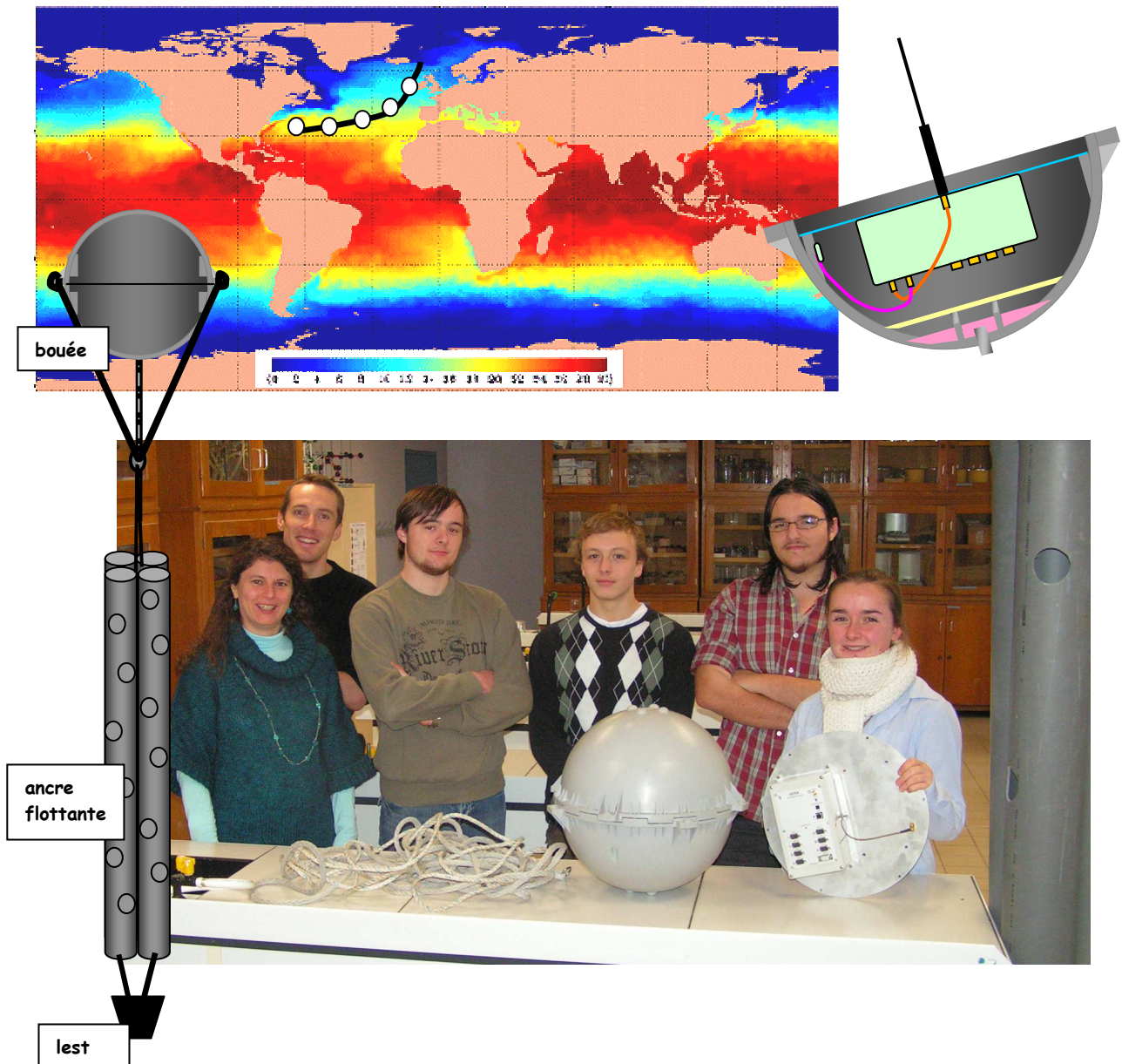




Poséidon

La bouée des Argonautes



Sujet : Une bouée dérivante pour étudier le Gulf Stream

Problématique : *Quels sont les paramètres à l'origine de la mise en mouvement d'un courant de surface tel que le Gulf Stream ?*

Résumé :

Après de longues discussions et de nombreuses recherches, le choix du sujet d'étude s'est finalement porté sur l'étude d'un courant marin : le Gulf Stream.

Le projet développé en collaboration avec le CNES, a pour but de concevoir, de construire et d'expérimenter en situation réelle une bouée océanique expérimentale de mesures. Cette bouée expérimentale dotée de capteurs que nous avons réalisée est complétée par un module d'émission ARGOS, permettant la localisation de la bouée et la récupération des données mesurées par les capteurs. Les paramètres étudiés seront la température, la luminosité et la salinité, à différentes profondeurs sous la bouée, afin de mettre en évidence l'influence de ces paramètres sur les mouvements de ce courant.

La bouée sera mise à l'eau lors d'une mission océanographique ou par des navigateurs au niveau du départ de la branche du Gulf Stream, nommée "Dérive Nord Atlantique" et nous interpréterons les données recueillies ultérieurement.

Elèves : CHESSON Eloïse

GARNIER Paul

KUKIELZYNSKI Etienne

LANCELIN Jean-Michel

ROUFFAY Chloé

Professeurs encadrant :

LEFEVRE Yoann (physique-chimie)

OLIVEIRA Valérie (SVT)

JULIAN Sébastien (STI)



Olympiades de physique 2010/2011



SOMMAIRE

I. L'HISTOIRE DU PROJET	6
1) Les débuts de l'atelier scientifique au lycée	6
2) Les premières séances de TP	7
3) Le choix de la problématique	7
4) La fin de l'année scolaire 2009/2010	8
5) La rentrée 2010	9
II. LE COURANT MARIN ETUDIÉ : LE GULF STREAM	11
1) Mécanismes des courants marins	11
a) La température des océans	11
b) Le vent comme moteur	12
c) La différence de densité des eaux salées	13
2) Expériences réalisées	14
a) Quelle est l'influence de la température ?	15
b) Quelle est l'influence de la salinité ?	16
3) Le Gulf Stream	18
a) Son histoire	18
b) Géographie et circulation	20
c) A quoi sert le Gulf Stream ?	21
d) Et s'il n'était plus là ?	23
III. MISE EN PLACE DES CAPTEURS POUR ETUDIÉ LE COURANT	24
1) Choix des composants électroniques	24
2) Montage électronique associé aux capteurs résistifs	26
3) L'étanchéité des capteurs	28
4) Étalonnage des capteurs	29
a) Étalonnage de la thermistance	29
b) Étalonnage de la photorésistance	31
c) Étalonnage du conductimètre	32
5) Résolution et précision du système	33

IV. CONSTRUCTION DES DIFFERENTS ELEMENTS DE LA BOUEE	36
1) Composition général d'un mouillage dérivant	36
2) Structure de la bouée	37
3) Ancre dérivante et système de mouillage	39
4) Lest	39
V. LE SYSTEME ARGOS ET LE BOITIER HERA	40
1) Notre partenaire principal : le CNES	40
2) Le système ARGOS et la liaison satellite	40
a) Histoire et évolution	40
b) Fonctionnement	41
3) Le boitier HERA	43
PERSPECTIVES	45
SITOGRAFIE ET PARTENAIRES	46

I. L'HISTOIRE DU PROJET

1) Les débuts de l'atelier scientifique au lycée

Un jour de la rentrée 2009, ou peut-être une nuit, certains professeurs fous du lycée Geoffroy Saint Hilaire d'Etampes se lancèrent dans le projet diabolique de détruire les courants océaniques dans l'espoir d'entraîner l'humanité à sa perte. Pour ce faire ils devaient disposer d'une main-d'œuvre locale abondante et bon marché : les élèves.

C'est alors qu'ils firent passer dans les classes la nouvelle de la création du de l'atelier scientifique "Les Argonautes". Sous couvert de ce club de sciences, ils réussirent à recruter une dizaine d'élèves tous complices de l'horrible forfait qui se tramait alors... Ils étaient au départ treize à avoir rejoints les professeurs dans leur sombre dessein, treize élèves (8 de seconde ; 2 de 1^{ère} S et un de T^{le} S) qui se prénommaient ainsi : Baptiste M, David R, Paul G, Quentin T, Romain D, Alexis A, Elodie G, Benjamin G, Etienne K, Eloïse C et Baptiste L.

Le cercle ainsi formé réussit à se réunir malgré des horaires communs inexistantes et finit par trouver le temps nécessaire à ces réunions. Mais cela pris du temps et le projet ne put pleinement débuter qu'en octobre/novembre de cette même année 2009.

Le chaos issu de la formation récente de cette organisation fut dépassé et nous fûmes en mesure de commencer les préparatifs de ce qui allait rester comme la plus machiavélique aventure de toute l'histoire que nous connaissons.

2) Les première séances de TP

L'expérience nécessaire à la préparation de notre œuvre était la suivante : créer une bouée/sonde capable d'étudier les courants marins pour mieux appréhender la façon dont nous pourrions les détruire. Pour ce faire, nous organisâmes plusieurs séances de préparation qui consistaient à acquérir un certain nombre de connaissances théoriques et pratiques utiles sur ces courants, mais aussi sur les notions d'électricité dont nous aurions besoin lors de la construction de la bouée. Après cinq ou six séances de TP de physique, de chimie et de SVT encadrées par les professeurs, une période de réflexion s'ensuivit sur les objectifs que devrait accomplir notre bouée.

Ce questionnement nous amena à définir la problématique qui nous servirait de guide.

3) Le choix de la problématique

C'est au second trimestre 2009, lors de plusieurs séances que nous avons effectué un véritable brainstorming général sur les courants marins, amassant un certain nombre d'idées toutes plus intéressantes les unes que les autres, mais parfois irréalistes, et que nous nous sommes posés les questions relatives à leurs fonctionnements, leurs effets et la façon dont ils sont mis en mouvement.

Ces séances de réflexion déterminèrent notamment le choix du Gulf Stream pour modèle (celui-ci étant un courant proche et donc accessible) et amenèrent à différentes propositions de problématiques. Fallait-il étudier les caractéristiques de celui-ci ? Connaître son rôle dans la détermination des

climats, son influence sur eux ? Quels effets entrainerait une disparition ou une atténuation de ces courants marins ? De nombreuses questions se posèrent ainsi à notre groupe, et les objets d'étude ne manquaient pas sur ce sujet. Des films comme *Une Vérité qui dérange* d'Al Gore nous inspirèrent et nous guidèrent dans notre réflexion.

Suite à ce cheminement intellectuel intense, nous finîmes par poser la question de l'origine des courants, qui était évidemment à la base de toute chose. Ce faisant notre problématique se précisait et finit par se définir comme suit : **« Quels sont les paramètres à l'origine de la mise en mouvement de courants de surface tels que le Gulf Stream ? »**

Cette problématique, associée aux connaissances déjà acquises sur les courants marins nous amenèrent à considérer la nécessité d'équiper la bouée de capteurs. Mais quels paramètres devait-elle mesurer ? Lesquels était-il nécessaire de connaître ? Comment les mesurerions-nous ?

Le problème était posé, il ne manquait désormais plus qu'à le résoudre.

4) [La fin de l'année scolaire 2009/2010](#)

Après cela, nous prîmes la décision d'entamer le travail et nous commençâmes la sélection des capteurs. L'année avançant, il était impératif d'établir le schéma général de la bouée et de commencer la construction de certains éléments. Les associations et organismes qui nous soutenaient depuis le départ de notre programme, dont le plus important d'entre eux était le CNES, nous firent parvenir la coque externe de la bouée, premier matériel important que nous aurions à utiliser. Pour avoir le droit de recevoir le boîtier HERA qui

permettrait la transmission satellite, nous devrions encore attendre le mois de mai 2010. En effet, afin de faire reconnaître notre groupe, nous participâmes à un colloque organisé par le CNES et l'IFREMER à l'aquarium de La Rochelle réunissant des groupes tentant ou ayant précédemment tenté l'aventure, et qui venaient de toute la France présenter leur projets et leur expérience. Nous fûmes ainsi évalués par des membres du CNES sur l'organisation du projet et sur son développement. Notre projet étant finalement qualifié par le CNES, il nous donna alors le reste du matériel nécessaire : le boîtier HERA, boîtier électronique d'envoi des données par satellite. Cet événement intéressant nous permis également de réviser certains points relatifs à la fonction et la construction de la bouée et nous fit entrevoir de nouvelles possibilités.

Mais nous en étions alors presque à la fin de l'année scolaire, et la main d'œuvre d'élèves ne pourrait bientôt plus continuer le développement de la bouée dérivante. Il fut donc décidé de remettre à l'année suivante les étapes de la construction la bouée, cette année 2009/2010 ayant surtout contribué à définir le rôle de celle-ci, à accumuler des connaissances utiles sur le milieu étudié et à former les élèves participant à ce projet.

La première année de l'atelier scientifique s'arrêta donc dans ces conditions, mais personne n'avait alors oublié les sombres pensées qui avait été à l'origine de sa création...

5) La rentrée 2010

L'année scolaire 2010/2011 arrivant, les élèves se préparèrent à reprendre leur place dans l'organisation. Mais nombres d'entres eux manquèrent à l'appel,

victimes d'un passage en classe supérieure ou tout simplement par remords à l'idée de détruire l'humanité. Notre groupe était désormais réduit à cinq élèves, dont deux nouvelles recrues (deux élèves de 1^{ère} S).

Les recherches préliminaires à la mise au point de la bouée étant terminées depuis la fin de l'année dernière, il ne manquait plus qu'à tester les capteurs en conditions et à commencer l'assemblage de la bouée. Notre bouée fût d'ailleurs baptisée du nom de Poséidon, dieu des mers et des océans.

Dans les premières semaines, après quelques ajustements, nous réalisâmes des modèles pour les capteurs et la bouée, dans l'optique de tester les solutions précédemment retenues. Certaines des idées que nous avons eues furent éliminées. Ce fut le cas par exemple pour celle de remplir de mousse expansée l'intérieur de la bouée afin de prévenir les fuites éventuelles : échec de l'essai sur une bouée-maquette.

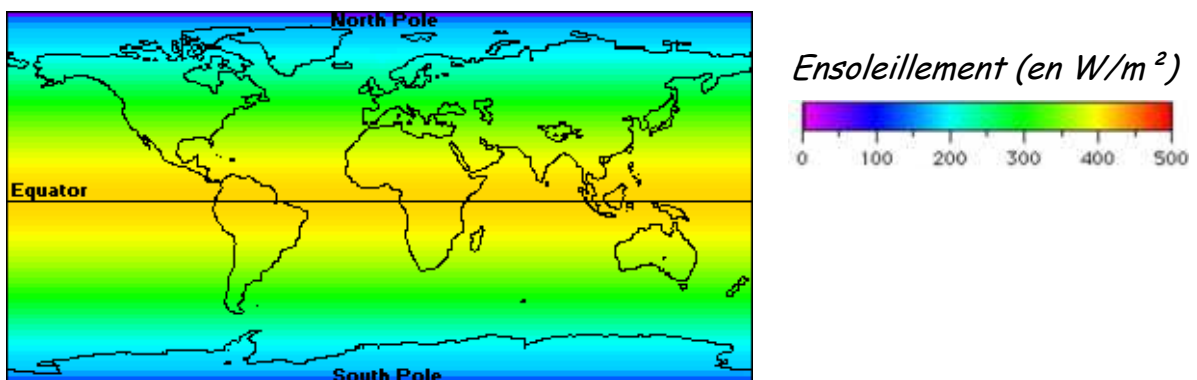
II. LE COURANT MARIN ETUDIE : LE GULF STREAM

Notre objectif est de larguer une bouée munie de capteurs au large des côtes de Terre Neuve dans l'Atlantique afin qu'elle dérive en remontant vers le Nord. Nous pouvons nous demander de quelle façon notre bouée Poséidon va dériver et quels sont les paramètres qui expliquent le déplacement de ces masses d'eau qui vont entraîner la bouée.

1) Mécanismes des courants marins

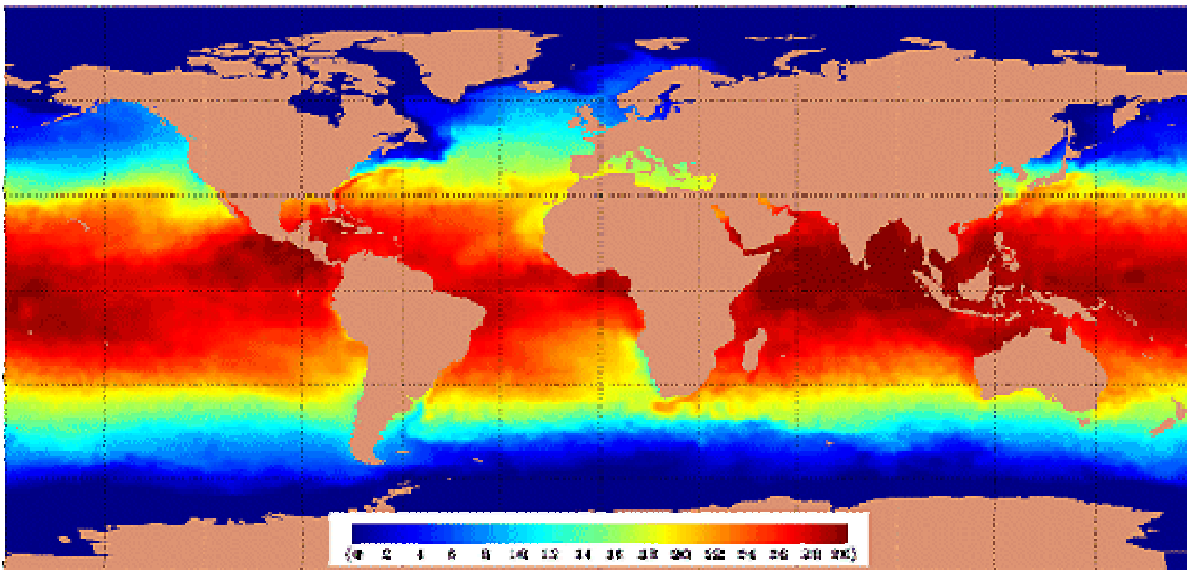
a) La température des océans

La Terre reçoit de façon inégale l'énergie solaire : elle n'est pas la même selon que l'on se trouve au pôle ou à l'équateur. La zone intertropicale reçoit ainsi autant d'énergie que le reste de la planète comme le montre la carte mondiale de l'ensoleillement annuel moyen :



De même que l'atmosphère, l'océan a une grande influence sur le climat mondial. En été, lorsque l'ensoleillement est plus important, la surface des

océans se réchauffe. Par l'intermédiaire des vents et du mouvement des vagues, la chaleur est ainsi redistribuée sur une couche d'une quinzaine de mètres. L'océan, qui se réchauffe moins vite que l'air, met néanmoins beaucoup plus de temps à se refroidir. Ainsi, l'océan, dont on peut dire qu'il a une "mémoire" nettement plus importante que l'atmosphère, stocke pendant de longues périodes l'énergie solaire emmagasinée tout au long de l'été. **Les courants océaniques de surface, tels que le Gulf Stream, transportent cette chaleur de l'équateur vers les pôles.** C'est dans les zones de haute latitude, lorsque l'hiver arrive et que les vents sont plus violents, que l'océan se refroidit tout en relâchant sa chaleur. Ce déséquilibre met en mouvement l'atmosphère et les océans qui vont rééquilibrer thermiquement l'ensemble.



Carte de la température moyenne annuelle de surface des océans (en C°)

b) Le vent comme moteur

Les vents sont les facteurs principaux des courants de surface. Ils sont régis par une alternance de basses et de hautes pressions selon la latitude, de sorte

que les moyennes latitudes sont les régions des vents d'Ouest et que l'équateur est le siège des vents d'est (les Alizés).

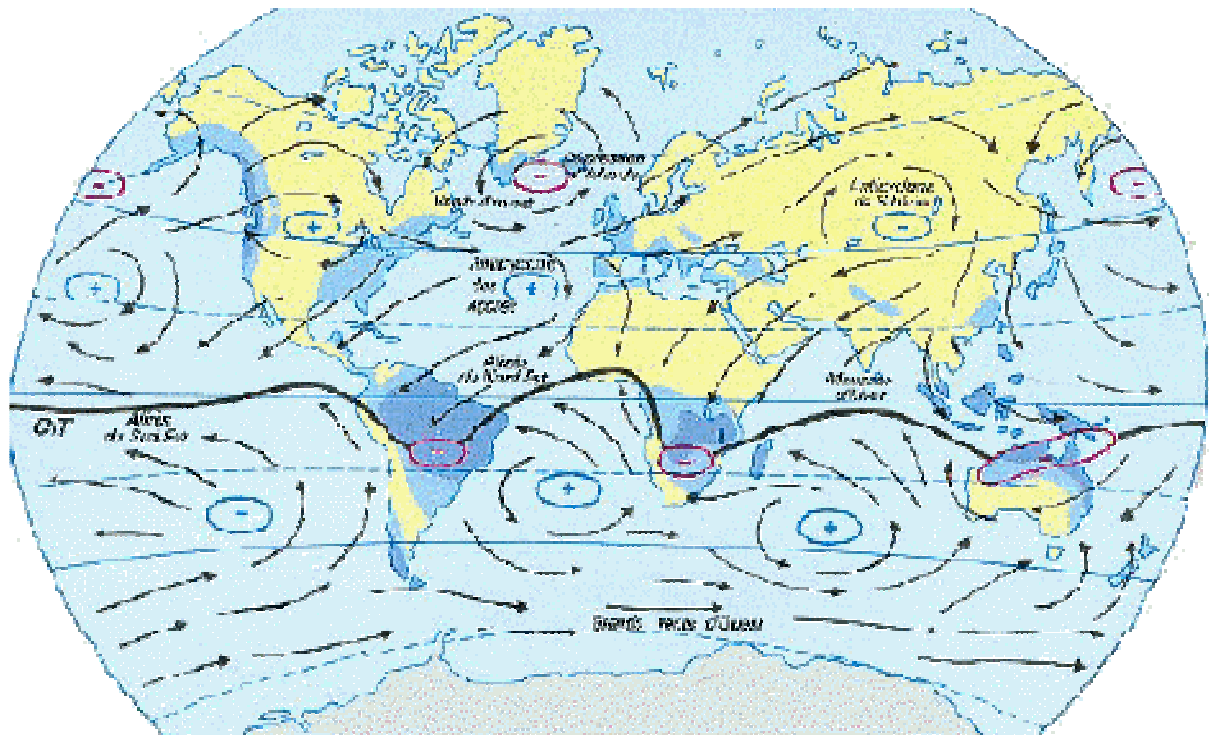


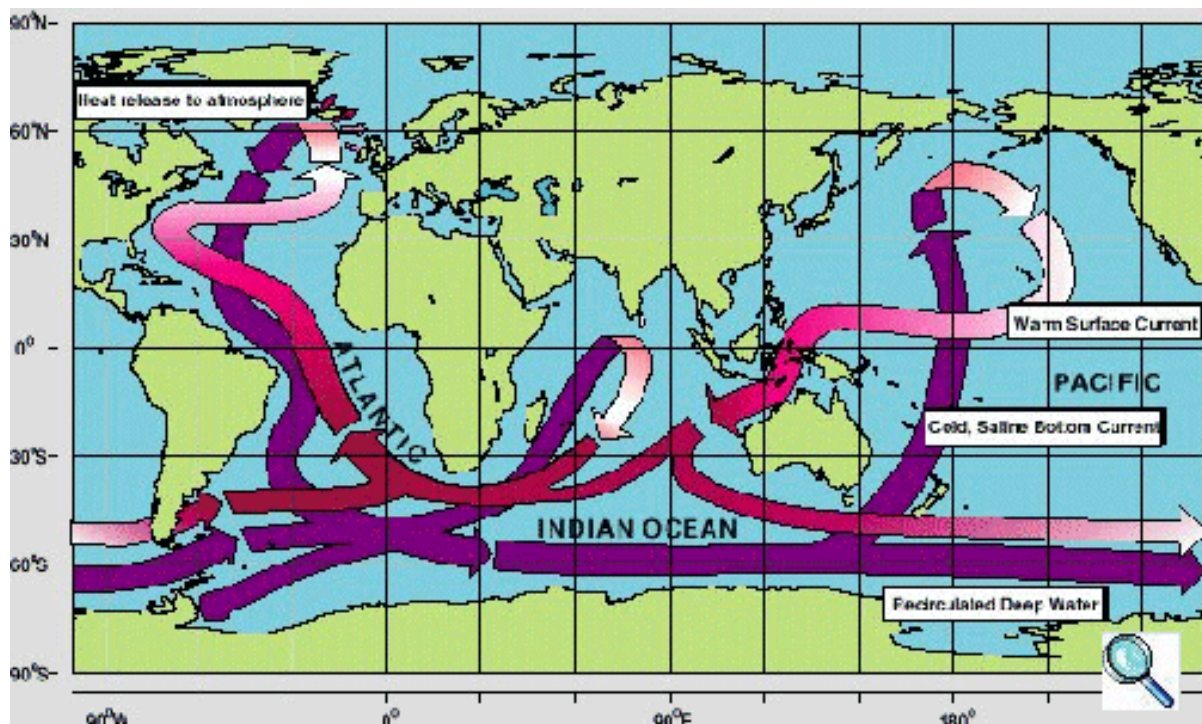
Schéma de la circulation atmosphérique au niveau de la mer
("+" montrent les régions de haute pression et les "-" celles de basse pression.)

Les vents réussissent à mettre en mouvement des masses d'eau jusqu'à 800 mètres de profondeur. La surface de l'eau peut être animée de bosses et de creux, de ce fait notre bouée Poséidon sera soumise à des chutes pouvant atteindre 10 mètres de hauteur. Elle doit donc pouvoir y résister.

c) La différence de densité des eaux salées

Les vents n'ayant plus d'influence après 800 m de profondeur, ils ne peuvent être les moteurs des circulations océaniques profondes. Ces courants sont basés sur des différences de température et de salinité entre les différents

océans. C'est la circulation thermohaline. Les eaux chaudes de surface se chargent en sel, à cause de l'évaporation, ce qui tend à les rendre plus denses. En hiver, lors de la formation de glace de mer, le sel reste préférentiellement dans l'eau résiduelle. L'eau des océans est alors plus chargée en sel donc plus dense, permettant la plongée des eaux vers les profondeurs. L'eau des pôles retourne en profondeur vers l'équateur : ce sont les circulations profondes.



Carte de la circulation thermohaline dans les océans du monde

2) Expériences réalisées

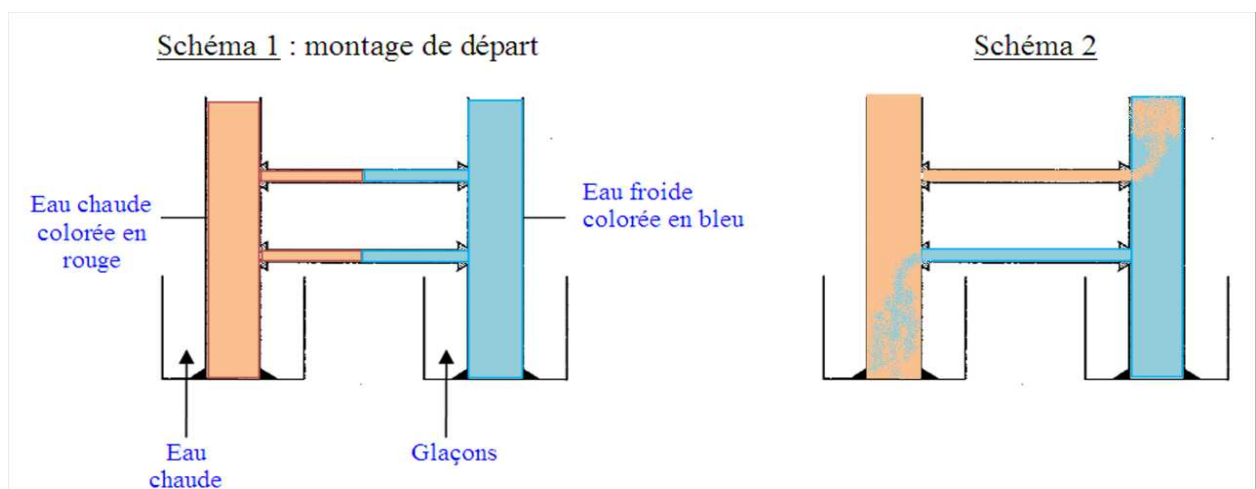
Afin de comprendre les explications données précédemment, nous avons réalisé quelques expériences.

a) Quelle est l'influence de la température ?

Hypothèse 1 : La température de l'eau joue un rôle dans le déplacement des masses océaniques.

Conséquence vérifiable 1 : Si l'hypothèse est juste alors on doit observer un déplacement des eaux selon un gradient thermique.

On réalise l'expérience suivante afin de vérifier cette hypothèse :



Explication de l'expérience 1 : L'eau chaude, colorée en rouge, se déplace en empruntant le tube supérieur donc s'étale sur l'eau froide colorée en bleue et la pousse vers le bas du tube. L'eau froide se déplace en empruntant le tube inférieur et passe sous l'eau chaude. En arrivant dans le compartiment chaud, l'eau froide est réchauffée progressivement et remonte lentement vers le haut du tube, chassée par l'eau froide qui arrive par le tube inférieur.

Le témoin réalisé à température homogène mais avec deux colorants différents dans chaque compartiment montre une absence de déplacement des eaux, ce qui met en évidence que les mouvements des eaux observés sont bien dus à un gradient thermique.

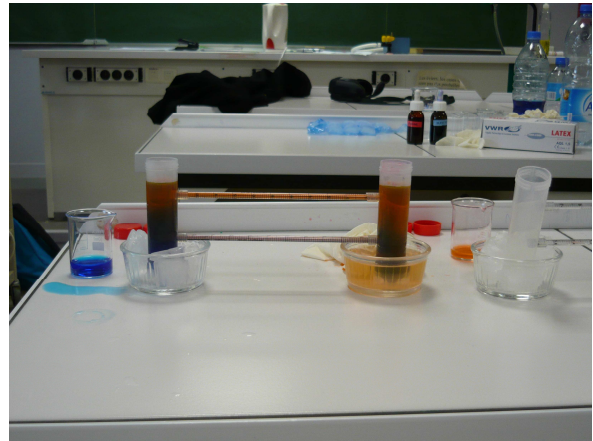
La pesée des eaux et le calcul de leur densité montre également que la différence de température engendre finalement une différence de densité de l'eau.

Conclusion 1 : L'eau chaude est moins dense que l'eau froide ; cette différence de densité provoque une circulation de l'eau.

Photos de notre propre expérience :



L'eau chaude, moins dense coloré en rouge se déplace et pousse l'eau froide vers le bas.



Vue générale du montage

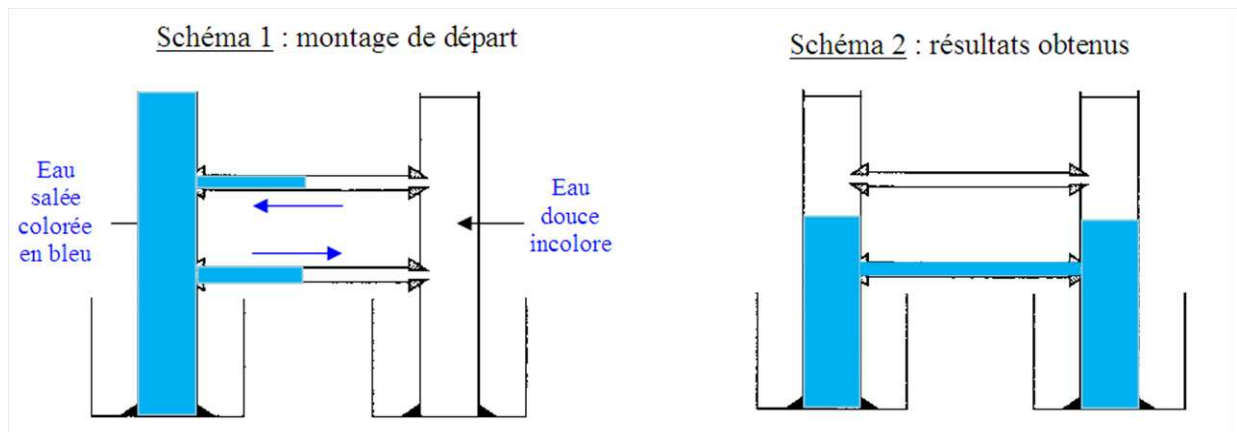
En ce qui concerne le Gulf Stream, l'eau chaude équatoriale se dirige vers les pôles en surface et l'eau froide polaire se dirige en profondeur vers l'équateur.

b) Quelle est l'influence de la salinité ?

Hypothèse 2 : La salinité de l'eau joue un rôle dans le déplacement des masses océaniques.

Conséquence vérifiable 2 : Si l'hypothèse est juste alors on doit observer un déplacement des eaux selon un gradient de salinité.

On réalise l'expérience suivante :



Explication de l'expérience 2 : L'eau salée colorée se déplace vers le côté contenant l'eau douce par le tube du bas, alors que l'eau douce se déplace vers le côté salé par le tube du haut. Ainsi l'eau douce se retrouve en surface des deux tubes et l'eau salée au fond. On en conclut que l'eau douce est moins dense que l'eau salée.

Un témoin avec de l'eau salée de même concentration mais de couleurs différentes dans chaque compartiment montre une absence de circulation de l'eau, donc la circulation observée est bien liée à la différence de salinité.

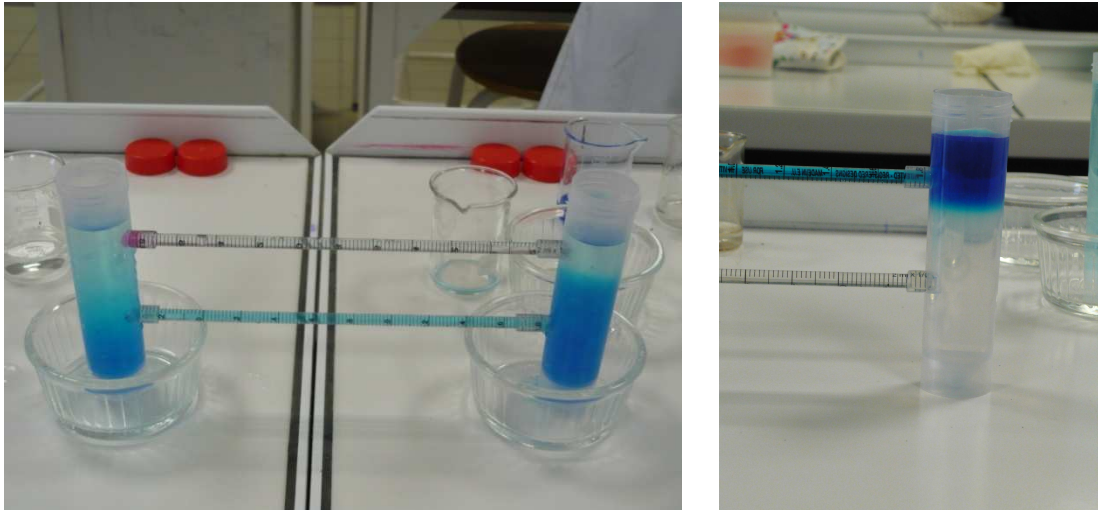
La pesée des eaux salée et douce montre que la différence de salinité engendre finalement une différence de densité.

Conclusion 2 : L'eau douce est moins dense que l'eau salée ; cette différence de densité provoque la circulation de l'eau.

En ce qui concerne le Gulf Stream, la prise de glace en mer provoque une augmentation de la salinité, donc de la densité, des eaux océaniques autour de la glace de mer. De ce fait, au pôle, les températures très froides provoquent la formation de glace en hiver. Cette glace n'est pas salée, donc plus il y a de

glace, plus l'eau de l'océan autour de la glace de mer devient salée. L'eau qui arrive au pôle, à partir de l'équateur, va donc se refroidir et être de plus en plus salée donc de plus en plus dense, ce qui permet sa plongée.

Photos de notre propre expérience (même si l'eau non salée n'était pas exactement incolore) :



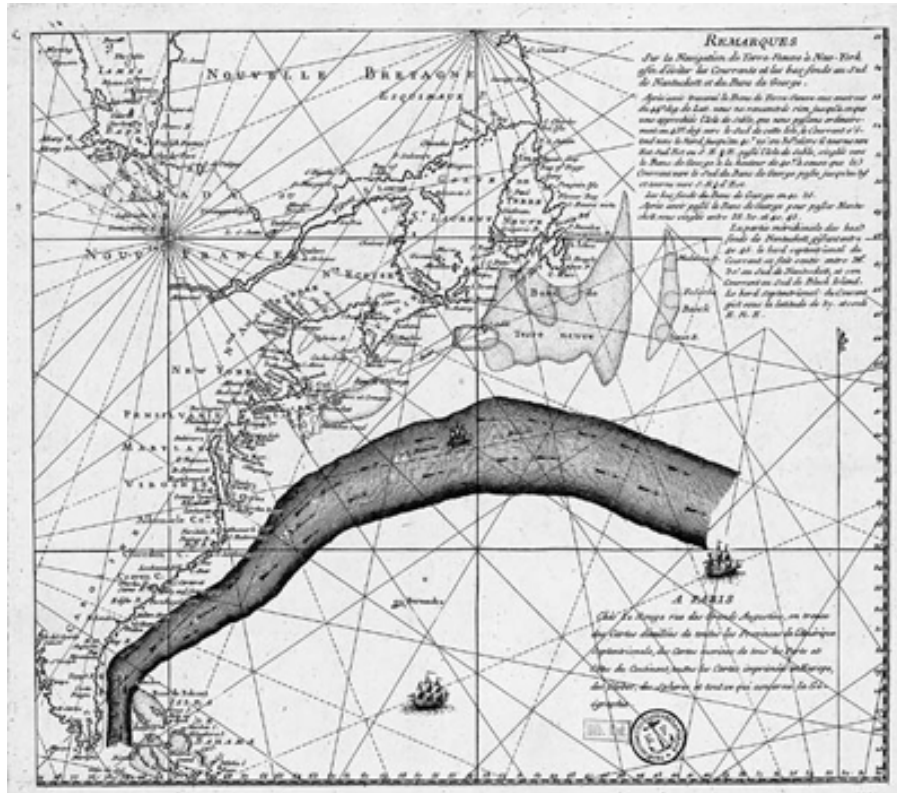
L'eau salée coloré se déplace par le tube du bas.

3) Le Gulf Stream

a) Son histoire

En 1513, le navigateur espagnol Ponce de León remarqua qu'au large de la Floride ses vaisseaux étaient constamment emportés par un courant marin d'eau chaude venant de la mer des Antilles. Il ne savait pas encore qu'il venait, sans le vouloir, de découvrir un des courants marins permanents les plus importants : le Gulf Stream. Sa découverte resta sans suite pendant plus de deux cent cinquante ans et ce n'est qu'après les travaux de Benjamin Franklin,

consistant en une série de prises de températures à travers l'océan, délimitant ainsi les limites du courant, que l'existence du Gulf Stream fut reconnue. Il établit par la suite une carte hydrographique de ce courant afin d'indiquer aux marins le moyen de s'en servir au cours de leur navigation.



Carte sur la navigation de Terre Neuve à New York représentant le Gulf Stream - Dessinée au XVIII^{ème} siècle

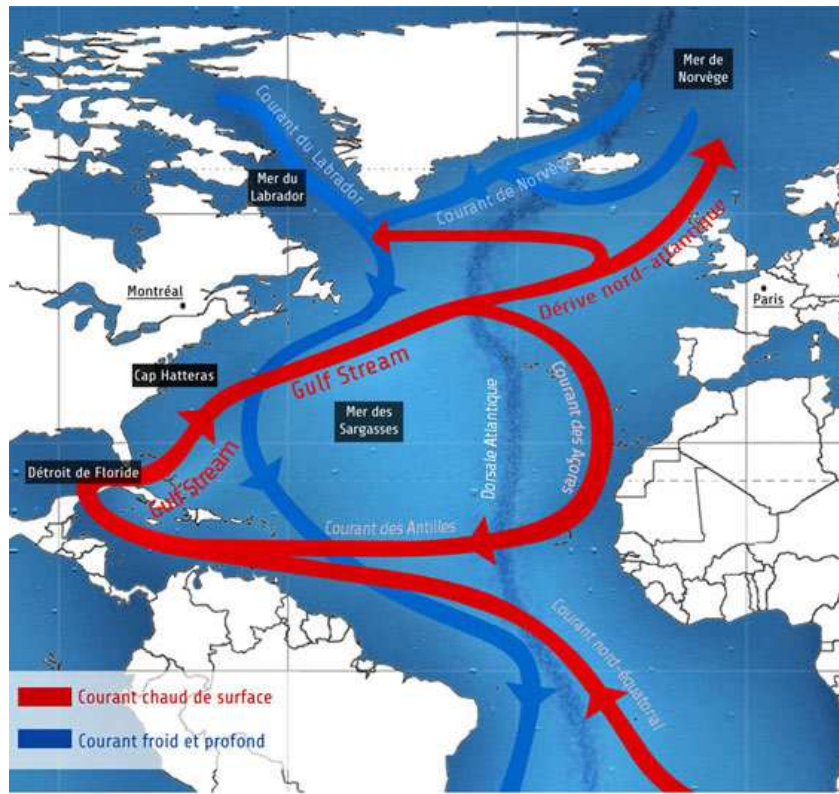
Aujourd'hui l'existence du Gulf Stream a été prouvée et est étudiée par de nombreux scientifiques. Une multitude d'hypothèses ont ainsi été formulées à son sujet. Il est donc pertinent de se demander comment ce phénomène océanique se met en place, fonctionne, influence le climat et de quelle façon il risque d'évoluer au cours des prochaines années.

b) Géographie et circulation

Le Gulf Stream naît sur la côte est des Etats-Unis d'Amérique, au large de la Floride, puis une des branches se dirige vers l'océan atlantique vers le Groenland, l'Islande et l'Europe. On connaît ses dimensions : de 80 à 150 km de large et de 650 à 1200 mètres de profondeur.

Le Gulf Stream est issu de la jonction de deux courants : d'une part le courant nord-équatorial, venu des côtes africaines ; d'autre part le courant des Caraïbes, qui trouve son origine dans l'Atlantique Sud et contourne les Antilles par le golfe du Mexique. Les forts vents équatoriaux mettent en mouvement les eaux de la région des Caraïbes. Etant donné qu'il y fait chaud et qu'il n'y pleut pas beaucoup, ces eaux sont chaudes et très salées. Ces masses d'eau chaude et salée deviennent un large courant qui prend la direction de l'Atlantique Nord. Malgré le fait que son eau soit très salée, ce courant reste en surface car il est aussi très chaud. Le Gulf Stream traverse ensuite l'Atlantique, et réchauffe sur son passage les côtés de l'Europe de l'Ouest qu'il contourne pour remonter vers le Nord. Arrivées dans l'Atlantique Nord, ses eaux commencent à se refroidir. Et donc, pour une température égale, elles sont beaucoup plus salées que les eaux environnantes. Elles plongent donc vers le fond de l'océan.

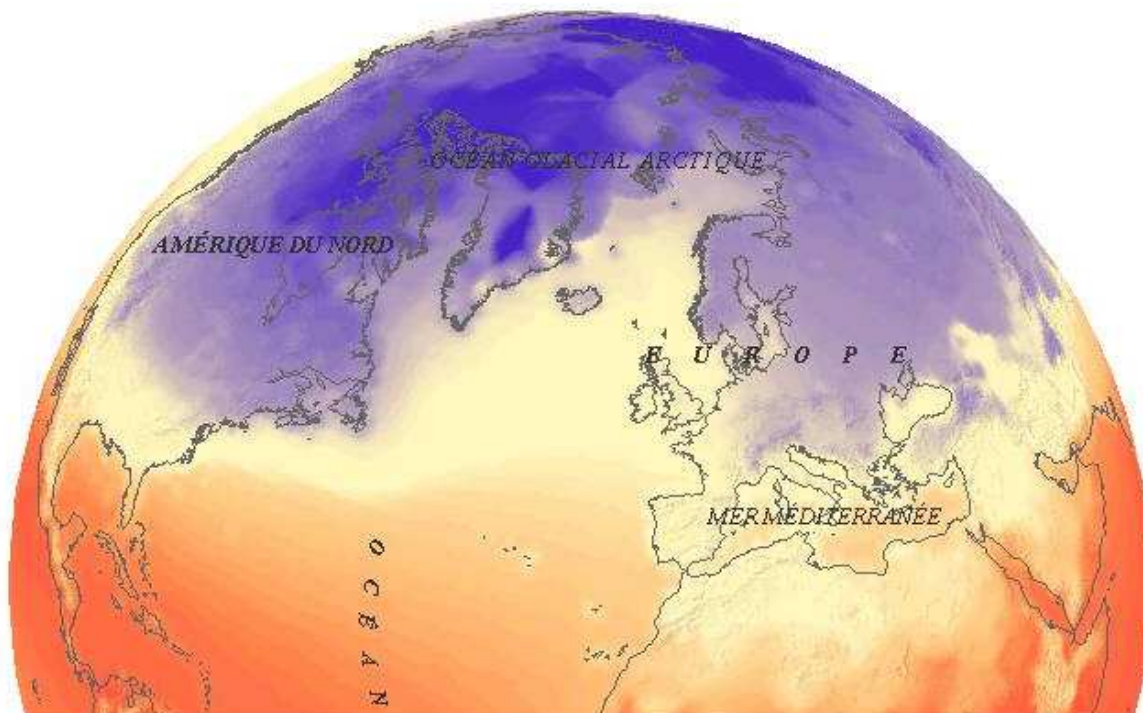
Nous nous intéresserons à la partie Nord du Gulf Stream.



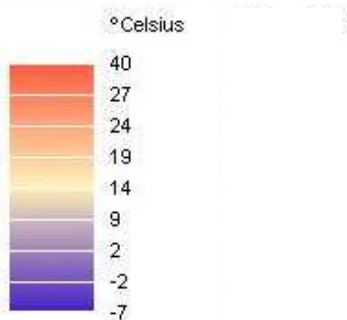
Parcours du Gulf Stream dans l'Océan Atlantique

c) A quoi sert le Gulf Stream ?

Le Gulf Stream constitue une source de chaleur jouant un rôle essentiel sur le climat doux et agréable de l'Europe. Par le biais de la "dérive nord atlantique", le courant océanique venant des zones tropicales du Mexique, réchauffe la façade nord-ouest de l'Europe. En effet, sans le Gulf Stream, l'Europe de l'Ouest connaîtrait le même climat que le Canada ; un climat à la fois continental et polaire. La carte suivante montre d'une façon indiscutable l'influence du Gulf Stream sur les côtes Européennes.



Températures moyennes



Carte des températures atmosphériques au mois de janvier

On constate, comme précédemment, une grande différence entre l'Europe de l'Ouest et le Canada, deux régions pourtant à la même latitude. L'influence du Gulf Stream sur le climat Européen apparaît donc comme important et même indispensable au mode de vie auquel se sont habitués les Français.

d) Et s'il n'était plus là ?

La disparition du Gulf Stream a été envisagée par les scientifiques, qui l'estiment à moins de 200 ans. Il y a eu plusieurs hypothèses de faites sur les conséquences de la disparition de ce courant marin.

Effectivement, la température a augmenté de 0,6 °C en 100 ans, à la surface du globe et la fonte des glaciers provoque l'augmentation du niveau de l'océan. Cette fonte des glaciers est à l'origine d'un apport d'eau douce sur cette région. Si jamais cet apport venait à être trop important, alors la circulation thermohaline ne pourrait plus se faire et le Gulf Stream pourrait disparaître. En effet, un important apport d'eau douce diminuerait les différences de densité de l'eau entre l'océan arctique et la mer de Norvège. Le lieu de plongée des eaux froides et salées se retrouverait au niveau des Açores et le Gulf Stream se replierait sur lui-même n'allant plus au-delà des Açores.

Pour certain, les courants de l'Atlantique nord pourraient avoir perdu 30 % de leur force d'ici 2100, permettant des hivers plus froids au nord de l'Europe qui ne masqueraient toutefois pas le réchauffement en cours en Europe.

III. MISE EN PLACE DES CAPTEURS POUR ETUDIER LE COURANT

1) Choix des composants électroniques

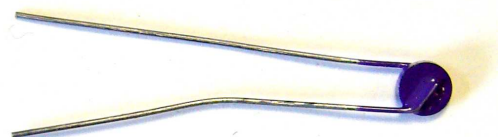
Dans le but d'étudier la circulation thermohaline, nous avons décidé d'intégrer des capteurs de salinité et de températures. Etant donné que nous sommes dans le cas d'un courant profond nous avons placé ces capteurs à différentes profondeurs. De plus, il a été rajouté un capteur de lumière afin de savoir si nous sommes le jour ou la nuit. Pour des conditions pratiques, un capteur d'humidité va aussi être installé à l'intérieur de la bouée afin d'être persuader de son étanchéité.

Définition d'un capteur : il permet de prélever une information de type analogique dans la nature ou autre puis de le traduire dans le langage voulu dans le but d'une étude.

Les capteurs de température utilisés:

Nous utilisons des thermistances car ce sont des capteurs simples d'utilisation et peu chers. Ce sont en fait de simples conducteurs ohmiques dont la valeur de la résistance varie en fonction de la température. Pour les CTN (Coefficient Température Négatif) utilisées, lorsque la température augmente, la valeur de la résistance diminue.

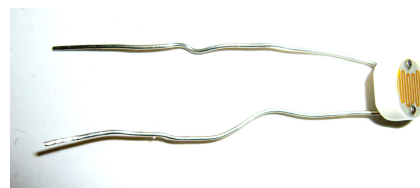
La CTN utilisée



Les capteurs de luminosité utilisés:

Nous utilisons aussi des photorésistances car ce sont également des capteurs simples d'utilisation qui fonctionnent sur le même principe que les thermistances. Ces conducteurs ohmiques voient la valeur de leur résistance varier en fonction de l'intensité lumineuse. Lorsque l'intensité lumineuse augmente la valeur de la résistance diminue.

La photorésistance utilisée



Le capteur de salinité utilisé :

Le capteur que nous utilisons pour mesurer la salinité est un simple conductimètre. En effet, lors de nos recherches pour trouver un moyen de mesurer la salinité de l'eau de mer, nous avons trouvé que l'eau de mer est principalement constituée d'eau et de sel, soit des ions chlorure et sodium. Les autres ions et éléments potentiellement présents étant de façon général négligeables au vu de leur quantité.

Ce point éclairci, nous avons dû rechercher l'appareil à utiliser pour mesurer cette concentration massique en sel. Le conductimètre idéal se devait d'être résistant à l'eau de mer et aux agressions de l'environnement. De plus, notre montage disposait d'une source d'énergie délivrant un courant continu, et donc inutilisable pour la sonde de conductimètre (à cause de l'électrolyse résultant d'une tension constante aux bornes du conductimètre). Une sonde à chlorure intéressante fut commandée à une entreprise des Etats-Unis, mais devant les délais trop long à son acquisition, elle fut finalement abandonnée. Nous avons pris du retard...

Au final, et après les conseils de personnes avisées, nous avons appris que les sondes conductimétriques utilisées au lycée de la marque HEITO pouvaient être utilisées puisque celles-ci étaient alimentées par un courant alternatif via le boîtier du conductimètre. Une sortie analogique 0 - 5 V étant d'ailleurs déjà présente sur le boîtier, il ne restait plus qu'à relier via un étalonnage cette tension de sortie à la conductance de différentes solutions d'eau salée.

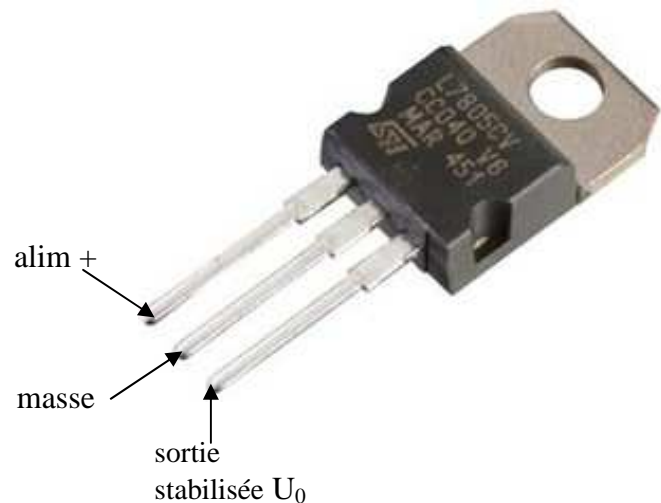
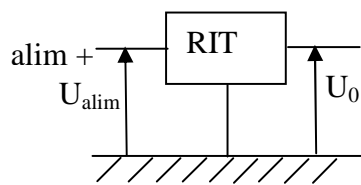


La sonde conductimétrique utilisée

2) Montage électronique associé aux capteurs résistifs

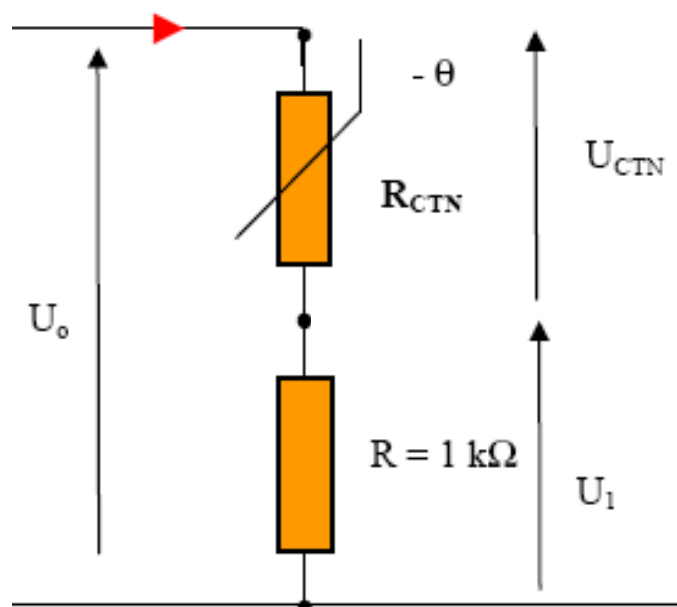
L'alimentation de notre système devant être autonome, on utilise donc des piles en série (6x1,5V). Cependant, la tension aux bornes de ces piles peut varier au fur et à mesure du temps ce qui est ennuyeux car si cette tension change, toutes les tensions aux bornes des résistances changent (d'après la loi d'associativité des tensions). C'est pour cela que l'on intègre dans le circuit, un R.I.T. (Régulateur Intégré de Tension) qui nous permet d'avoir une tension constante à la sortie de la batterie toujours égale à $U_0 = 5,0 \text{ V}$.

Photo d'un RIT et branchement:

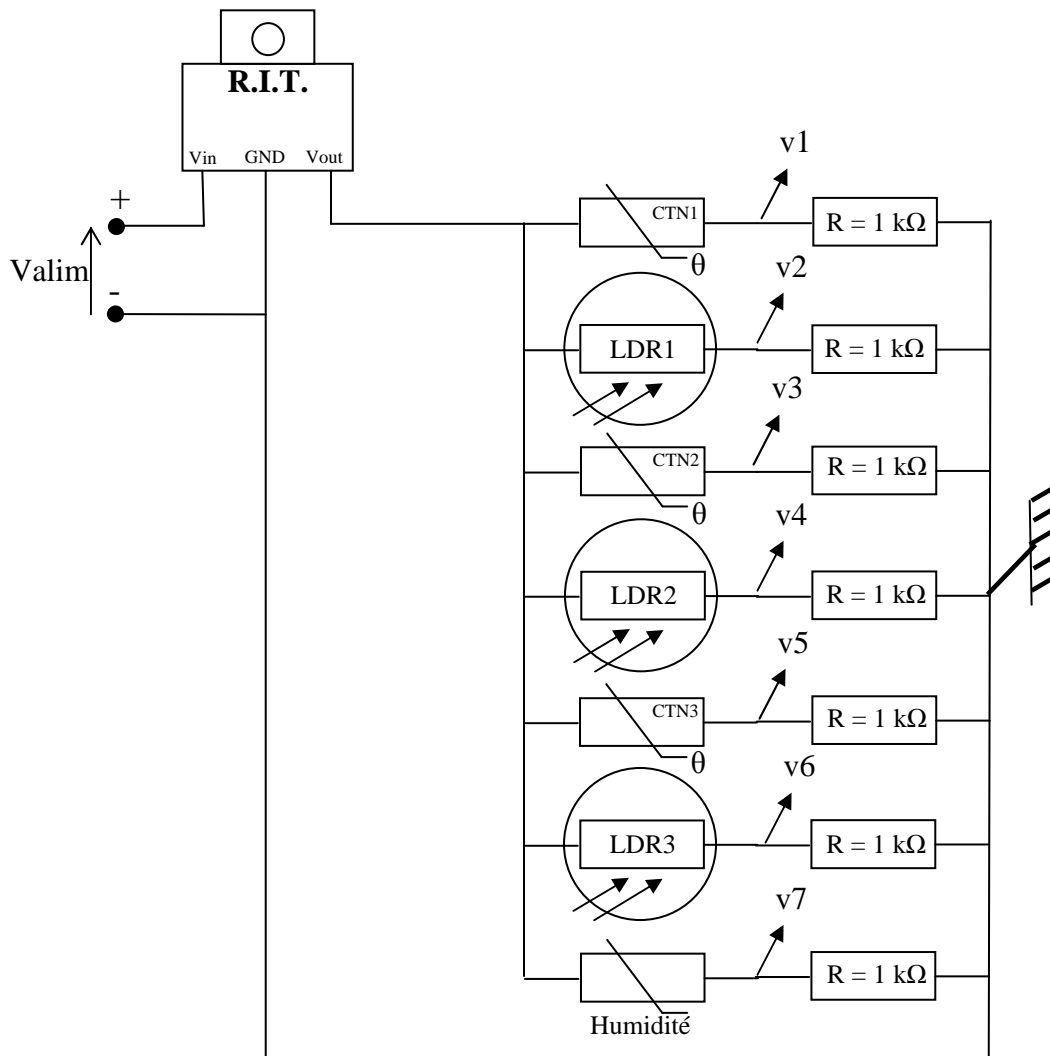


A la sortie du RIT, il suffit de brancher en série notre capteur résistif et un conducteur ohmique de résistance $R = 1 \text{ k}\Omega$.

Par exemple, pour le cas de la thermistance, U_0 étant constant, R_{CTN} variant avec la température, $U_1 = U_0 - U_{CTN}$ devra varier également avec la température (mais dans la sens inverse). C'est cette tension aux bornes de la résistance fixe qui sera envoyée sur le boîtier HERA fin d'être codée puis transmise par satellite.



Voici le schéma global du montage des capteurs résistifs. Les 7 capteurs reliés au RIT et les 7 liaisons vers les 7 premières voies d'acquisition du boîtier HERA. La 8ème voie étant celle de la tension issue du conductimètre.

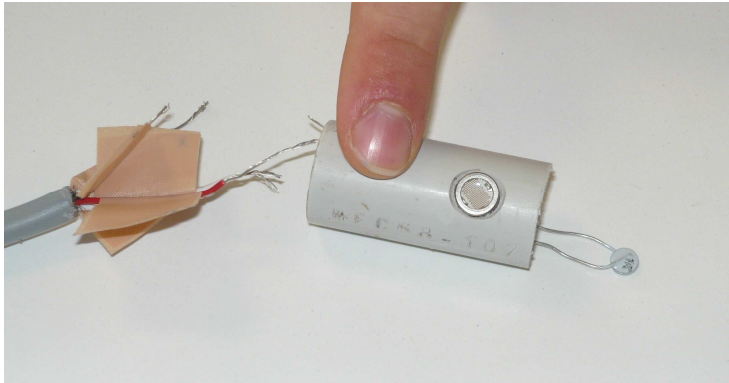


LDR = Light Dependante Resistor (ou photorésistance)

3) L'étanchéité des capteurs

L'eau étant conductrice, les branches métalliques de chaque capteur ne doivent pas être en contact direct de l'eau.

Pour rendre étanche le dispositif de capteurs, nous les avons introduits dans des bouts de tubes en PVC de diamètre 10 mm puis nous avons mis un bouchon de chaque côté du tube (sur un des bouchons, nous avons fait un trou pour passer le fil électrique relié à la bouée) puis nous avons noyé l'ensemble dans la colle marine pour éviter les infiltrations.



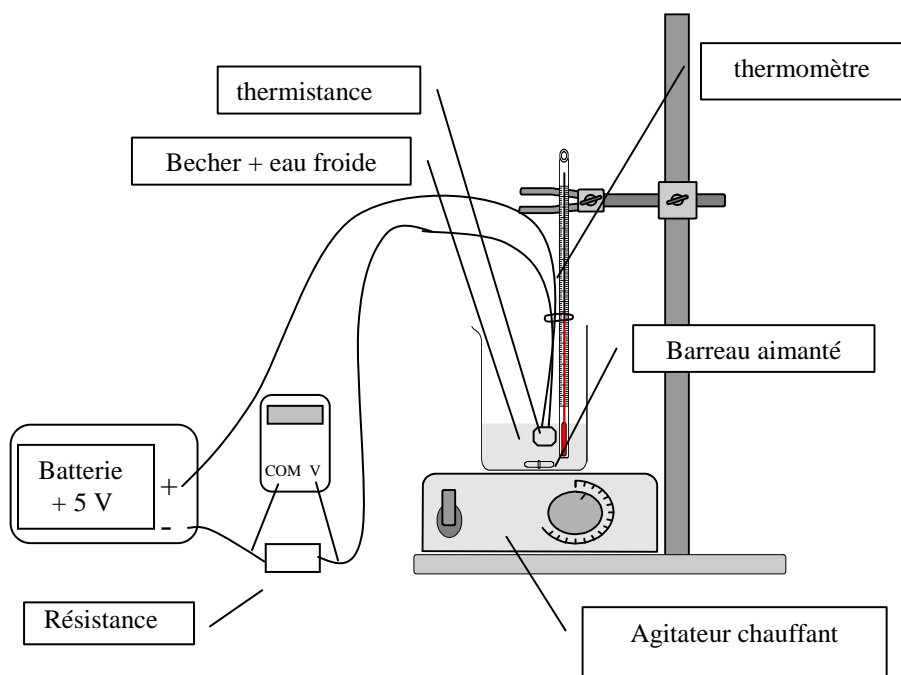
Début de l'assemblage des 2 capteurs sur un bout de tube PVC

Ce dispositif, installé à 2 m, 10 m et 20 m de profondeur, a été finalement retenu après de nombreux essais de différentes colles et systèmes d'assemblage infructueux.

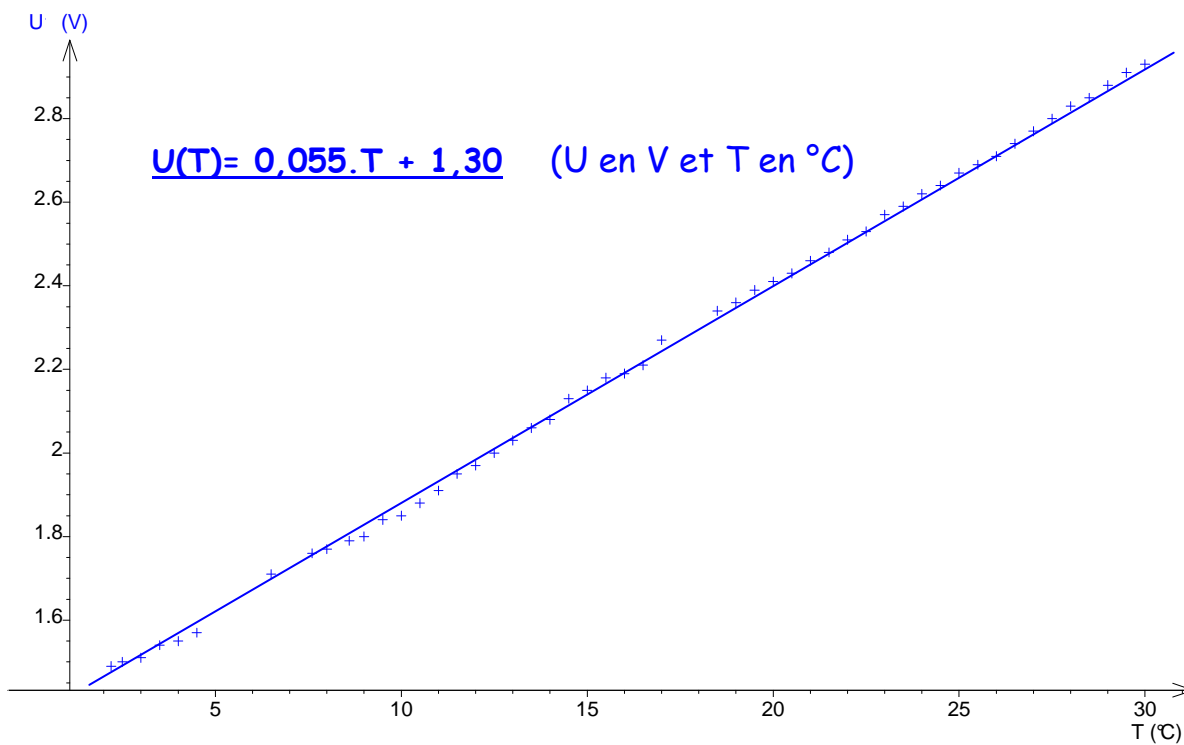
4) Étalonnage des capteurs

a) Étalonnage de la thermistance

Nous avons réalisé le montage ci dessous dans le but d'étalonner notre capteur de température. Nous avons étalonner le capteur suivant une plage de température allant de 2 à 30 °C car elle recouvre ainsi les températures que nous pouvons trouver en conditions réelles le long du Gulf Stream.



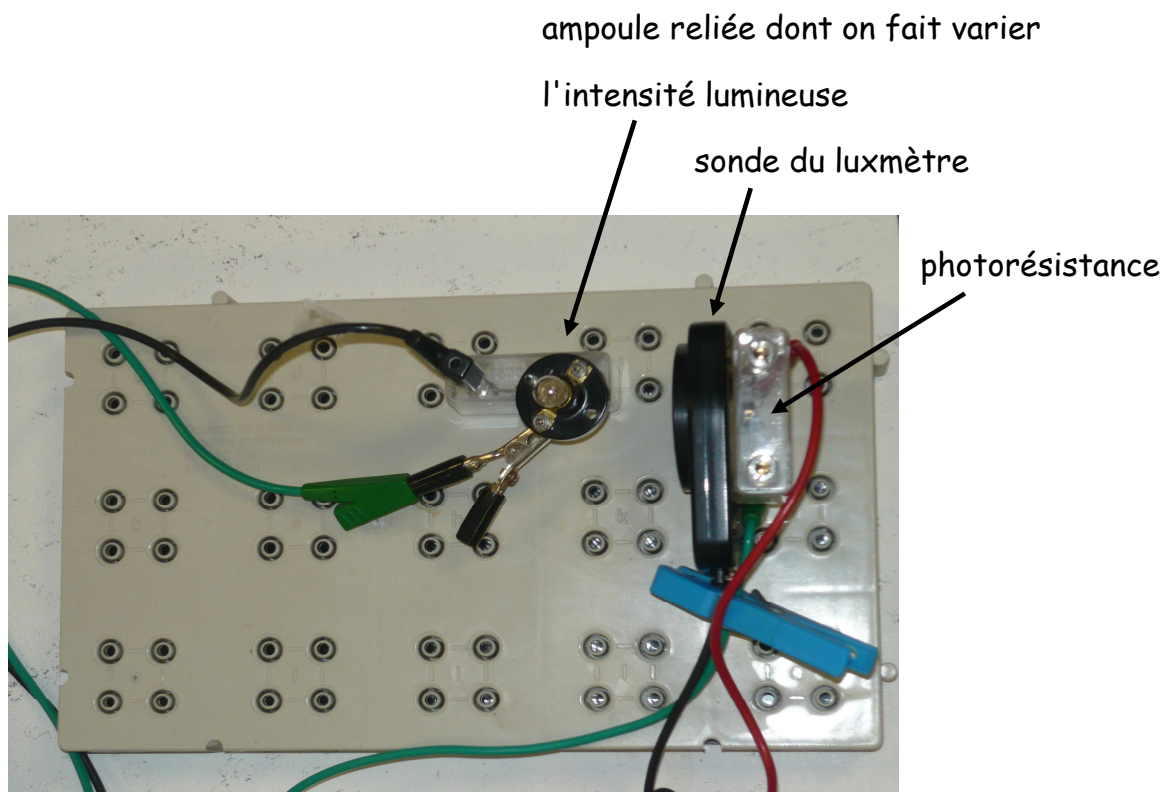
Voici les résultats obtenus, sous forme graphique, avec l'équation reliant la tension U aux bornes de la résistance fixe en fonction de la température T :



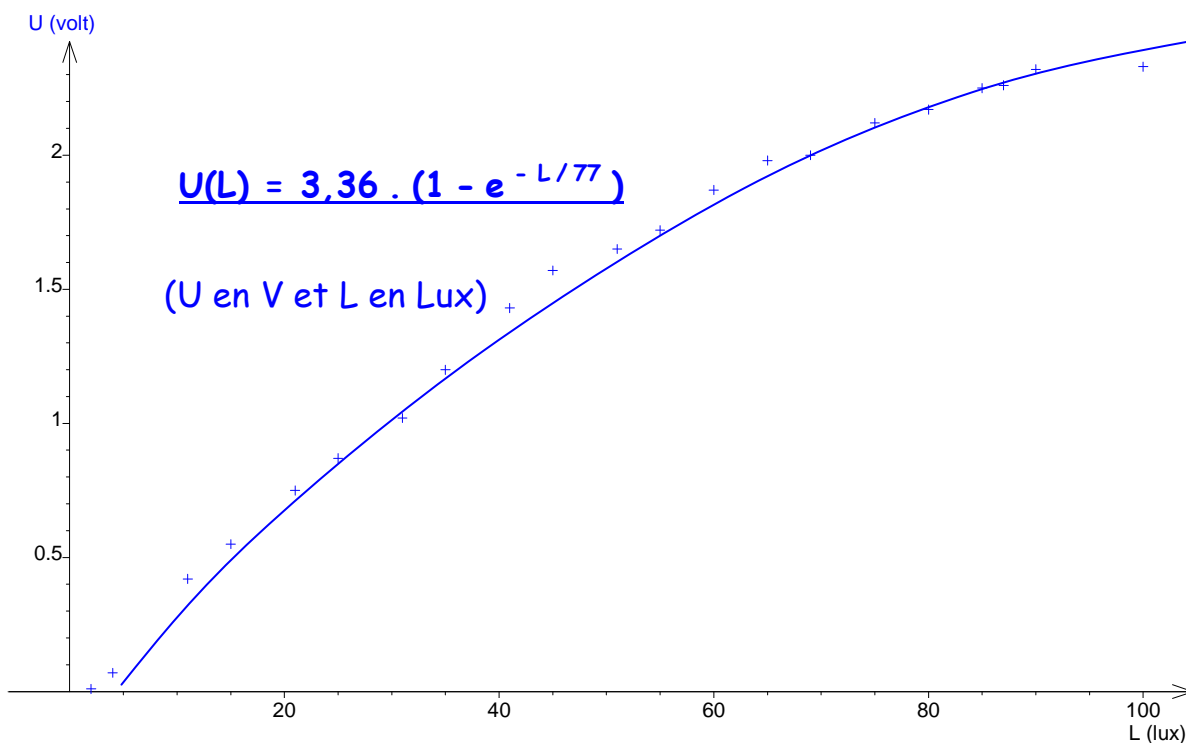
La tension étant mesurée aux bornes de la résistance fixe, nous obtenons une fonction croissante de la température.

b) Etalonnage de la photorésistance

Nous avons réalisé le montage ci dessous dans le but d'étalonner notre capteur de luminosité. Nous avons étalonner le capteur suivant une plage de luminosité allant de 0 à 100 Lux car elle recouvre ainsi les valeurs que nous pouvons trouver en conditions réelles le long du Gulf Stream. Voici une photo du montage réalisé :



Voici les résultats obtenus, sous forme graphique, avec l'équation reliant la tension U aux bornes de la résistance fixe en fonction de l'éclairement L :

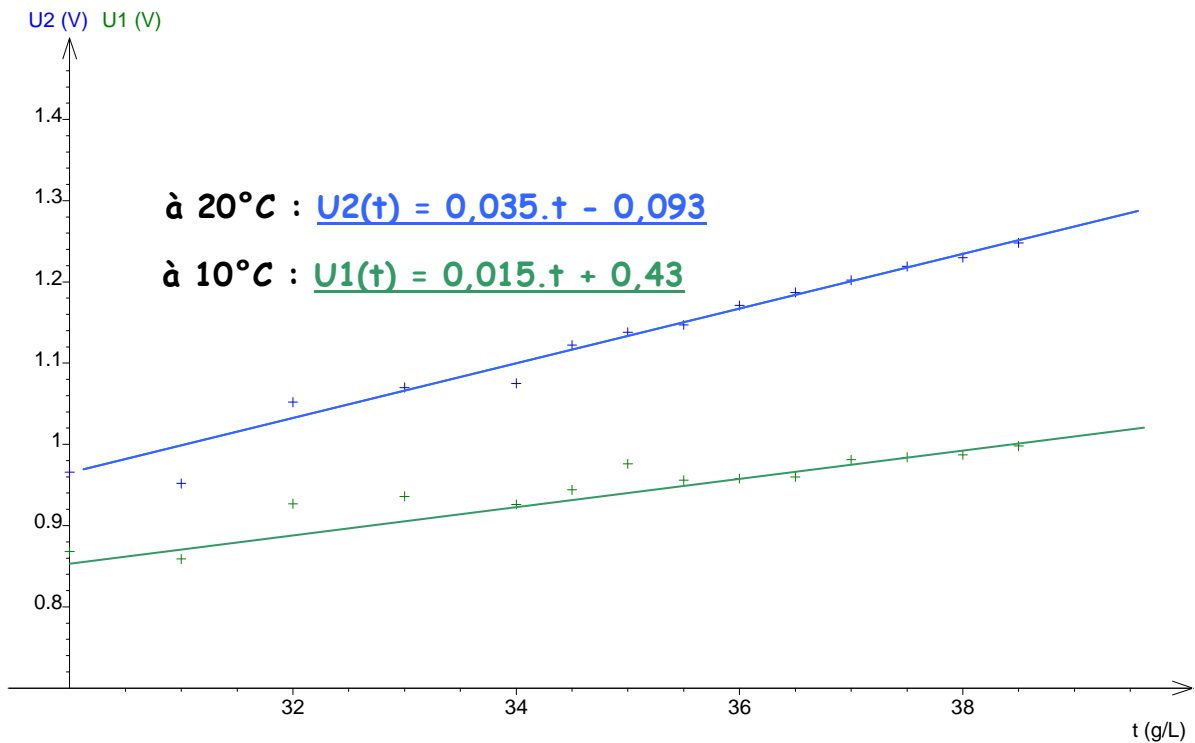


c) Étalonnage du conductimètre

Le boîtier du conductimètre possédant une sortie analogique variant de 0 à 5V en fonction de la conductivité de la solution, nous avons réalisé l'étalonnage de celui-ci à l'aide d'une solution de chlorure de sodium (Na^+ , Cl^-) suivant une plage de concentration massique allant de 30 g/L à 39 g/L car elle recouvre ainsi les concentrations que nous pouvons trouver en conditions réelles le long du Gulf Stream. Il a également fallu régler au préalable la constante de cellule grâce à une solution de chlorure de potassium (solution d'étalonnage pour un conductimètre fourni par le fabricant).

La conductivité dépendant de la température, nous avons effectué les mesures à deux températures différentes : une à 10 °C où la tension mesurée est U_1 et une à 20 °C où la tension mesurée est U_2 . Voici les résultats obtenus, sous forme

graphique, avec l'équation reliant la tension U à la sortie du boîtier du conductimètre fixe en fonction du titre massique t (en g/L) de la solution :

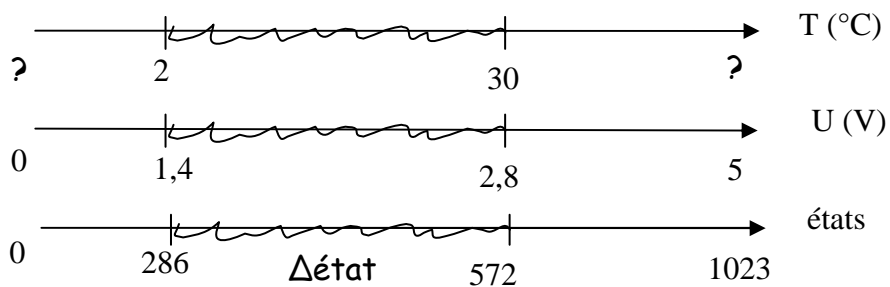


5) Résolution et précision du système

La résolution est la variation minimale que notre système de capteurs peut détecter. Elle est d'environ 5 mV d'après la fiche constructeur HERA. En effet, le boîtier permet des mesures de tension entre 0 et 5 V et la tension mesurée sera codée en binaire sur 10 bits (donc de 0 à 1023 états différents) puis envoyée via le satellite. La résolution est donc de $5 / 2^{10} = 5 / 1024 = 0,0048$ V soit environ 5 mV. Une variation de tension inférieure à $\Delta U = 5$ mV ne pourra donc pas être transmise.

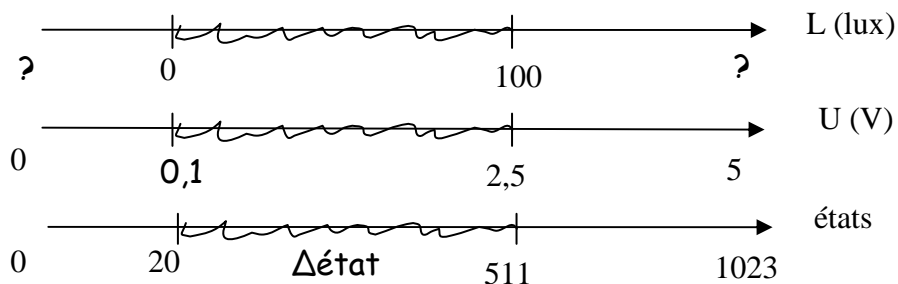
Déterminons les résolutions de chaque capteur :

- pour la thermistance : $\Delta T = 28 \text{ }^\circ\text{C}$ (température qui varie de 2 à 30 $^\circ\text{C}$) et on a les correspondances suivantes :



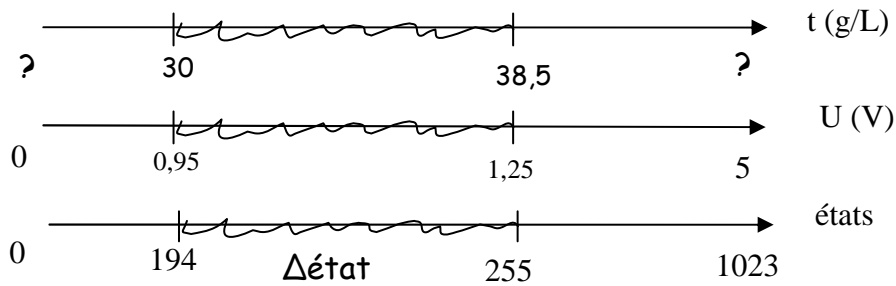
On a donc une résolution $\Delta T / \Delta \text{état} = 28 / 286 = 0,1 \text{ }^\circ\text{C}/\text{état}$. **Une variation de température inférieure à 0,1 $^\circ\text{C}$ ne pourra donc pas être transmise.** Cela est amplement suffisant pour notre étude.

- pour la photorésistance : $\Delta L = 100 \text{ lux}$ et on a les correspondances suivantes :



On a donc une résolution $\Delta L / \Delta \text{état} = 100 / 491 = 0,2 \text{ lux}/\text{état}$. **Une variation de l'éclairement inférieure à 0,2 lux ne pourra donc pas être transmise.** Cela est amplement suffisant pour notre étude puisque nous cherchons à faire des mesures relatives à différentes profondeurs et à observer l'alternance jour/nuit.

- pour le conductimètre : $\Delta t = 8,5 \text{ g/L}$ et on a les correspondances suivantes :



On a donc une résolution $\Delta t / \Delta \text{état} = 8,5 / 61 = 0,14 \text{ g/L/état}$. **Une variation de la concentration inférieure à 0,14 g/L ne pourra donc pas être transmise.** Cela peut paraître un peu juste mais cela nous suffira dans la mesure où l'évolution de la salinité ne se fait jamais de manière brutale le long du Gulf Stream.

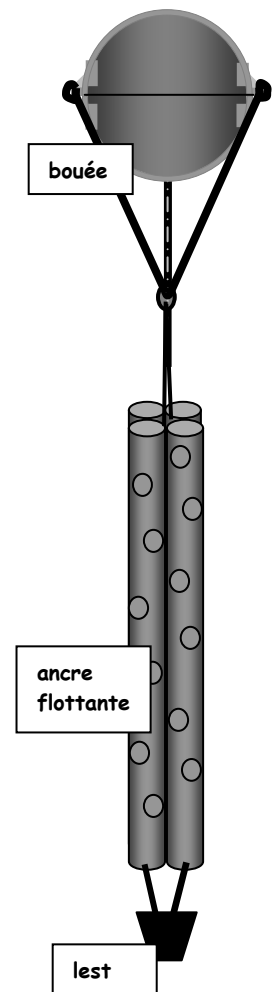
La précision de nos capteurs dépend surtout de la qualité de notre étalonnage et de la référence qui a servi d'étalon (le thermomètre par exemple). Même s'il est certain que nous ne pourrions mesurer des valeurs très précises, ce qui nous importe est d'observer la différence entre les valeurs relevées à différentes profondeurs et surtout à différents endroits du Gulf Stream.

IV. CONSTRUCTION DES DIFFERENTS ELEMENTS DE LA BOUEE

1) Composition général d'un mouillage dérivant

Ce type de mouillage est utilisé pour suivre la dérive d'une masse d'eau au niveau de la surface et jusqu'à 1000 mètres de profondeur. Dans notre cas, nous nous restreindrons à la profondeur maximale de 30 m pour des raisons de fiabilité avec les matériaux abordables pour notre projet.

L'élément qui focalise toutes les attentions, la **bouée** proprement dite ou le flotteur en forme de sphère, contient les équipements qui nous permettront de réaliser des expériences en milieu marin. Il nous faut ensuite une structure à très forte traînée appelée **ancre flottante** qui est maintenue immergée à la profondeur choisie : on dit qu'elle est ancrée dans cette masse d'eau. Afin de garder une position relativement stable par rapport à la verticale, permettre des mesures à des profondeurs relativement constantes et suivre les courants en profondeur, il convient de placer un **lest** à la base de l'ancre flottante.

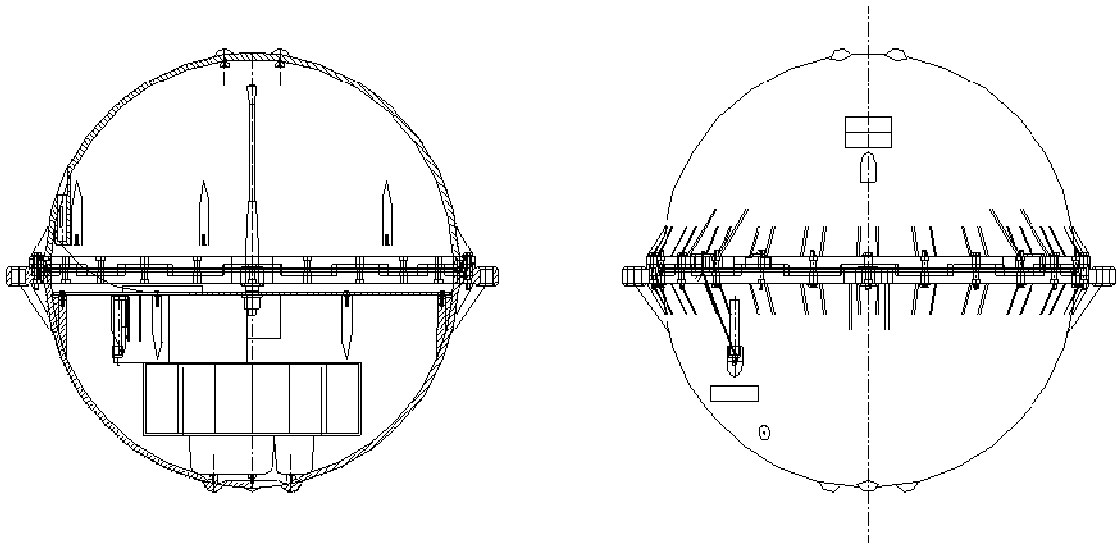


Cependant ainsi équipée, la bouée suit plus ou moins les mouvements verticaux de la surface alors que l'ancre flottante reste pratiquement immobile. Il en résulte une fatigue et une usure des éléments de la ligne de mouillage qui peuvent provoquer sa rupture. Pour diminuer les risques de rupture entre

l'ancre flottante et la bouée, on utilise des cordes issues de la marine qui absorbent les surtensions. S'il y avait rupture entre la bouée et l'ancre flottante, la liaison électrique avec les capteurs en profondeur serait alors coupée et les valeurs de température deviendraient aberrantes.

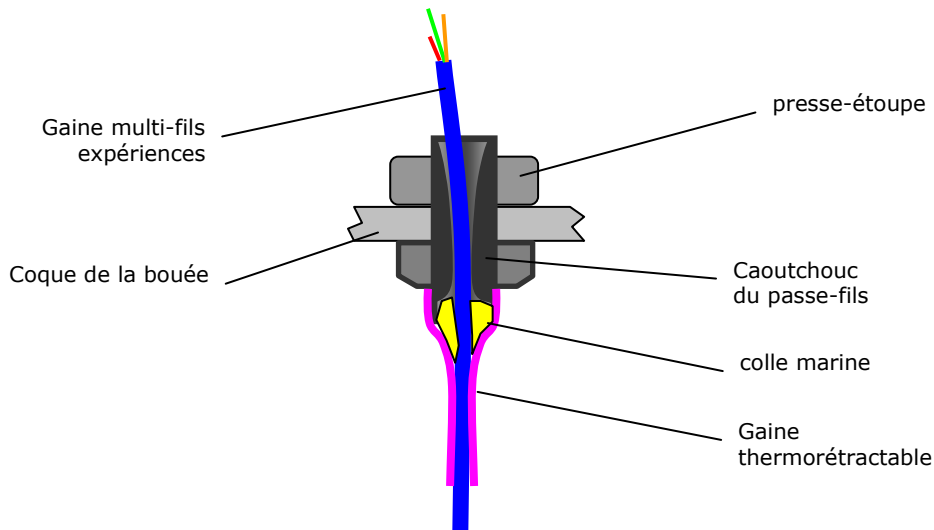
2) Structure de la bouée

Le flotteur se présente sous la forme d'une sphère très robuste d'un diamètre de 40 cm, de volume 33,5 litres, de masse à vide 3,0 kg, elle est réalisée en polypropylène moulé par injection (données du CNES). De couleur grise et de faible signature radar, il est particulièrement discret afin de le protéger d'éventuelles dégradations.

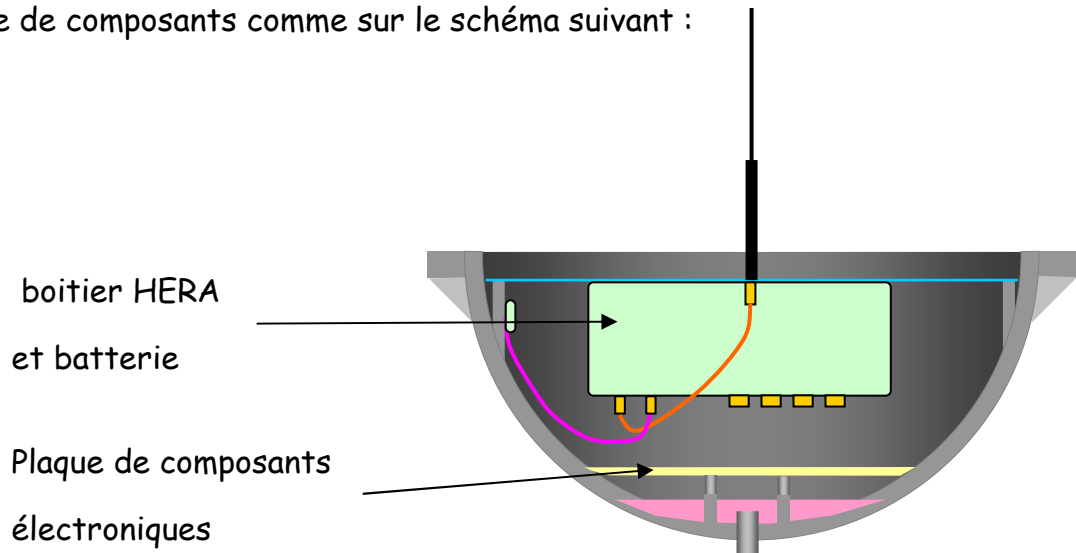


Cette bouée maintenue fermée par des vis et des écrous placés à la périphérie de la bouée ; un joint en caoutchouc garanti l'étanchéité. Néanmoins, en cas d'infiltration de l'eau, nous avons l'idée de mettre un capteur d'humidité dans le bouée de telle manière à être prévenu de la fin prochaine de la bouée...

La zone à risque de la bouée se situe au niveau du passage des câbles électriques assurant la liaison avec les capteurs sous marins. Pour cette partie de la bouée, nous envisageons de mettre un presse-étoupe dans lequel passeront les câbles, le tout sera noyé dans de la colle marine.



A l'intérieur de la bouée, sur la partie inférieure, il y aura le boîtier HERA, fourni par le CNES, la batterie composée de 6 piles modèle R20, l'antenne, la plaque de composants comme sur le schéma suivant :



3) Ancre dérivante et système de mouillage

La bouée est munie d'un système de cordage (plus ou moins élastique) qui a pour but de tenir l'ancre flottante à la bouée tout en fortifiant le système de fermeture de celle-ci.

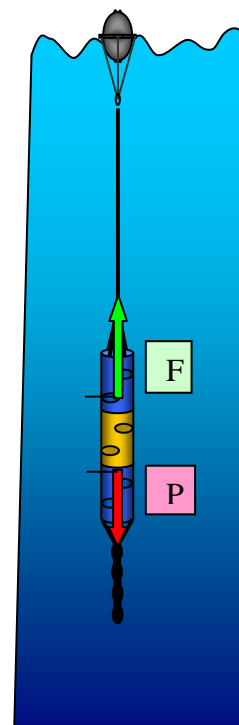
L'ancre flottante se compose de trois tubes en PVC de type gouttière, longs de 4 mètres environ, percée de par en par pour optimiser la prise du courant.



4) Lest

L'ensemble de la bouée est soumis à deux forces opposées comme sur le schéma ci-contre :

A l'équilibre : $P = F$ où P est le poids du système et F la poussée d'Archimède. Le volume de la bouée est de 33,5 litre or nous désirons que la bouée soit à demi immergée donc $V_{\text{immergé}} = 17$ L environ. On estime la masse de l'ensemble du système sans le lest à 16 kg. Néanmoins cette valeur n'est qu'approximative et on pèsera la bouée lorsqu'elle sera entièrement terminée.



$$P = F \Leftrightarrow m_{\text{système}} \cdot g = \rho_{\text{eau}} \cdot V_{\text{immergé}} \cdot g \Leftrightarrow m_{\text{bouée}} + m_{\text{ancre}} + m_{\text{lest}} = \rho_{\text{eau}} \cdot V_{\text{immergé}}$$

$$\Leftrightarrow m_{\text{lest}} = \rho_{\text{eau}} \cdot V_{\text{immergé}} - (m_{\text{bouée}} + m_{\text{ancre}}) = 1,0 \cdot 17 - 16 = 1 \text{ kg.}$$

Il ne faut a priori quasiment pas rajouter de lest.

V. LE SYSTEME ARGOS ET LE BOITIER HERA

1) Notre partenaire principal : le CNES

À travers le monde, des milliers de bouées et de flotteurs sont équipés d'émetteurs Argos, envoyant des informations via le système satellitaire Argos afin d'aider les scientifiques à comprendre et prévoir les changements climatiques. Près de 6 000 bouées de tout type (dérivantes, ancrées, flottantes...) parcourent les océans en recueillant des données transmises via Argos sur les courants, la température, la salinité. Il nous fallait absolument un partenaire pour nous aider à construire notre bouée mais surtout pour nous fournir le matériel nécessaire à l'envoi de données par satellites. Ce matériel est très coûteux et la possibilité d'utiliser une liaison satellite n'a pu se faire que grâce au CNES et à la société TENUM qui nous a fourni le boîtier HERA.

2) Le système ARGOS et la liaison satellite

a) Histoire et évolution

Né en 1978 d'une coopération entre le Centre National d'Etudes Spatiales (CNES), l'Agence américaine d'étude de l'atmosphère et de l'océan (NOAA) et l'Agence spatiale américaine (NASA), il a d'abord été utilisé pour la sécurité en mer, et notamment pour suivre des courses de voiliers ou repérer les naufragés. De nos jours, le système Argos est avant tout destiné à l'étude et à la protection de l'environnement à l'échelle planétaire.

Grâce à une faible consommation électrique et à une miniaturisation très poussée les balises Argos peuvent être fixées sur des oiseaux ou des mammifères et fonctionner ainsi plusieurs mois.

b) Fonctionnement

Les plates-formes Argos émettent automatiquement des messages qui sont reçus par des satellites en orbite polaire basse.

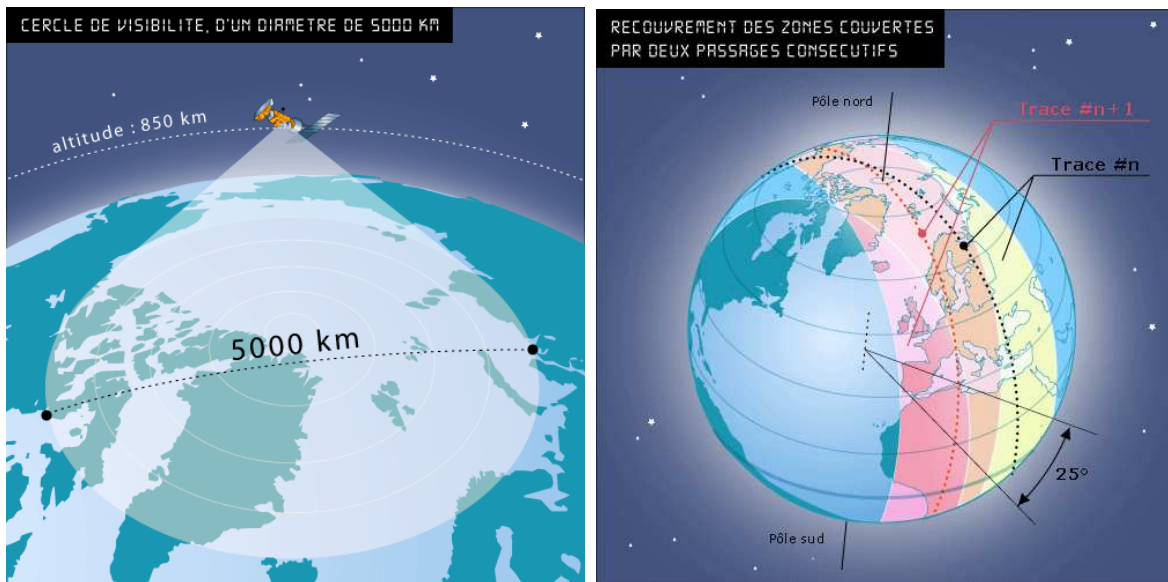
Une plate-forme est un équipement intégrant un émetteur certifié Argos. Une plate-forme émet périodiquement un message caractérisé par :

- la fréquence d'émission ($401.650 \text{ MHz} \pm 30 \text{ kHz}$), qui doit être stable, car le calcul de la localisation est basé sur la mesure de l'effet Doppler : cela se traduit par le changement de fréquence de l'onde électromagnétique lorsque la source et le récepteur sont en mouvement l'un par rapport à l'autre.
- la période de répétition est l'intervalle de temps entre deux envois de message consécutifs. Elle varie de 90 à 200 secondes selon l'utilisation de la plate-forme,
- le numéro d'identification de la plate-forme,
- les données transmises.

La durée de transmission de chaque message est inférieure à une seconde.

Les satellites transfèrent ensuite les messages vers des stations de réception terrestres. Les satellites décrivent une orbite polaire à 850 km d'altitude. La

période d'une orbite est voisine de 100 minutes. Chaque satellite voit simultanément et à tout moment toutes les plates-formes situées à l'intérieur d'un cercle d'un diamètre de 5 000 km. Avec le déplacement du satellite, la trace au sol de ce cercle forme une bande de 5 000 km de large qui s'enroule autour de la Terre en passant par les pôles Nord et Sud.



En raison de la rotation de la Terre, cette bande se décale à chaque révolution du satellite de 25° environ vers l'Ouest, autour de l'axe des pôles.

Près de 50 stations reçoivent les données envoyées par les satellites en temps réel et les retransmettent vers des centres de traitement.



Deux centres de traitement reçoivent les données et les distribuent aux utilisateurs, l'un à Washington aux Etats-Unis et l'autre à Toulouse en France. Ces deux centres traitent la totalité des données reçues. Des calculateurs procèdent alors au calcul des localisations et au traitement des données reçues.

Les utilisateurs Argos, dont fait désormais parti notre groupe des Argonautes, reçoivent alors leurs données directement via un site internet. Les messages Argos reçus sont des séquences binaires (c'est à dire, des suites de 0 et de 1) qui, une fois reçus, sont traités et analysés.

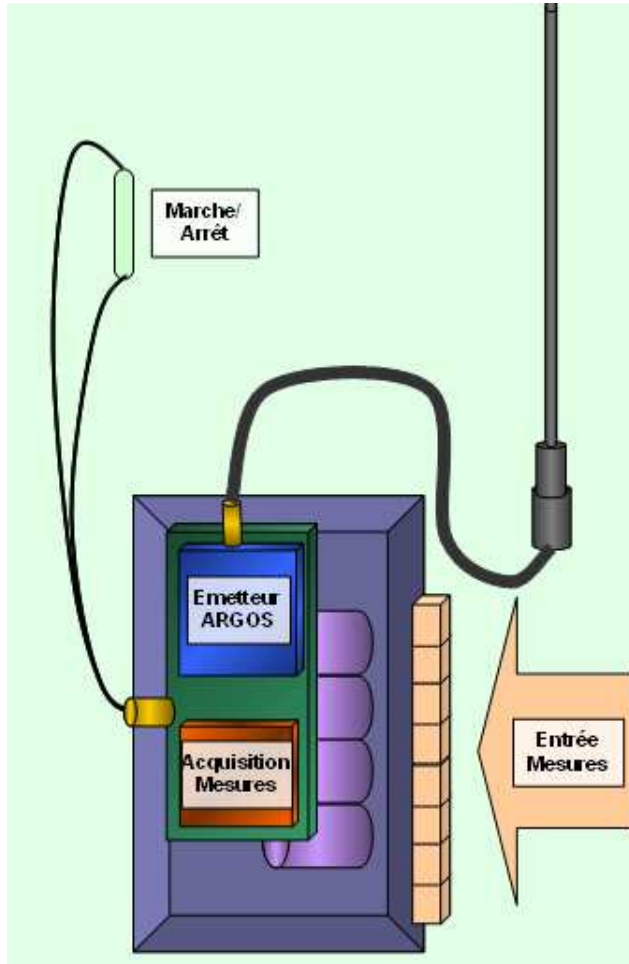
Il est à noter qu'il ne faut pas confondre le GPS et ARGOS. Le GPS est uniquement un système de positionnement tandis qu'ARGOS est un système de localisation et de collecte de donnée par satellites.

3) Le boîtier HERA

C'est la société TENUM qui a réalisé le système de télémétrie Argos intégré dans le boîtier HERA que nous utilisons. Le système est constitué :

- d'un émetteur transmettant toutes les 90 secondes. L'émission se trouve dans la gamme de fréquences de 401.620MHz à 401.680MHz configurable par pas de 2KHz, avec une puissance d'émission de 1W. La fréquence d'émission ainsi que la période d'émission sont configurables.
- d'une partie acquisition de données analogiques qui seront ensuite numérisées sur 10 bits. La tension analogique pour les mesures est comprise entre 0 et 5 Volts. 8 voies de mesures sont disponibles.

- d'un logiciel permettant la configuration du matériel. Conçu de manière simple, le logiciel est également utilisé pour l'étalonnage et la mise au point des expériences scientifiques.



Boitier HERA réalisé

Schéma d'étude du système HERA

PERSPECTIVES

La bouée Poséidon est presque terminée. Nous souhaitons lancer la bouée début février 2011, nous sommes pour cela en contact avec des bateaux de l'IFREMER de l'autre côté de l'Atlantique et attendons une réponse. Avant cela, il restera à affiner l'étanchéité, à réaliser un circuit imprimé propre du montage électrique. Un dernier étalonnage de l'ensemble des capteurs sera alors nécessaire puis nous testerons la bouée en situation réelle sur le lac de la base de loisirs d'Etampes. Il ne restera plus alors qu'à se familiariser avec la numération hexadécimale et binaire afin de pouvoir traiter les données Argos reçues sur le site internet, en espérant que notre bouée survive assez longtemps dans l'océan pour pouvoir exploiter quelque chose avant la fin de l'année scolaire.

SITOGRAPHIE ET PARTENAIRES

Partenaires :

- CNES Toulouse

- Société Tenum à Toulouse



Contact et soutien technique :

- Frédéric Bouchar : ingénieur informatique de la société TENUM

- Danielle De Staerke : responsable du service culture au CNES

- Patrick Eberlé, ingénieur technico-commercial de la société HEITO à Paris

Internet :

Parmi plusieurs sources :

<http://flynetweb.free.fr/mecanisme.htm>

<http://mykwan.free.fr/gulfstream/>

http://fr.wikipedia.org/wiki/Courant_marin

<http://www.argos-system.org/>

<http://www.kikiwi.fr/index.php?page=projets-argos>

<http://suivi-animal.u-strasbg.fr/technique.htm>

Ouvrage :

Dossier d'aide à la réalisation d'une bouée expérimentale, nov 2008, F. Bouchar