



LYCEE FELIX
LE DANTEC
LANNION

ÉTUDE DU MÉLANGE DES EAUX A
L'EMBOUCHURE D'UNE RIVIERE

Présentation du projet



Lannion, petite ville au nord ouest du département des Côtes d'Armor est traversée par une rivière, le Léguer. Celle-ci se jette dans la Manche au niveau de Beg-Léguer.

La rivière, de l'eau douce coule lentement vers l'embouchure. Deux fois par jour la mer, de l'eau salée remonte inexorablement vers Lannion et les deux masses d'eau luttent l'une contre l'autre ...

Comment se passe cette rencontre ? Les deux masses d'eau se mélangent-elle immédiatement ?

Un ensemble de questions auquel nous décidons d'essayer de trouver une réponse !

Dans notre tâche nous sollicitons et obtenons l'aide des trois chercheurs et techniciens travaillant à l'institut pour la recherche et le développement (IRD*) situé près de Brest sur le même site qu'Ifremer.

Nous décidons alors d'élaborer un module qui soit capable de descendre dans une colonne d'eau et d'effectuer un ensemble de mesures nous permettant de déterminer la profondeur à laquelle il se trouve, de déterminer la nature de l'eau dans laquelle il se trouve et enfin la température de l'eau.

Le module se doit également d'être autonome lors de sa descente et de sa remontée.

Près de 8 mois de travail à raison d'environ 1h30 par semaine pour aboutir aux résultats présentés dans les pages qui suivent, des échecs bien sûr, de bon moments également et au bout du compte un objet technique qui permet de répondre en partie aux questions que nous nous posions au démarrage du projet.

Il est loin d'être parfait et donc améliorable et il mériterait pour être complètement validé une période de tests multiples et variés...

Nous vous souhaitons une bonne lecture.

Les membres de l'atelier scientifique.

Table des matières.

Présentation du projet	<i>page 2</i>
Sommaire	<i>page 3</i>
Eau douce – Eau salée	<i>page 4</i>
Equilibre du module	<i>page 5</i>
Poussée d'Archimède	<i>page 7</i>
Conception du capteur de conductivité	<i>page 8</i>
Etude du capteur de température	<i>page 12</i>
Etude du capteur de pression	<i>page 14</i>
Transfert des mesures vers la surface	<i>page 14</i>
Conception du module Nautilus	<i>page 15</i>
Test du prototype 3 à l'embouchure du légier	<i>page 18</i>
Analyse et conclusion	<i>page 19</i>

Eau douce et eau salée



L'eau qui descend de la vallée du légier et s'écoule vers Lannion est une eau de rivière. L'eau qui remonte, vient de l'océan. Ces eaux abritent des espèces animales et végétales bien différentes ! Ce sont deux milieux de vie différents !

Nous décidons de mettre en évidence certaines différences entre ces deux solutions qui nous permettront, de développer notre projet.

Activité 1 Mise en évidence d'une différence entre les deux milieux

Mesure de la masse d'un même volume d'eau douce et d'eau de mer. [Déroulement de l'activité en annexe2](#)

$m_{\text{eau de rivière}} = 992 \text{ g}$ par litre d'eau

$m_{\text{eau de mer}} = 1012 \text{ g}$ par litre d'eau

Observation : pour des volumes identiques, la masse de l'eau de mer est plus importante que la masse de l'eau de rivière.

Hypothèse : la composition des deux solutions est différente !

Activité 2 Pourquoi cette différence entre les deux milieux ?

Pour le vérifier nous décidons de chauffer les deux solutions de façon à faire évaporer l'eau.

Observation : dans le fond et sur les parois du ballon contenant l'eau de mer se dépose un important dépôt blanc. Il ne se forme qu'une très fine pellicule sur les parois du ballon contenant l'eau de rivière.

Conclusion : Les deux types d'eau contiennent une quantité plus ou moins importante de minéraux, lorsque l'eau s'évapore les minéraux (des ions positifs et négatifs) s'associent pour former des sels.

Ces ions (les plus abondants étant les ions chlorure, sodium et magnésium) sont mis en évidence par des tests de caractérisation (test au nitrate d'argent pour les ions chlorure, test à la flamme pour les ions sodium, test à la soude pour les ions magnésium).

Conclusion de l'étude : L'eau de mer est une eau salée et contient bien plus de minéraux que l'eau de rivière qui est une eau douce.

Par la suite Il nous faudra à la fois tenir compte et exploiter cette différence pour développer le module !

Equilibre du module



Le module flotte à la surface de l'eau tant que son poids est inférieur à la poussée d'Archimède. Nous décidons de déterminer de façon expérimentale la masse que nous devons ajouter pour que l'équilibre soit rompu et que le module coule.

Etude théorique de l'équilibre du module

Le module sera soumis à plusieurs actions mécaniques.

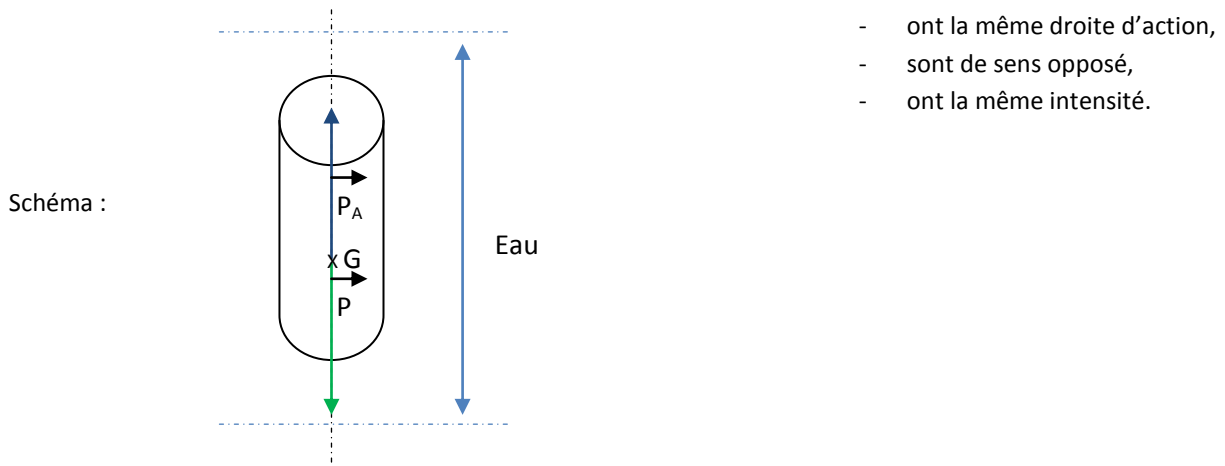
- L'action de la Terre sur le module, qui sera modélisée par le vecteur poids P .
- L'action de l'eau sur le module, qui sera modélisée par le vecteur poussée d'Archimède P_A .

Nous négligerons pour le moment (tout en sachant qu'elles existent) les forces de frottements de l'eau sur le module lors de sa descente et de sa remontée, ainsi que l'action des courants transversaux qui feront dériver le module.

Si le projet évolue rapidement nous tenterons de réfléchir sur les forces de frottements !

Conditions d'équilibre du module. (Le module est pour le moment assimilé à un cylindre de 40 cm de haut et de 8 cm de diamètre extérieur)

Le module sera à l'équilibre si et seulement si les 2 forces que nous avons retenues :



Caractéristiques des deux forces :

Nom	Point d'application	Droite d'action	Sens	Intensité
P_A	G	verticale	Vers le haut	A définir
P	G *	verticale	Vers le bas	A définir

* Le point d'application de la poussée d'Archimède n'est le centre de gravité du module que lorsque le module est complètement immergé. Dans les cas où le module n'est pas complètement immergé, le point d'application seraient G' : centre de gravité de la partie immergée, on parle du centre de carène.

Calcul de l'intensité du poids du module :

Le poids P se calcule à l'aide de la formule $P = m \cdot g$

- m : masse du module
- g : constante de gravité

La masse du module est de 0,500 kg. Le poids du module est donc de :

Le poids du module est de 4,9 N

Le poids du module est trop faible !!! La poussée d'Archimède trop forte !!! Pour faire couler le module nous ne pouvons que modifier sa masse en ajoutant des masses marquées.

Activité Détermination expérimentale de la masse ajoutée permettant au cylindre de couler

Pour déterminer la masse permettant au cylindre de couler, nous avons procédé par encadrement. C'est-à-dire que nous avons commencé par ajouter des valeurs de masse importante (500 g) de façon à obtenir une première fourchette d'étude, puis des masses de 100g, de 10g et enfin de 1g.

Remarque : nous avons du faire et refaire nos mesures, car nous avons une entrée d'eau par le fond du tube. Pour remédier à ce problème, nous avons usiné des bouchons en PVC expansé, que nous avons dans un premier temps scotché, puis collé, et enfin siliconé. Nous avons perdu beaucoup de temps, avant d'arriver à un résultat satisfaisant

Encadrement 1

1500 g < masse ajoutée < 2000g

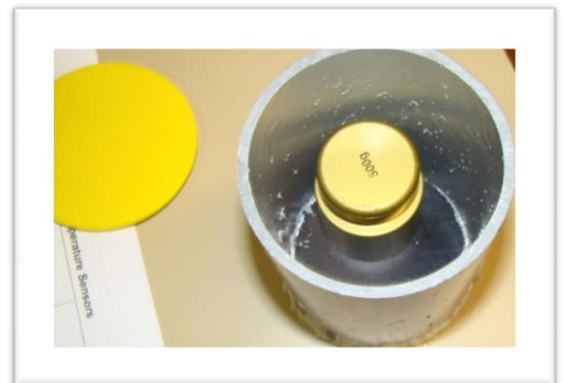
Encadrement 2

1500 g < masse ajoutée < 1600g

...

Encadrement ...

1508 g < masse ajoutée < 1509g



En jaune le bouchon, à côté le cylindre avec une première masse de 500g

Pour que le module coule il nous a fallu ajouter une masse de 1509 g. Si nous ajoutons cette masse à la masse du module, nous obtenons une masse de (1,509 + 0,500) soit 2,009 kg.

Le poids du module à cet instant est donc de :

A partir du dernier encadrement, on peut estimer l'intensité de P_A comprise entre 19,67 et 19,68 N.

Le poids du module est arrondi à **19,7 N** quand il coule.

Remarque : Nous devons prévoir un lest de 1509 g au moins pour que le module coule dans l'eau du robinet.

Point de satisfaction : notre activité expérimentale (qui ne fut pas aussi simple que cela), est en accord avec les calculs de Camille et de Souraya. Par contre elles nous apprennent que cette masse ne sera pas suffisante pour que le module descende dans de l'eau salée !

Les lignes suivantes vont nous l'expliquer !

Poussée d'Archimède



Activité 1 Mesure de la poussée Archimède dans l'eau du robinet et dans l'eau salée

Mesure de la poussée d'Archimède. [Dispositif expérimental et explications en annexe 3.](#)

$$P_A \text{ eau du robinet} = 0,1 \text{ N}$$

$$P_A \text{ eau salée} = 0,2 \text{ N}$$

Le dynamomètre utilisé ne permet pas une grande précision des mesures. Nous décidons de refaire l'expérience en réalisant notre propre dynamomètre.

Nous utilisons pour cela un ressort qui subit un allongement maximal pour une masse de 100 g. Nous savons que pour un objet de 100 g soumis à la gravité, l'intensité du poids est très proche de 1N.

Mode opératoire :

Nous suspendons le ressort à l'aide d'une potence et repérons le point 0, lorsque le ressort est immobile. (Allongement de 9cm)

Nous accrochons la masse de 100 g, et repérons la valeur 1N. (Allongement de 20,4cm)

0,1N correspondent donc à un allongement de 1,14cm.

Ce dispositif nous permet de remarquer que pour notre objet, la différence d'intensité de la poussée d'Archimède dans l'eau salée et l'eau du robinet est de l'ordre de 0,07N.

Activité 2 Calcul de la poussée d'Archimède devant s'exercer sur le module Nautilus

Etape 1 Estimation du volume du module.

En première approximation, le module devrait avoir la forme d'un cylindre ayant les dimensions suivantes :

Diamètre extérieur D: 8cm (Rayon R : 4cm) Hauteur H : 40cm

Le volume d'un cylindre se calcule à l'aide de la formule :

$$\text{Calcul } V_c = \pi \cdot R^2 \cdot H \quad \text{soit } V_c = 2010,6 \text{ cm}^3$$

Le volume du cylindre est arrondi à 2011 cm³, soit 2,011 dm³.

Etape 2 Calculer l'intensité de la poussée d'Archimède

La poussée d'Archimède est littéralement égale au poids du volume de liquide déplacé.

On peut donc écrire : $P_A = m_{\text{eau déplacée}} \cdot g$

Sachant que $\rho = m / v$ on a donc $m = \rho \cdot v$

De plus tout objet plongé dans un liquide déplace un volume de liquide équivalent à son propre volume.

Donc $V_{\text{eau déplacée}} = V_c$

La relation $P_A = m_{\text{eau déplacée}} \cdot g$ devient :

$$P_A = \rho_{\text{eau}} \cdot V_c \cdot g$$

Pour un volume défini, l'intensité de la poussée d'Archimède dépend de la nature du liquide. L'intensité de la poussée d'Archimède et la masse volumique sont deux grandeurs proportionnelles.

Etape 3 Détermination de la valeur eau salée Explications de la manipulation en annexe 3

Pour une température donnée, la masse volumique de l'eau salée est proportionnelle à la masse de sel dissoute.

Nous décidons de déterminer expérimentalement la masse volumique d'une solution contenant 40g de sel par litre d'eau. (mis à part quelques exception la mer contient en moyenne 40g de sel par litre d'eau)

$$\text{eau salée} = 1,021 \text{ kg/dm}^3$$

$$\text{eau robinet} = 1,000 \text{ kg/dm}^3$$

Rappel : Lors de nos travaux réalisés en début de projet nous avons mesuré les valeurs suivantes :

$$m \text{ eau de rivière} = 992 \text{ g par litre d'eau soit } \text{eau de rivière} = 0,992 \text{ kg/dm}^3$$

$$m \text{ eau de mer} = 1012 \text{ g par litre d'eau soit } \text{eau de mer} = 1,012 \text{ kg/dm}^3$$

Les valeurs mesurées sur les prélèvements extérieurs sont différentes des valeurs mesurées sur les solutions préparées ! Rappelons que la salinité de l'eau dépend de paramètres météorologiques (précipitations, vent, température) qui peuvent expliquer cet écart !

Cependant la différence calculée entre les masses volumiques eau de mer / eau de rivière est très proche de la différence de masse volumique entre eau salée / eau du robinet.

Etape 4 Calcul de la poussée d'Archimède

Connaissant les valeurs de la masse volumique et du volume d'eau déplacé, il ne nous reste plus qu'à calculer les valeurs de l'intensité de la poussée d'Archimède dans de l'eau du robinet et dans de l'eau salée.

$$\text{Dans de l'eau salée} \quad P_A = 1,021 \times 2,011 \times 9,8 = 20,1\text{N}$$

$$\text{Dans de l'eau du robinet} \quad P_A = 1 \times 2,011 \times 9,8 = 19,7 \text{ N}$$

Conclusion : le module subit une poussée d'Archimède plus forte dans l'eau salée que dans l'eau du robinet. Cette différence est de 0,42N.

Il faut que la masse du module soit plus importante dans l'eau salée que dans l'eau du robinet pour réussir à faire descendre le module jusqu'au fond ! La masse supplémentaire à fournir est d'environ 42 g.

Si la masse du module est insuffisante, le module coulera dans l'eau douce, mais restera bloqué entre les deux couches d'eau (eau douce / eau salée) !

Une activité illustrant cette conclusion est proposée en annexe 3.



Conception du capteur de conductivité

Objectif : développer un capteur capable de nous indiquer la position du module dans la colonne d'eau.

Pour déterminer la position du module dans la colonne d'eau, prélever des échantillons d'eau à des profondeurs connues puis les analyser aurait pu être une solution, mais l'aspect technique ne semble pas à notre portée, et nous avons abandonné l'idée de faire descendre le module nautilus par palier !

Mise à part l'identification des ions en solution (permet de connaître la composition chimique de l'eau) que je connais parce que déjà abordée en classe, je reste dans une impasse... Le professeur me propose alors de passer en revue les grandeurs physiques que je suis capable de mesurer. Je reviens sur mes deux années de sciences physiques et répertorie les grandeurs suivantes :

Grandeur physique	Unité de mesure
La masse m	Kilogramme (kg)
Le volume V	Mètre cube (m ³)
L'intensité du courant	Ampère (A)
La tension	Volt (V)
La résistance	Ohm (Ω)

La masse et le volume me ramène au prélèvement d'eau, les trois autres à savoir l'intensité du courant, la tension et la résistance d'un conducteur ohmique me pousse à travailler sur les circuits électriques ! Depuis la cinquième, je sais que l'électricité est dangereuse pour l'homme ! Notamment dans les milieux humides (salle de bain, cuisine) ou la réglementation est stricte !

Hypothèse : l'eau permet le passage du courant !

Activité Mise en évidence du caractère conducteur de l'eau

Dans un premier temps je me contente de vérifier notre hypothèse. Pour ce faire je construis à la hâte un circuit électrique avec une alimentation continue, des fils de connexion, une lampe et un cristalliseur contenant de l'eau du robinet (nous n'avions plus ni d'échantillon d'eau de mer ni d'échantillon d'eau de rivière).

Observation : la lampe ne brille pas ! (déception ...)

Conclusion : l'eau ne laisse pas passer le courant électrique ... elle semble être isolante !

Heureusement, j'ai l'idée d'aller prendre du gros sel dans la réserve, et d'en ajouter dans le cristalliseur...

Observation : la lampe brille de plus en plus fort au fur et à mesure que le sel se dissout.

Conclusion : l'eau salée laisse passer le courant électrique, le sel que nous avons ajouté y contribue grandement !

N'ayant toujours pas de mesures, j'ajoute un ampèremètre dans le montage précédent. Puis, je recommence les manipulations.

Observation : une intensité très faible passe dans l'eau du robinet. Cette intensité augmente au fur et à mesure que j'ajoute du sel.

Intensité mesurée dans l'eau du robinet	8 à 9 mA
Intensité mesurée dans l'eau salée	Rapidement au-delà de 100 mA

Conclusion : L'eau douce comme l'eau de mer sont des solutions qui permettent le passage du courant électrique. La quantité de sel dissoute dans l'eau est en rapport avec la valeur de l'intensité mesurée.

Je peux me servir de cette différence pour savoir dans quelle couche d'eau se trouve le module lors de sa descente. Il ne me reste plus qu'à construire le capteur que devra embarquer le module.

Activité Construction du capteur de conductivité

Le capteur doit permettre le passage du courant, il sera donc métallique (le graphite que l'on trouve dans les piles plates l'est aussi, mais le graphite est moins solide !).

Etape 1 Des mesures qui n'en sont pas !

Je passe en revue tous les échantillons de métaux présents dans le labo. On y trouve sous forme de plaques (10cm x 5cm) du cuivre, du zinc, de l'aluminium.

Je réalise Les premiers tests avec Maëva (qui délaisse momentanément Antoine). Elle est chargée de tenir les plaques pendant que je lis et note les valeurs de l'intensité du courant.

Observations : l'intensité mesurée varie avec la nature du métal, avec la distance séparant les deux plaques.

Problème : Il est difficile de noter les valeurs de l'intensité, Maëva a beaucoup de mal à tenir les plaques immobiles. Celles si sont trop écartées, pas assez, trop profondes, trop relevée ou pas en face l'une de l'autre.

Nous décidons de réfléchir à l'amélioration de notre procédé de mesure, de façon à ce que les plaques restent fixes sans que nous ayons à les tenir.

Etape 2 Réaliser des mesures fiables !

Le cuivre étant le meilleur conducteur, je me base sur les dimensions des plaques de cuivre pour réfléchir...

Les atomes métalliques forment des structures qui se répètent, appelées mailles. À l'intérieur, des électrons à peu près libres circulent entourés des atomes dont ils sont issus. C'est ce mouvement électronique qui est responsable de la bonne conduction; plus ces électrons sont libres, plus le métal est bon conducteur. Ces électrons plus ou moins libres sont appelés « électrons de conduction ».

L'utilisation de potence et de pinces pour maintenir les plaques n'est pas retenue car très longues à mettre en place, de plus les plaques ne restent pas forcément en face l'une de l'autre... 1 séance de passée pour arriver à cette conclusion !

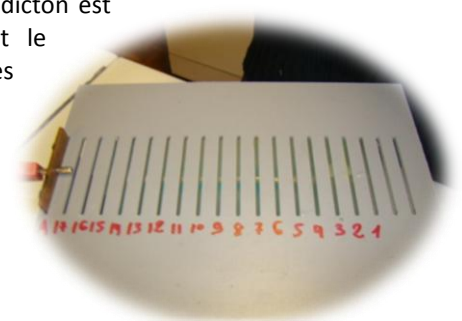
Pour m'aider à réfléchir je décide de mettre par écrit les conditions que doit remplir mon « système ».

Le « système » doit permettre d'effectuer la mesure de l'intensité du courant électrique entre deux plaques de cuivre. La distance séparant les deux plaques doit être modulable rapidement.

La chance sourit dit-on à ceux qui savent la saisir, il faut croire que ce dicton est aussi vrai dans la recherche de solution aux problèmes ! En effet le professeur, dans le cadre du cours d'optique pour les 4^{èmes}, a sorti des projecteurs de diapositives... le « chariot » qui porte les diapositives retient mon attention : on peut déplacer et mettre la diapositive à la place ou on le souhaite. Il suffit de faire de même pour les plaques de cuivre...

En salle de technologie, avec l'aide du professeur, j'usine une plaque de PVC expansé de 3 mm d'épaisseur.

Les véritables mesures peuvent commencer !



La plaque après usinage : des fentes permettent de glisser les lames métalliques

Etape 3 Séances de mesures

Pour saisir les différents paramètres qui sont responsables de la valeur de l'intensité du courant que nous mesurons, nous allons enchaîner une suite de mesures ou nous ne ferons varier qu'un seul paramètre à la fois.

1. Influence de l'écartement des plaques

Déroulement de l'activité : éloignez les plaques de cuivre l'une de l'autre, réalisez une mesure pour chaque nouvel écartement. On prend soin de ne pas modifier la surface de la plaque plongée dans la solution.

Observation : La valeur de l'intensité mesurée diminue avec l'écartement des plaques. [Tableau de mesures et courbes en annexe 4](#)

Conclusion : il est préférable de rapprocher les deux plaques le plus possible, en évitant qu'elles ne se touchent !

2. Influence de la surface des plaques sur la mesure de l'intensité

Déroulement de l'activité : la tension délivrée par l'alimentation reste fixe et égale à 3V. L'écartement des plaques ne varie pas. Je descends les plaques régulièrement (longueurs identiques pour les deux)

Observation : La Valeur de l'intensité augmente avec la surface des plaques plongeant dans la solution. [Tableau de mesures et courbe en annexe 4](#)

Conclusion : Pour la construction du capteur, il est plus intéressant de concevoir un capteur ayant des électrodes de grandes surfaces.

3. Influence de la surface totale du capteur

Les plaques de cuivre que j'utilise ont deux faces, je veux savoir si les deux faces d'une même plaque interviennent, ou si seulement les deux surfaces en regard sont importantes.

Déroulement de l'activité : Pour cette manipulation je scotche une des faces. Je recommence la manipulation 1 (j'éloigne les deux plaques) [Tableau de mesures et courbes en annexe 4](#)

Observation : les valeurs des intensités mesurées sont sensiblement les mêmes que lors de la première manipulation.

Conclusion : seules les surfaces en regard l'une de l'autre interviennent sur la valeur de l'intensité.

4. Influence de la position des plaques l'une par rapport à l'autre

Notre appareillage ne permet pas actuellement ce type de mesures.

Nous nous contentons donc uniquement de vérifier que deux plaques parallèles permettent d'avoir l'intensité la plus importante.

Notes

Lors des différentes manipulations, nous avons pu observer que :

- la composition de la solution de départ se modifie suite à l'oxydation des plaques de cuivre. (Coloration de la solution en bleue, puis formation d'un dépôt bleu dont nous ne connaissons que la participation des ions cuivre II qui proviennent de l'une des plaques de cuivre, celle qui s'oxyde lors du passage du courant dans la solution)
- La valeur de l'intensité mesurée ne se stabilise pas immédiatement. (la mesure n'est pas stable elle est haute puis baisse puis remonte et se stabilise)
- Un dégagement gazeux apparaît sur l'une des plaques. (oxydation de la plaque reliée à la borne négative de l'alimentation continue)

Pour tenter de limiter ces effets nous avons :

- Nettoyer les plaques de cuivre à l'aide d'acide nitrique dilué

- Placer un interrupteur dans le circuit pour limiter l'oxydation des plaques, et ne fermer le circuit que pour la prise de mesure.
- Acheter une prise Jack recouverte d'or (métal très difficilement oxydable), qui nous servira de capteur de conductivité.

Etape 4 Capteur final

Notre capteur de conductivité, qui doit nous permettre de savoir si le module se trouve dans de l'eau douce ou de l'eau salée est donc une prise Jack. Les deux bornes du capteur sont séparées par un petit anneau en plastique (évitant un court circuit !).

Nous relierons cette prise avec deux fils de connexion... et il ne nous reste plus qu'à vérifier qu'il est opérationnel !

Je fais grossièrement varier la concentration de la solution, et je mesure les valeurs de l'intensité.

Le capteur me semble adapté, de plus il est peu encombrant, Antoine et Maëva me confirment qu'ils peuvent le placer sans soucis dans le module avec les deux autres capteurs.

Cependant il me faut maintenant l'étalonner pour qu'il puisse effectuer des mesures en situation réelle.

Les premières mesures à l'aide de notre capteur débutent. Rapidement je me rends compte que quelque chose ne fonctionne pas ! En effet les valeurs d'intensité que je mesure changent ! Je recommence les mesures et de nouveau une autre valeur d'intensité !

Nous finissons par nous rendre compte que l'une des électrodes du capteur s'use prématurément ! Le phénomène d'électrolyse que nous avons observé avec les plaques de cuivre est de nouveau observable. La quantité de métal présent ici est bien moindre et la durée de vie de notre capteur est par conséquent bien courte.

Le professeur me conseille alors de reprendre les plaques de cuivre et d'observer la production de gaz au niveau d'une des électrodes en fonction de l'intensité du courant qui circule.

Rapidement je prends conscience que l'intensité du courant et la quantité de gaz formée sont proportionnelles.

Pour limiter la quantité de gaz, il faut réussir à limiter l'intensité du courant !

Cela est rendu possible par l'ajout d'une résistance dans le circuit (alimentation / capteur). Cette résistance se place en série avec le capteur.

Les valeurs d'intensité que nous mesurons sont par contre très faibles ! Le professeur ne s'en inquiète pas ! Il me conseille d'aller regarder de plus près la notice de l'enregistreur 4 voies qui nous permettra de remonter les mesures vers la surface et de suivre en temps réels la prise de mesures.

Celui-ci ne peut mesurer que des tensions !!!

Me voilà bien avancé !

Toujours en suivant les conseils du professeur je reprends mes notes !

La loi d'ohm !

La loi d'ohm me permet de contourner le problème, il me suffit de mesurer la tension aux bornes de la résistance pour connaître l'intensité du courant et surtout savoir si je suis dans de l'eau douce ou de l'eau salée !

La tension est élevée, le module se trouve dans de l'eau salée.

La tension est faible, le module se trouve dans de l'eau douce



Etude du capteur de température

Pour notre capteur de température, nous faisons appel à l'électronique, nous avons eu la chance, de nous rendre sur des animations tel que la fête de la science et d'échanger avec les entreprises du secteur.

Il nous a été conseillé pour notre projet d'utiliser un composant le LM35CZ. Il est semblé-t-il à la portée d'élèves de collège. La relation entre la tension mesurée aux bornes du composant et la température est simple !

Nous le commandons avec d'autres éléments chez Atlantique composants à Cesson, près de Rennes.

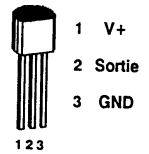
Etude du LM35CZ

Le LM35CZ est inséré dans un boîtier TO92 et se présente à nous avec trois pattes...

La tension d'alimentation entre les bornes 1 et 3 doit être comprise entre 4V et 30V.

La tension mesurée entre les bornes 2 et 3, correspond à la tension variant avec la température à laquelle se trouve le LM35CZ

Boîtier TO92

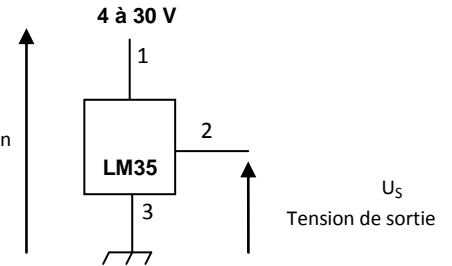


Etalonnage du LM35CZ

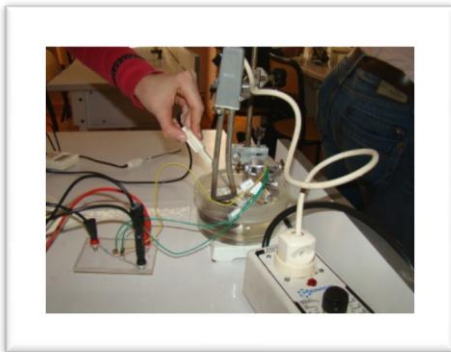
Le LM35CZ doit mesurer la température de l'eau.

Il faut donc lui isoler les pattes les unes des autres pour éviter un court circuit et obtenir de fausses mesures. C'est Camille qui s'en charge en utilisant du silicone.

U_G
Tension d'alimentation



Déroulement de la prise de mesures



La plage de température auquel sera confronté notre capteur devrait être comprise en 5°C et 17°C, pour être sur de couvrir toute la gamme de température, nous décidons de commencer les mesures avec une eau à 0°C, nous avons ainsi la tension minimale que doit afficher le voltmètre. Nous faisons de même en plongeant le capteur dans une eau à 20°C, nous alors la température maximale que devra afficher le voltmètre.

Ces deux valeurs nous permettent de vérifier que le voltmètre que nous utilisons est suffisamment précis pour réaliser les mesures.

Matériel : 1 cristalliseur, de l'eau du robinet, 2 voltmètres, un thermomètre, un thermoplongeur, une potence, des fils de connexion.

Protocole 1 : nous chauffons l'eau froide avec le thermoplongeur, la température augmente très rapidement, la tension mesurée évolue trop vite. Il est difficile de faire des mesures convenables.

Protocole 2 : Nous chauffons l'eau, puis nous laissons l'eau se refroidir, régulièrement nous notons la température de l'eau ainsi que la tension mesurée. Bien que la température de départ soit au dessus de celle que nous souhaitons, la méthode est bien plus adaptée.

Malheureusement, sur la fin de l'heure qui nous est impartie, nous nous rendons compte que la tension ne correspond plus aux mesures attendues ! Nous laissons le capteur sous tension jusqu'au lendemain... Au matin, il affiche une tension de 8,34 V pour une tension d'alimentation de 6,43 V !

Il faut revoir l'isolation du LM35CZ ! Nous pensons le glisser dans un environnement totalement étanche mais qui permet un échange thermique avec le milieu extérieur, comme pour les thermomètres que nous avons au collège.

Nous décidons de percer une tige d'aluminium de 8mm de diamètre. Nous pouvons alors glisser le LM35CZ à l'intérieur.

Le capteur sera alimenté par 4 accumulateur de 1,5 volt chacun. Il ne nous reste plus qu'à établir une courbe température / tension de sortie pour cette alimentation. La courbe que nous obtenons est une fonction affine. (équation du type : $y = ax + b$)(Courbe en annexe 5)

Etude du capteur de pression

Les premières mesures de la pression, nous confirme que la pression est fonction de la hauteur d'eau. (Mesures réalisées dans un tube PVC de 1,10 m de long)

En effet la pression à une profondeur h se calcule à l'aide de la formule : $p = p_0 + \rho \cdot g \cdot h$ (Courbe 1, annexe 6)

- * p : pression à une profondeur h s'exprime en Pascal
- * p_0 : valeur de la pression atmosphérique le jour de l'expérience, s'exprime en Pascal
- * ρ : masse volumique de l'eau (salée) s'exprime en kg/m^3
- * g : constante de gravité s'exprime en N/kg (ici $g = 9,8 \text{ N/kg}$)
- * h : profondeur à laquelle se trouve le module.

Il s'agit de l'équation d'une fonction affine.

A 20 m de profondeur le module subira une pression de près de 300000 Pascal, soit 3 bars.

Il nous reste à étalonner le capteur de pression. En effet celui-ci nous délivrera une tension de sortie proportionnelle à la hauteur d'eau.

Pour réaliser cet étalonnage, nous faisons monter dans le collège une colonne de PVC de 12 m de hauteur. Le capteur de pression est installé à la base de la colonne. Nous rajoutons régulièrement une quantité d'eau correspondant à 1 mètre dans la colonne.

Pour déterminer précisément ce volume d'eau à ajouter, il nous a fallu mesurer le diamètre intérieur du cylindre, calculer la valeur de la base puis calculer le volume pour une hauteur de 1 m. (courbe 2, annexe 5)

Il s'agit la encore d'une fonction affine.

Cette étude est réalisée avec de l'eau du robinet, Les mesures seraient légèrement différentes avec de l'eau de mer. (Courbe 3, annexe 5)

En effet, la masse de l'eau de mer étant supérieure à la masse de l'eau douce, pour deux hauteurs d'eau identique, on obtiendrait une tension supérieure pour l'eau de mer que pour l'eau douce.

Nous aurions toujours une fonction affine, mais le coefficient a serait différent !

Cependant la différence de pression est peu significative et nous n'aurions pas une différence de tension notable.

Remarque : le capteur présenté le jour du concours ne sera pas celui utilisé en juin ! Trop fragile, nous l'avons cassé et nous sommes contraints d'en prendre un nouveau modèle.

Transfert des mesures vers la surface



Afin de pouvoir récupérer les mesures effectuées par le module, nous avons acheté chez Conrad, un enregistreur 4 voies.

Nous redoutions une perte de tension lors du transport des données. Nos premières mesures nous rassurent, la tension mesurées aux bornes d'une résistance avec des cordons de 30 cm est égale à la tension mesurées aux bornes de 20 m de fil. Nous utilisons du fil PTT 4 paires, le courant électrique parcourant les fils étant faible, nous n'avons pas de perte.

Un problème tout de même (conseil donné par nos partenaires lors de la rencontre du 6 novembre). Le fil à une masse et les 20 à 30 m de longueur risque d'entraîner le module au fond et de l'empêcher de remonter. Il

va nous falloir lui accrocher des petits flotteurs qui lui permettront de flotter et éviterons de surcharger le module...

Nous testons expérimentalement la quantité de bouchon de liège nécessaire à la flottaison du fil PTT.

Dans notre poubelle test nous enfilons sur un mètre de fil des bouchons de liège.

Par mètre il faut exactement un bouchon de liège.

Tout cela mériterait une vérification par le calcul ! Nous nous contenterons pour le moment de la neutralisation de la masse du fil par la poussée d'Archimède subit par les bouchons.



Conception du module Nautilus

Rencontre avec les partenaires de l'IRD 6 novembre 2009

Il a été décidé après la rencontre avec les partenaires de l'IRD qu'il était préférable de concevoir un module qui se déplace en continu sur la colonne d'eau. Les mesures seront faites également en continu, à la descente et à la remontée du module.

Nous avons donc abandonné l'idée de le faire descendre par palier : les travaux de Camille et Souraya nous laissent penser qu'il serait difficile de réussir à faire s'immobiliser le module lors de sa descente.

Il faudrait ajouter à l'ensemble un système hélices qui peut-être nous permettrait de freiner ou de d'interrompre la descente du module.

D'autre part, toujours à la suite de la rencontre avec nos partenaires, nous décidons de concevoir un objet vertical, et non pas horizontal comme initialement voulu. Le sous-marin tel que l'on se le représente ne conviendra pas : le module aurait tendance à glisser sur l'eau et aurait plus de difficulté à descendre !

Le module Nautilus prototype 1

Le corps du module est un tube en PVC de 8 cm de diamètre extérieur, la hauteur maximale est de 40 cm. Nous décidons de compartimenter le module pour éviter que la partie électrique et électronique ne soit en contact avec d'éventuelles fuites d'eau !

Les compartiments sont reliés par des doubles bouchons usinés dans du PVC expansé de 10 mm. Ce qui nous permet un emboîtement de deux fois 6mm. Nous y ajoutons un joint en silicone pour une parfaite étanchéité.

De bas en haut nous trouvons :

- Les ballasts, un réservoir pouvant contenir 300 mL d'eau (soit une masse de 300g). Ce qui est normalement largement suffisant pour faire remonter le module du fond vers la surface. Les ballasts sont commandés par un interrupteur contact situé dans le fond du module. Il est actionné par un percuteur qui entre en contact avec lui lorsque le module touche le fond.



Ballast

- La partie centrale du module, contient l'équipement électrique, accumulateur, connectique, pompe de vidange.
- La troisième partie comprend l'ensemble des capteurs en contact avec le milieu extérieur : capteur de température, de pression et de conductivité.



Maëva assemble le percuteur et l'interrupteur.

Remarques : une ceinture de plomb permet de compléter la masse du lest, pour que le poids total du module soit supérieur à la poussée d'Archimède exercée par l'eau salée.

Incident : Lors du montage de l'ensemble des pièces, nous avons eu la désagréable surprise de constater que les dimensions de la pompe (elles n'étaient pas présentes sur le catalogue du fournisseur), étaient supérieures au diamètre intérieure du tube (7,4 cm).

En toute hâte, nous décidons de changer de tube, nous construisons le nouveau prototype avec un tube PVC de 10 cm pour diamètre extérieur.

Le module Nautilus prototype 2

Le prototype n°2 est en tout point identique dans sa structure au prototype 1, excepté le diamètre du tube...

Nous voulons faire les essais du module (sans les capteurs ! au cas où !), pendant les vacances, nous bloquons une date mais ...Trop vite !!! Nous oublions de refaire les calculs du lest.

Aie !!! Le volume du cylindre à changé, il est plus important, la poussée d'Archimède également puisqu'ils sont liés.

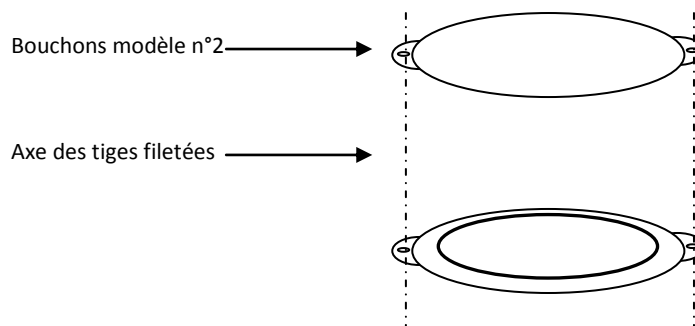
Notre module ne coule pas, il flotte !!!, et comble de malchance les nœuds d'Antoine se défont, le module part avec le courant ! Il n'est pas perdu, les courants le ramène vers la berge, mais à 50 m de son point de départ, mais trop bas pour que nous puissions le repêcher... en tentant de l'attraper avec un balai (nous avons couru au collège en chercher un), un bouchon se décolle !!! Et plouf il coule vers le fond !

Merci au professeur qui 1 semaine plus tard ira le récupérer en kayak au fond du légier.

Analyse

La masse du module est importante, légèrement au dessus des 2 kg, le lest est essentiellement situé sur la partie basse du module, de façon à ce que la descente soit verticale. La jonction du milieu était fragile.

Nous décidons de changer la forme des bouchons, pour que deux tiges filetées joignent les extrémités du module.



Le joint silicone a bien tenu.

La pompe ne s'est pas déclenchée ! Le contacteur à disparu ! Faut-il envisagé un lest solide qui soit largable au moment du choc avec le lit de la rivière ?

Test de la pompe

La pression atmosphérique est de l'ordre de 1 bar, celle-ci augmente de 1 bar tous les dix mètres. A une profondeur de 20 m elle sera donc d'environ 3 bars.

La pompe peut-elle produire une pression d'eau supérieure ? Pour le savoir nous relierons la pompe au pressiomètre... verdict : 1,2 bar. Le système de largage d'eau est donc inenvisageable avec cette pompe. Ce qui peut expliquer que l'eau soit toujours dans les ballasts lors du repêchage !

Nous décidons de concevoir un système total différent : Nous supprimons la réserve d'eau et nous partons sur l'idée de mettre à la place un lest solide largable qui restera au fond de la rivière ou de la mer... ce lest ne doit donc pas perturber l'écosystème... nous pensons à des pierres/galets que nous récupérerons sur la côte.

Il nous faut donc repenser en partie les plans du module !!!

Le lest que nous décidons d'embarquer se trouve dans la partie basse du module. Il doit être largué à l'ouverture d'une trappe qui se situe à la base du module.

La trappe peut-elle s'ouvrir à toutes les profondeurs ?

Rappel :

La pression peut s'exprimer en bar ou en Pascal (Pa) (1 bar = 100000 Pa)

A 20 m de profondeur la pression qui s'exerce sur la base du module est de 3 bars soit 300 000 Pa

La poussée exercée par l'eau sur la trappe s'exprime à l'aide de la relation : $F = p \times S$

- × F : force de poussée exercée par l'eau
- × p : pression
- × S : surface de la trappe

Sachant que $p = 300000$ Pa et que $S = \pi \cdot 0,05^2 \text{ m}^2 \approx 0,00785 \text{ m}^2 \approx 7,85 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$

Nous pouvons en déduire que l'intensité de la poussée exercée par l'eau est proche de **2355 N**.

Pour que la trappe puisse s'ouvrir, il faut donc que l'action du lest sur la trappe ait une intensité supérieure à 2355 N

L'action exercée par le lest sur la trappe est assimilable à l'action exercée par la Terre sur la masse du lest. L'intensité d'une telle action mécanique est donc calculée à partir de la relation $P = mg$.

Pour une intensité de 2355 N, sachant que $g = 9,8$ N/kg il faudrait une masse de lest supérieure à 240 kg ! (Le compartiment contenant le lest est considéré parfaitement étanche).

Cette valeur impressionnante nous pousse à poursuivre notre analyse des actions s'exerçant sur la trappe d'ouverture du compartiment.

Les deux actions mécaniques s'exerçant sur la trappe de largage sont :

- L'action de l'eau sur la trappe modélisée par \vec{F}_p
- L'action du lest sur la trappe modélisée par \vec{P}_{lest}

La première correspond à une force de pression, la seconde au poids du lest.

Les intensités respectives de ces deux actions sont donc :

$$- F_p = p \cdot S = (p_0 + \rho \cdot g \cdot h) \cdot S = p_0 \cdot S + \rho \cdot g \cdot h \cdot S$$

Où p_0 correspond à la pression atmosphérique.... Qui varie donc en fonction des conditions météorologiques.

Si l'on considère qu'il reste de l'air dans les ballasts, la composante $p_0 \cdot S$ est éliminée.

$$- P_{\text{lest}} = m_{\text{lest}} \cdot g$$

On a donc à l'équilibre : $m_{\text{lest}} \cdot g = \rho \cdot g \cdot h \cdot S$

Soit :

$$m_{\text{lest}} = \rho \cdot h \cdot S$$

La masse du lest est donc une grandeur qui dépend directement de la profondeur du module. Il s'agit d'une fonction linéaire. (Courbe 4, annexe 5)

Les résultats obtenus sont toujours aussi impressionnants et nous obligerait à avoir une quantité de lest bien trop importante ! Ce qui nous impossible...

Pour remédier à cela, il « suffit » d'annuler l'action de l'eau sur la surface extérieure de la trappe. Ceci est rendu possible par le perçage du compartiment devant contenir le lest. L'eau pouvant pénétrée dans le ballast, elle exerce une pression égale des deux côtés de la trappe !

Lorsque le déblocage de la trappe s'effectue, le lest peut tomber et laisser le module remonter vers la surface.

Test du prototype 3 à l'embouchure du Leguer



Les conditions météorologiques sont idéales, il n'y a pas de vent, la mer est calme et il fait grand soleil.

Nous embarquons sur Trébeurden à bord d'un petit voilier et hop direction l'embouchure du leguer.

40 à 45 minutes sont nécessaires pour atteindre notre lieu d'expérimentation.

Enfin les premiers véritables tests vont être réalisés, nous avons toujours en tête notre premier échec et vérifions convenablement les fixations du module avant de le mettre à l'eau.

Nous y sommes !!! Première mise à l'eau dans une profondeur plus que modeste environ un mètre cinquante d'eau. Il descend doucement, touche le fond et remonte. Le système de largage fonctionne convenablement. Une excellente nouvelle, par contre les capteurs ne donnent pas les réponses attendues ! Ouf !!! Juste un problème de connectique.

Nous sommes cette fois ci plus ambitieux et décidons de retenter l'expérience à une profondeur plus importante près de 10 m d'après les estimations du navigateur qui nous prête son bateau. Nous nous sommes par conséquent éloignés de la côte.

Une fois de plus le mobile descend, cette fois -ci toutes les courbes, sauf une s'affichent normalement sur l'écran de l'ordinateur... le capteur de pression de répond pas !

A la remontée du module, nous décidons de vérifier le capteur de pression. Grosse erreur, notre module ne sera plus parfaitement étanche et l'eau s'engouffrera dans le module, perturbant à la fois son équilibre et la mesure des différents paramètres.

La capture d'écran ne voulant pas fonctionner, nous mettons l'enregistrement obtenu sur un CD Annexe.
Merci de bien vouloir nous en excuser!!!

Lecture des courbes obtenues :

Capteur de conductivité / courbe rose

Le capteur se trouve juste à la surface de l'eau, la tension mesurée est faible, le module se trouve dans de l'eau douce. Très vite presque immédiatement après le lâché, la courbe s'élève, la tension augmente puis se stabilise. Le module se trouve dans de l'eau salée. La tension n'évolue plus tout au long de la descente, la concentration en sel semble donc être la même sur toute la hauteur d'eau.

Capteur de température / courbe jaune

La tension mesurée par ce capteur, ne varie pas, elle est constante. La température de l'eau est constante sur toute la colonne d'eau.

Capteur de pression / courbe blanche

La tension mesurée est nulle ! Disfonctionnement, des connexions se sont défaites lors de l'assemblage. Nous aurions du observé des valeurs de tension en hausse au fur et à mesure de la descente.

Analyse & Conclusion

Les premières mesures que nous obtenons nous permettent de vérifier que lors de la rencontre des eaux à l'embouchure du Leguer, l'eau douce reste au dessus tandis que l'eau salée se situe en dessous.

Ceci est conforme aux expérimentations et prévisions effectuées en salle de classe.

Toute fois l'épaisseur de la couche d'eau douce diminue très rapidement pour devenir très vite non mesurable. En s'étalant sur la vaste immensité de la manche, l'eau douce est très vite diluée dans l'eau salée.

Toutefois bien en amont, au niveau de Lannion, on observe très nettement la descente de l'eau douce vers l'embouchure et, ce même lorsque la marée monte et que l'eau salée pénètre très nettement dans l'intérieur des terres.

Nous sommes bien conscients des limites de notre étude, que cette conclusion est hâtive et que bien sûr nous devrions effectuer de nouvelles séries de mesures pour pouvoir conclure de façon fiable !

Cependant nous avons un prototype qui répond au cahier des charges que nous nous étions fixés, et qui a fait appel à l'ensemble des connaissances que nous disposions au moment de sa réalisation.

Et, il est bien entendu que ce prototype demande à être amélioré pour être rendu plus fiable, de façon à fournir avec certitude les réponses aux questions que nous étions posés.

Nos huit mois de travaux furent passionnants, et c'est bien pour cela que nous tenions à être ici aujourd'hui pour vous les présenter !