puis, l’agiter pour dissoudre le solide.</li><li>• Après dissolution, ajouter de l’ED à la pissette, pour ajuster au niveau du trait de jauge.</li><li>• Reboucher la fiole jaugée et l’agiter pour bien homogénéiser la solution.</li></ul> <p>3) <b>PROTOCOLE :</b> Sur une balance taré la masse d’une fiole jaugée (précision !) ou une éprouvette graduée de volume connu. Prélever à l’aide de la fiole jaugée ou de l’éprouvette graduée un volume choisi d’eau salée préparé précédemment. Peser ce volume. Calculer la masse volumique :</p> $\rho = \frac{\text{masse solution}}{\text{volume solution}} = \frac{50,83}{50,0} = 1,017 \text{ g.mL}^{-1}$ <p>Avec <math>m_{\text{solution}} = 50,83\text{g}</math> <math>V_{\text{solution}} = 50,0 \text{ mL}</math></p>



**Activité 2 : Mesure de la salinité absolue**

**Remarque :** Pour l'indicateur coloré attention le chromate de potassium est un CMR, dans ce protocole la fluorescéine a donc été privilégiée donc la fluorescéine.

1)



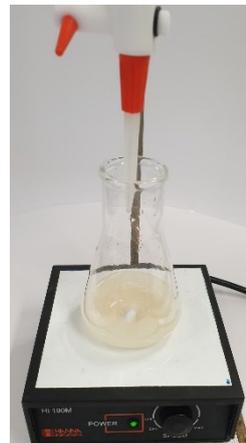
2) **ATTENTION** la solution d'eau de mer doit être diluée 20 fois on peut soit la faire diluée aux élèves soit la proposer déjà diluée : étiqueter dans ce cas le flacon « solution d'eau de mer simplifiée, diluée 20 fois »

Le volume à l'équivalence  $V_E = 11,3 \text{ mL}$

$$C_{(\text{Cl}^-)} = \frac{2,5 \cdot 10^{-2}}{10,0} \times 20 \times 35,5 \times V_E = 1,775 \times V_E = 1,775 \times 11,3 = 20,1 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$$



AVANT EQUIVALENCE



A L'EQUIVALENCE



APRES L'EQUIVALENCE

3) La chlorinité Cl s'exprime en  $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$

La masse volumique de l'eau de mer vaut  $\rho_{(\text{eau de mer})} = 1,017 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1} = 1,017 \text{ kg} \cdot \text{L}^{-1}$

$$\text{donc } \text{Cl} = \frac{C_{(\text{Cl}^-)}}{1,017} = \frac{20,1}{1,017} = 19,7 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$$

La salinité absolue :  $S = 1,80655 \times \text{Cl} = 35,59 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$



**Activité 3 : Mesure de la salinité par conductivité**

**Remarque :** L'eau de mer simplifiée, et préparée dans l'activité 1, contient également des ions  $\text{Ca}^{2+}$ , dont il faudrait tenir compte dans la conductivité. La droite d'étalonnage ayant été tracée à partir de solution de chlorure de sodium uniquement.

1) Protocole permettant de préparer la solution S3 :

Facteur de dilution :  $F = \frac{C_0}{C_3} = \frac{10}{2} = 5$

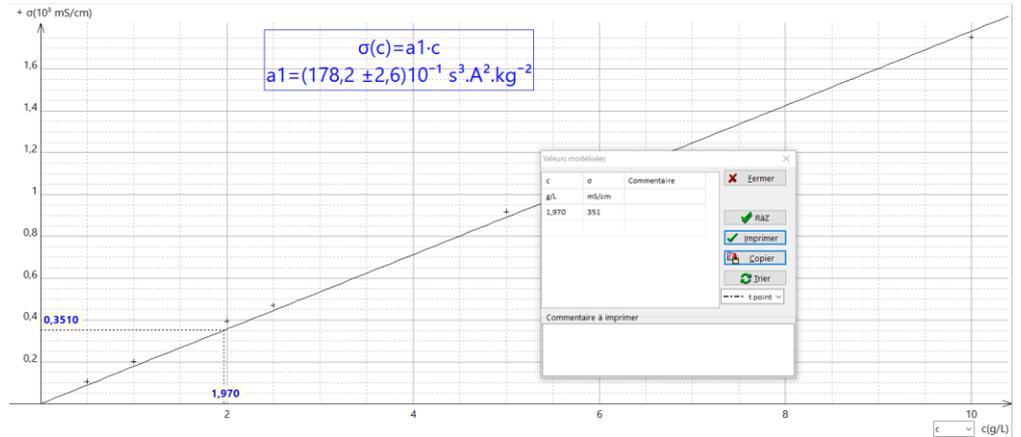
Toute la verrerie sera préalablement rincée à l'eau distillée.

Dans un bécher de prélèvement verser la solution mère de chlorure de sodium à la concentration en masse  $C_0 = 10 \text{ g.L}^{-1}$ . A l'aide d'une pipette jaugée prélevé  $10 \text{ mL}$  ( $V_0 = \frac{V_2}{F} = \frac{50}{5} = 10 \text{ mL}$ ) de la solution S0 que l'on placera dans une fiole jaugée de  $50 \text{ mL}$ . Remplir la fiole jaugée d'eau distillée au  $\frac{3}{4}$  homogénéiser puis compléter avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge. Homogénéiser.

3)

Solution	S1	S2	S3	S4	S5	S0
Concentration (en $\text{g.L}^{-1}$ )	0,5	1,0	2,0	2,5	5,0	10,0
Conductivité $\sigma$ (en $\text{mS.m}^{-1}$ )	104	201	395	469	919	1751

4) Graphique représentant l'évolution de la conductivité en fonction de la concentration.



5) Oui c'est bien en accord avec la loi de Kohlrausch car la conductivité évolue bien de manière linéaire en fonction de la concentration : proportionnalité.

6) Mesurer la conductivité de l'eau de mer :  $\sigma = 351 \text{ mS.m}^{-1}$

Reporter la valeur sur le graphique horizontalement, puis lire verticalement la concentration correspondante.  $C(\text{Cl}^-) = 1,970 \text{ g.L}^{-1}$ .

La solution d'eau de mer a été diluée 10 fois donc  $C(\text{Cl}^-) = 10 \times 1,970 = 19,70 \text{ g.L}^{-1}$

7) La masse volumique de l'eau de mer vaut  $\rho_{(\text{eau de mer})} = 1,017 \text{ g.mL}^{-1} = 1,017 \text{ kg.L}^{-1}$

donc  $\text{Cl} = \frac{C(\text{Cl}^-)}{1,017} = \frac{19,70}{1,017} = 19,37 \text{ g.kg}^{-1}$

La salinité absolue :  $S = 1,80655 \times \text{Cl} = 34,99 \text{ g.kg}^{-1}$

8) Les deux résultats sont cohérents et proche de la valeur moyenne de la salinité dans les océans.



### Ce qu'il faut savoir faire :

Compétences	Capacités associées	Où dans cette partie
<b>APP</b>	Rechercher et organiser les informations pour répondre aux questions	Questions préliminaires Activité 1
<b>ANA</b>	Proposer un protocole expérimental pour réaliser la solution d'eau de mer simplifiée et déterminer sa masse volumique	Activité 1
	Proposer un protocole de dilution	
<b>REA</b>	Réaliser la solution et le protocole pour déterminer la masse volumique de la solution	Activité n°1
	Compléter le schéma	Activité n°2
	Réaliser le dosage	Activité n°2
	Réaliser la dilution Réaliser les mesures de conductivité et construire la courbe représentative de la conductivité en fonction de la concentration.	Activité n°3
	Exploiter la modélisation de la courbe de conductivité pour déterminer la chlorinité.	
<b>VAL</b>	Comparer les résultats obtenus avec les deux méthodes	Activité n°3
<b>COM</b>	Rédiger les questions de manière cohérente et compréhensible	Activité n°1, 2 et 3

### Liens avec le programme de physique chimie de seconde

Thème	Notions et contenus	Où dans cette partie ?
Constitution et transformations de la matière 1. Constitution de la matière de l'échelle macroscopique à l'échelle microscopique A. Description et caractérisation de la matière à l'échelle macroscopique	Dosage par étalonnage.	Activité n°