

OPB 201 Mesures en Mer	Master Océanographie 1 ^{ère} année Spécialité Physique et Biogéochimique	A. Petrenko chap 5
------------------------	--	-----------------------

CINQUIEME CHAPITRE - **Instrumentation**

I) Bathysonde – Introduction

II) Instrumentation océanographique

A) Système de mesures pour dériver un paramètre spécifique

- température
- conductivité
- pression
- célérité
- courants
- position, déplacement
- hauteur d'eau
- houle
- turbidité, atténuation de la lumière
- biomasse phytoplanctonique
- autres prop. physiques/chimiques

B) Plateformes des mesures en mer

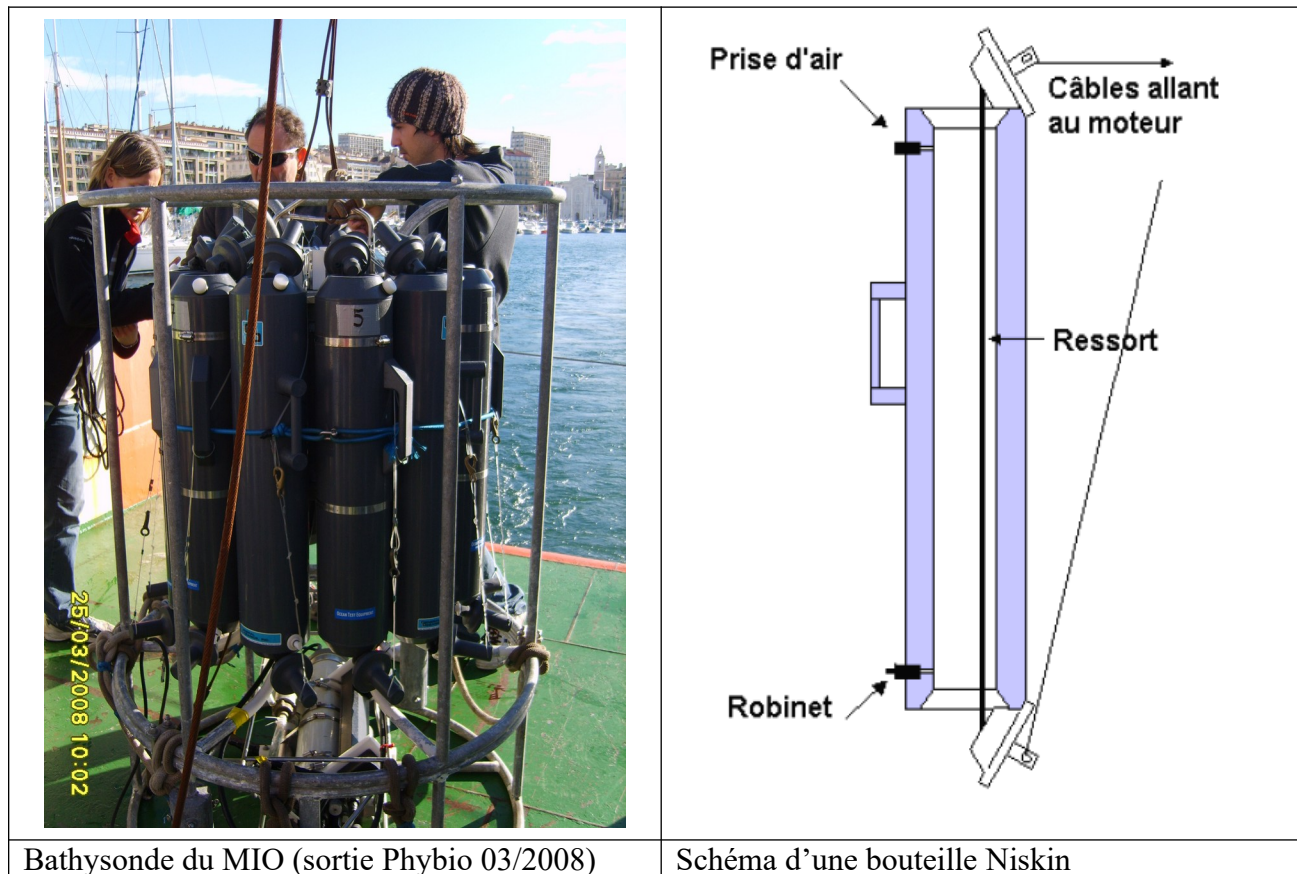
- campagnes en mer
- mouillages
- flotteurs, flotteurs-profileurs
- véhicules sous-marins

III) Instruments de la bathysonde du MIO

[sources, liste non exhaustive = « Capteurs et instrumentation utilisés en océanographie physique » de J.-P. Girardot ; <http://www.univ-brest.fr/lpo/girardot> ; « Instrumentation et métrologie en océanographie physique » de Marc le Menn, éditions Lavoisier ; Documentation sur la calibration des capteurs réalisés par D. Taillez, G. Coustillier ; avec tous mes remerciements]

OPB 201 Mesures en Mer	Master Océanographie 1 ^{ère} année Spécialité Physique et Biogéochimique	A. Petrenko chap 5
------------------------	--	-----------------------

I) Bathysonde – Introduction



La sonde CTD et les autres capteurs de la bathysonde du MIO sont localisés sous la rosette de bouteille Niskin. Le paquet d'instruments (voir partie III) est généralement accompagné d'un pinger. Le pinger émet une impulsion acoustique toutes les secondes (ou toutes les n secondes). Cette impulsion est émise dans toutes les directions. Une partie se dirige directement vers la surface, une autre vers le fond qui la réfléchit. A bord du navire la mesure du temps qui sépare l'impulsion reçue directement de celle réfléchié fournit la distance entre la sonde et le fond. Au-dessus se situe une rosette de 12 bouteilles de prélèvements (bouteille Niskin). Le tout est monté dans un châssis en tube d'inox.

Les capteurs peuvent être associés à une électronique d'acquisition qui est placée dans une enceinte étanche résistant à la pression. L'ensemble ainsi constitué est appelé « bathysonde » ou même simplement « sonde ». Une bathysonde est équipée au moins d'un capteur de conductivité, d'un capteur de température et d'un capteur de pression. Il s'agit alors d'une sonde « CTD ». Ce sigle vient de l'anglais (Conductivity, Temperature and Depth sensors), c'est pourquoi cet appareil est couramment appelé CTD.

Lors de son utilisation, la bathysonde est fixée à l'extrémité d'un câble. A partir d'un navire à l'arrêt, elle est descendue jusqu'à une immersion choisie (généralement jusqu'à une dizaine de

OPB 201 Mesures en Mer	Master Océanographie 1 ^{ère} année Spécialité Physique et Biogéochimique	A. Petrenko chap 5
------------------------	--	-----------------------

mètres du fond) en dévidant le câble du tambour d'un treuil. Elle est ensuite remontée. Cette opération est désignée sous nom de station.

Pendant la descente et la remontée les mesures sont enregistrées dans une mémoire interne à la sonde ou transmises directement à bord. Dans ce dernier cas il faut utiliser un câble électroporteur. C'est un câble d'acier anti-giratoire dont l'âme est un conducteur isolé. Il permet d'alimenter en courant l'électronique de la sonde et de recevoir en retour les données. Il est également possible de transmettre des ordres à la sonde ou à des appareils qui lui sont associés. Comme il faut assurer la continuité électrique pendant que le câble se déroule ou s'enroule sur le tambour du treuil, un système de contacts tournants est fixé à une extrémité de l'arbre du tambour.

Il est intéressant de prélever des échantillons d'eau de mer à différentes profondeurs pour les analyser afin de contrôler le bon fonctionnement des capteurs, d'affiner leur étalonnage et d'obtenir après analyse une mesure des paramètres physiques ou chimiques pour lesquels il n'existe pas de capteurs. Pour cela il faut ajouter à la bathysonde un système de bouteilles de prélèvement. Ces bouteilles sont placées verticalement les unes à côté des autres en formant un cercle autour du moteur qui commande leur fermeture. Cette disposition fait que ce système s'appelle une « rosette ». Les bouteilles sont descendues ouvertes à leur partie supérieure et inférieure. Pendant la remontée, une commande est envoyée au moteur pour les fermer à des immersions choisies (le moteur est télécommandé depuis le navire par un signal qui passe dans le câble électroporteur).

La sonde descend et remonte à une vitesse choisie (en général de l'ordre d'un mètre par seconde). Le navire est immobilisé longtemps quand la sonde est à la mer. Une station à 3600 mètres dure plus de deux heures. Des techniques permettant de gagner du temps sont recherchées (voir section suivante).

II) Instrumentation océanographique

A) Les systèmes de mesure utilisés

1. Pour connaître la température

1.1 Les bathysondes

1.2. Thermomètres à renversement.

1.3. Les sondes perdables (rappel)

Le bathythermographe perdable fabriqué par Sippican Ocean Systems est un exemple classique d'utilisation d'une thermistance comme capteur de température. Il est couramment appelé XBT pour **eX**pandable **B**athy**T**hermograph. Une XBT se présente sous la forme d'une douille en matière plastique plus ou moins longue suivant les modèles (35 cm pour le modèle T7). Elle

OPB 201 Mesures en Mer	Master Océanographie 1 ^{ère} année Spécialité Physique et Biogéochimique	A. Petrenko chap 5
------------------------	--	-----------------------

contient une bobine et une sonde profilée perdable. La douille est placée dans un lanceur qui a la forme d'un pistolet. Il est relié à un PC par un câble électrique.

En armant ce lanceur à l'aide de son levier, 3 pointes viennent en contact avec 3 plots de la douille, ce qui assure sa liaison électrique avec un PC. Ces plots sont reliés par un fil biconducteur à une thermistance située à l'avant de la sonde, au centre d'un lest. Pour lancer la sonde il faut placer le lanceur au-dessus de l'eau, à l'arrière du navire, du côté sous le vent, enlever le bouchon qui obture la douille et retirer la goupille. La sonde tombe en dévidant le fil bi-conducteur de la bobine située à l'intérieur de son carénage. Simultanément le navire qui s'éloigne du point de largage dévide le fil enroulé sur la bobine de la douille. L'enregistrement commence à l'instant où la sonde touche la surface. Comme la vitesse de descente de la sonde est à peu près constante, le temps écoulé depuis le largage fournit la profondeur et la thermistance donne la température. Lorsqu'il n'y a plus de fil sur l'une des deux bobines il casse et la sonde est perdue.

La précision pour un XBT T7 est de 0.2°C en température avec une résolution de 0.01°C et de 2% sur l'immersion maximale avec une résolution de 0.65 m. L'immersion maximale est de 900 m si la vitesse du navire est inférieure à 12.5 nœuds.



Figure : Sondes XBT : En haut éclaté d'une douille avec sa sonde, en bas ensemble monté

1.4. Les thermosalinomètres de coque

Sur un navire équipé d'un thermosalinomètre de coque, l'eau de mer est pompée jusqu'à celui-ci et circule en permanence dans la cellule de conductivité. En général, le thermosalinomètre – par commodité - est placé dans un laboratoire du navire, à une certaine distance de la prise d'eau du coup la température n'est plus représentative de celle de l'océan. De ce fait, ce dispositif est généralement

OPB 201 Mesures en Mer	Master Océanographie 1 ^{ère} année Spécialité Physique et Biogéochimique	A. Petrenko chap 5
------------------------	--	-----------------------

complété par un autre capteur de température qui est fixé sur la canalisation à l'entrée de la prise d'eau. Le navire étant soumis au tangage et au roulis, la prise d'eau est généralement effectuée 1 à 6 m sous le niveau de flottaison. Donc, à strictement parler, sont mesurés température et salinité de subsurface ; appelés aussi couramment T et S de surface.

1.5. Les chaînes de thermistances

Elles se présentent sous la forme de long câbles constitués d'une gaine isolante dans laquelle sont moulés des thermistances à intervalles réguliers. Cet instrument est utilisé pour mesurer les variations de température d'une colonne à des profondeurs fixes, avec une exactitude de l'ordre de 0.1°C.

2 Pour connaître la conductivité .

2.1 Les bathysondes

2.2. Les thermosalinomètres de coque

attention :

- Le temps de réponse des capteurs de conductivité.
- L'alignement des temps de réponse des capteurs de température et des capteurs de conductivité pour le calcul de la salinité
- Bio-fouling et cellules de conductivité.

3. Pour connaître la pression (voir chap 4).

3.1. Les capteurs de pression piézorésistifs .

3.2 Les capteurs de pression piézoélectriques.

4. Pour connaître la célérité .

4.1 Mesure de la célérité du son dans l'eau de mer

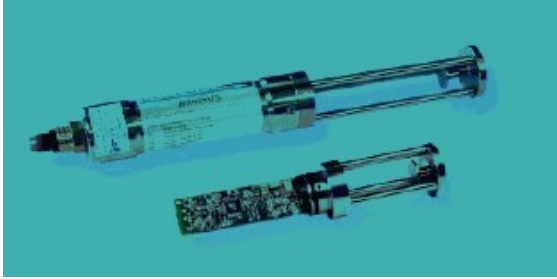
Description du célérimètre « Bissett-Berman » (d'après John JAEGER, OCEANOGRAPHIC MEASUREMENT TECHNIQUES AND APPLICATIONS, Bissett-Berman Co - San Diego, California):

La mesure directe est généralement obtenue par un célérimètre opérant sur le principe de l'écho : Un transducteur piézo-électrique, généralement en cristal de Baryum, est soumis à une impulsion électrique qui le fait vibrer à sa fréquence de résonance. L'énergie sonore ainsi produite se propage sur une distance fixe jusqu'à un réflecteur. L'onde réfléchie revient vers le transducteur. Le signal acoustique reçu est converti en un signal électrique (après l'émission du signal sonore, l'émetteur s'est commuté en récepteur). Ainsi le temps mesuré par l'appareil entre le début de l'émission et le début de la réception de l'onde réfléchie est proportionnel à la célérité avec laquelle le son a parcouru la distance fixe entre le transducteur et le réflecteur (aller et retour).

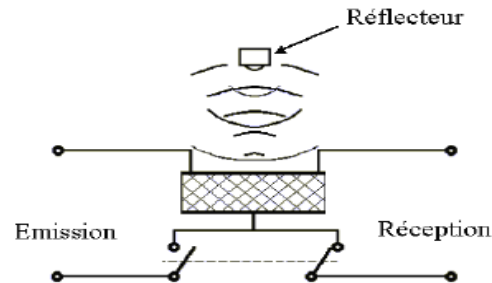
Le matériau piézo-électrique est en baryum de titane, recouvert de nickel afin d'obtenir un contact électrique résistant à la corrosion. Le transducteur est placé sur la paroi d'un boîtier rempli d'huile en équipression grâce à un diaphragme élastique. Le transducteur entre en résonance à la fréquence de 5 MHz, lorsqu'on applique une impulsion électrique entre sa face en contact avec

OPB 201 Mesures en Mer	Master Océanographie 1 ^{ère} année Spécialité Physique et Biogéochimique	A. Petrenko chap 5
------------------------	--	-----------------------

l'huile et celle en contact avec l'eau de mer. Le trajet aller-retour étant de 0.1 m, la fréquence des impulsions est 10 fois supérieure à la vitesse du son dans l'eau. Le fonctionnement du célérimètre est perturbé si l'impulsion sonore est réfléchiée par des surfaces autres que celles du réflecteur (bulles d'air, salissures sur les surfaces sensibles du transducteur). Une infiltration d'eau à l'intérieur du boîtier rempli d'huile provoque également un mauvais fonctionnement. La précision obtenue avec ce type de capteur associé à son électronique est de 0.06 m/s dans une gamme allant de 1400 à 1600 m/s.



Capteur de célérité Valeport Ltd
Model MINI SVS2 (document Valeport)



Schémas de principe d'un célérimètre

5. Pour connaître le courant. (voir détails dans chapitre 6).

- 5.1. Les courantomètres à rotor .
- 5.2 Les courantomètres ponctuels à effet Doppler.
- 5.3. Les courantomètres électromagnétiques.
- 5.4. Les profileurs à effet Doppler

6. Pour connaître la position et le déplacement .

6.1. Le système Argos

Le système Argos a été conçu pour localiser des plate-formes fixes ou lentement mobiles (vitesse inférieure à 1 km/jour) et pour collecter des données physiques mesurées par ces plate-formes. Il est né d'un accord entre la NOAA, la NASA et le CNES et est opérationnel depuis 1978. Il implique trois systèmes : segment spatial (satellites de la NOAA sur une orbite circulaire héliosynchrone à basse altitude), segment terrestre (Lannion et Toulouse pour la France), et plates-formes équipées d'émetteurs. A l'inverse du système GPS, c'est la plateforme terrestre ou marine qui est chargée d'émettre le signal qui va permettre son positionnement.

6.2. Le global positioning system (GPS; voir chapitre 3)

7. Pour connaître la hauteur d'eau .

7.1. Les marégraphes côtiers

OPB 201 Mesures en Mer	Master Océanographie 1 ^{ère} année Spécialité Physique et Biogéochimique	A. Petrenko chap 5
------------------------	--	-----------------------

La marée étant un phénomène « lent », les marégraphes côtiers sont conçus pour filtrer ou éliminer les perturbations haute fréquence. Ils sont constitués d'un conduit vertical appelé puits de tranquillisation, qui communique avec l'océan par un ou plusieurs orifices horizontaux, puits doté d'une « échelle de marée », équivalente d'une règle graduée avec précision. La hauteur d'eau est généralement maintenant mesurée automatiquement (soit par acoustique soit par radar).

(voir Marégraphe de Marseille ; https://fr.wikipedia.org/wiki/Marégraphe_de_Marseille)

7.2. Les marégraphes immergés

Les mesures les plus précises sont obtenues en immergeant un capteur de pression. La hauteur d'eau dérive de l'équation classique d'hydrostatique : $h = (p - p_{\text{atm}}) / \rho \cdot g$
Il faut évidemment avoir en parallèle une mesure de la pression atmosphérique (p_{atm}) et une estimation de ρ , masse volumique de l'eau.

8. Pour connaître les caractéristiques de la houle .

- 8.1. Les bouées houlographes (accéléromètres et compas magnétiques)
- 8.2. Les mesures par courantomètres et capteurs de pression
- 8.3. Les mesures par radar HF (haute fréquence)

9. Pour connaître la turbidité- atténuation de la lumière

La « turbidité » est un paramètre qui fait l'objet de plusieurs définitions et qui ne se présente pas comme une notion absolue. La turbidité de l'eau vient de la présence de diverses matières en suspension telles que les matières organiques et inorganiques : plancton et autres micro-organismes, sédiments, etc.. De ce fait, la turbidité est couramment définie comme la propriété optique qui fait que la lumière incidente est diffusée et absorbée plutôt que transmise en ligne droite. Les mesures de turbidité ont généralement pour but d'estimer la concentration en particules du milieu.

- 9.1. Les transmissiomètres (voir section III)
- 9.2. Les néphélomètres

Les néphélomètres sont des instruments utilisés pour mesurer la dispersion de la lumière (en particulier par la communauté limnologique ou littorale). Ils devraient – en toute rigueur - permettre la mesure de la diffusion entre 0° et 180° mais ce n'est guère faisable pour des instrument utilisés in situ. Du coup les mesures sont faites sur des plages d'angle variées suivant les instruments et une calibration précise doit être effectuée. Les instruments sont étalonnés avec des suspensions de formazine de concentration connue.

- 9.3 Les diffusiomètres

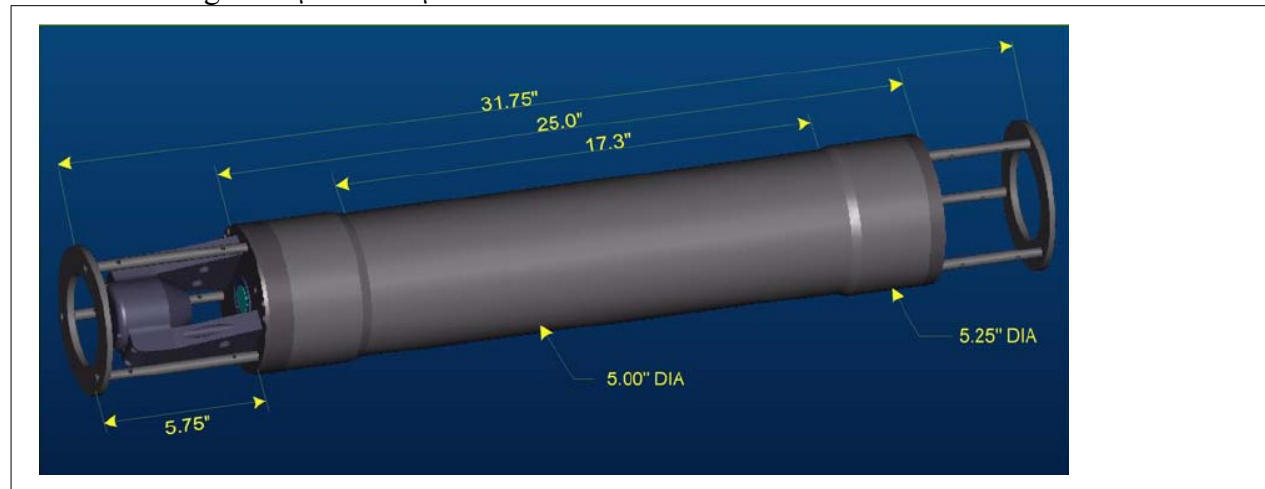
OPB 201 Mesures en Mer	Master Océanographie 1 ^{ère} année Spécialité Physique et Biogéochimique	A. Petrenko chap 5
------------------------	--	-----------------------

Ils mesurent la diffusion à une longueur d'onde spécifique et à un angle donné. Ils ont été développés commercialement depuis la moitié des années 90 (HobiLabs et WetLabs, USA). Ils permettent de dériver la concentration en particules et aussi des informations sur la taille des particules.

Voir transmissomètre WetLabs de la section II

+ LISST = **Laser In-Situ Scattering and Transmissometry**. (Sequoia, Bellevue, WA, USA)

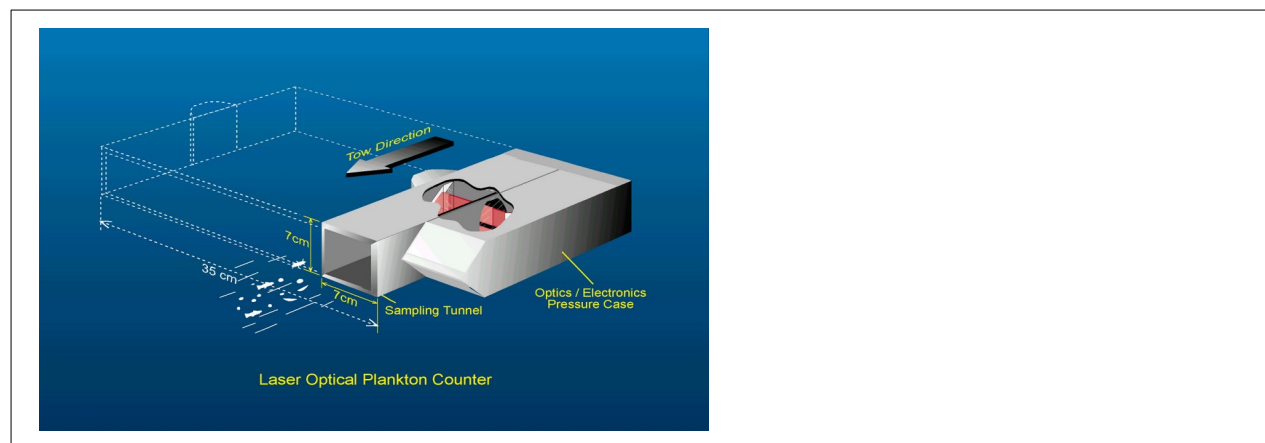
Particle size range: $1\ \mu m - 200\ \mu m$



Le LISST comptabilise les particules dans 32 classes de taille différentes. Le biovolume est calculé comme si les particules étaient sphériques (ESD equivalent Spherical Diameter).

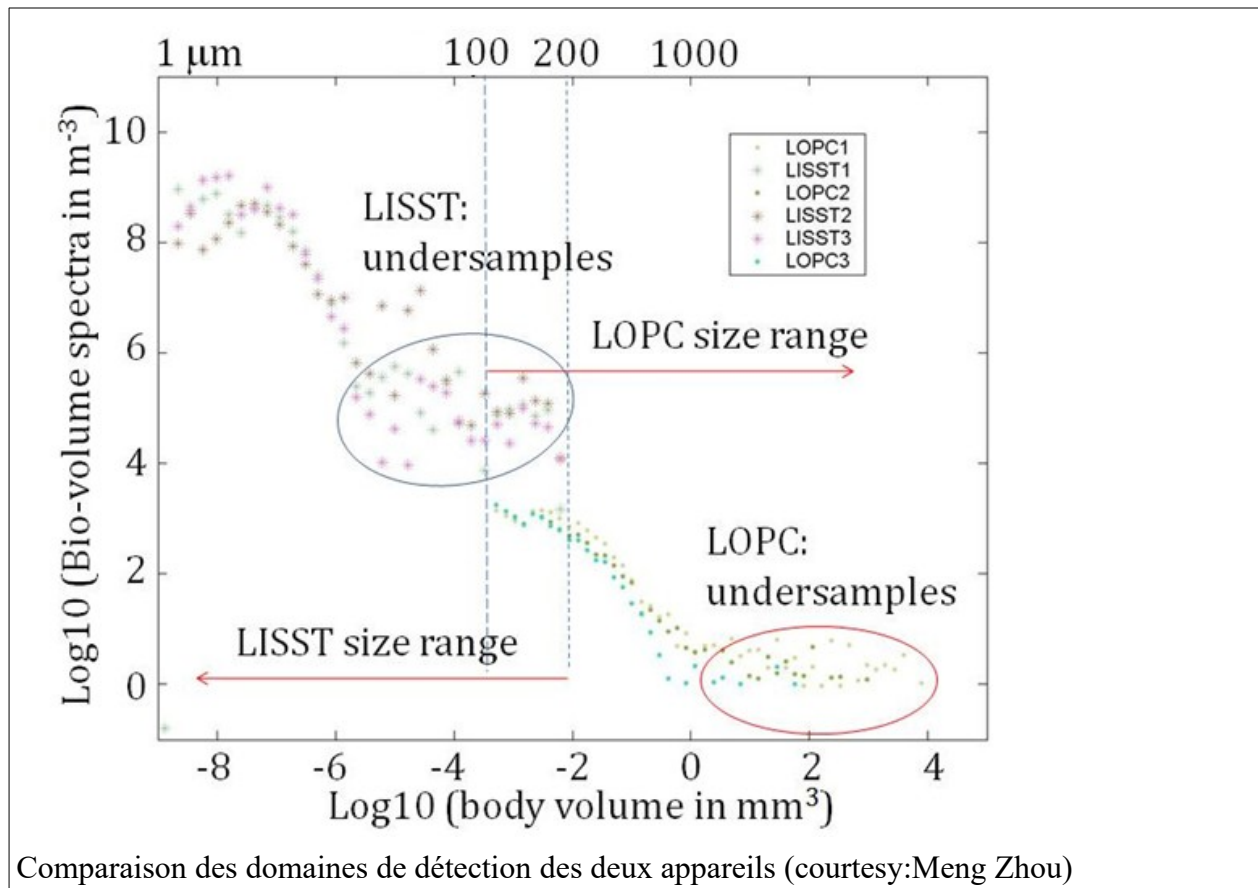
+ LOPC = **Laser Optical Plankton Counter**. (Brooke Ocean, NS, Can)

Particle size range: $100\ \mu m - 30\ mm$



L'atténuation d'un faisceau laser détecté sur des diodes permet de compter les particules. Si l'atténuation est sensible sur plus de trois diodes, une tentative de reconnaissance de forme est possible.

Le biovolume est calculé comme si les particules étaient sphériques (ESD equivalent Spherical Diameter). Si l'ESD est plus petite que 1,5 mm, la reconnaissance de forme n'est pas envisageable.



10 Pour connaître la biomasse phytoplanctonique

10.1. Les fluorimètres (voir section III)

11. Pour connaître quelques propriétés physico-chimiques (in situ)

11.1 La mesure in situ de l'oxygène dissous

- Les capteurs polarographiques ou capteurs de Clark

Cet instrument comporte deux électrodes, soumises à une différence de potentiel fixée, dans un gel séparé de l'eau de mer par une membrane. L'oxygène dissous diffuse, selon la valeur de sa pression partielle, à travers la membrane et est réduit par la cathode. Le courant qui circule à travers les électrodes est proportionnel à la quantité d'oxygène qui a diffusé.

- Les optodes

Dans le but de pallier les problèmes liés aux capteurs de Clark, une autre technique a vu le jour à partir de 1996, grâce à la nouvelle technologie « sol gel » (constituant à effectuer des dépôts de matériaux en couches d'épaisseur très précise et ayant des propriétés bien spécifiques). Dans le cas des optodes à

OPB 201 Mesures en Mer	Master Océanographie 1 ^{ère} année Spécialité Physique et Biogéochimique	A. Petrenko chap 5
------------------------	--	-----------------------

oxygène, un sel réactif emprisonné dans le dépôt fluoresce sous l'effet voulu de radiation bleue. Cette fluorescence, diminuée en présence d'oxygène, est mesurée.

Définition : Une optode ou optrode est un capteur optique qui mesure une substance spécifique, généralement à l'aide d'un transducteur chimique. Pour fonctionner, une optode nécessite trois composants : une substance chimique qui réagit avec un analyte ; un polymère servant à immobiliser le transducteur chimique ; et un instrument (fibre optique, source lumineuse, détecteur...).

Généralement, la matrice en polymère des optodes enrobe l'extrémité d'une fibre optique, mais dans le cas d'une optode à onde évanescente, il enrobe une section de fibre dénudée.

Les optodes peuvent employer différentes méthodes de mesures optiques : la réflexion, l'absorption, l'onde évanescente, la luminescence (fluorescence et phosphorescence), la chimiluminescence, la résonance plasmon de surface. Mais la méthode la plus employée est la luminescence.

(<https://fr.wikipedia.org/wiki/Optode>)

Dans une solution, la luminescence est déterminée par l'équation de Stern-Volmer. La fluorescence d'une molécule donnée est désactivée par certains analytes ; ainsi, les complexes de ruthénium sont désactivés par l'oxygène. Quand un fluorophore est immobilisé dans une matrice de polymère, cela crée d'innombrable micro-environnement, qui correspondent à divers coefficients de diffusion pour l'analyte. Cela mène à une relation non-linéaire entre la fluorescence et le désactivateur. On peut modéliser cette relation de diverses façons, mais la plus populaire est le modèle à deux sites proposé par James Demas (de l'Université de Virginie).

Le rapport signal à oxygène n'est pas linéaire ; ainsi, une optode est plus sensible aux basses concentrations d'oxygène, et sa sensibilité décroît quand cette concentration augmente. Toutefois, dans l'eau, les capteurs d'une optode peuvent fonctionner dans toute la gamme de saturation en oxygène, de 0 à 100% ; et la calibration se fait comme pour l'électrode de Clark. Cela ne consomme pas d'oxygène, et le capteur n'est donc pas sensible à l'agitation, mais elle permet toutefois une stabilisation plus rapide du signal, et est donc recommandée.

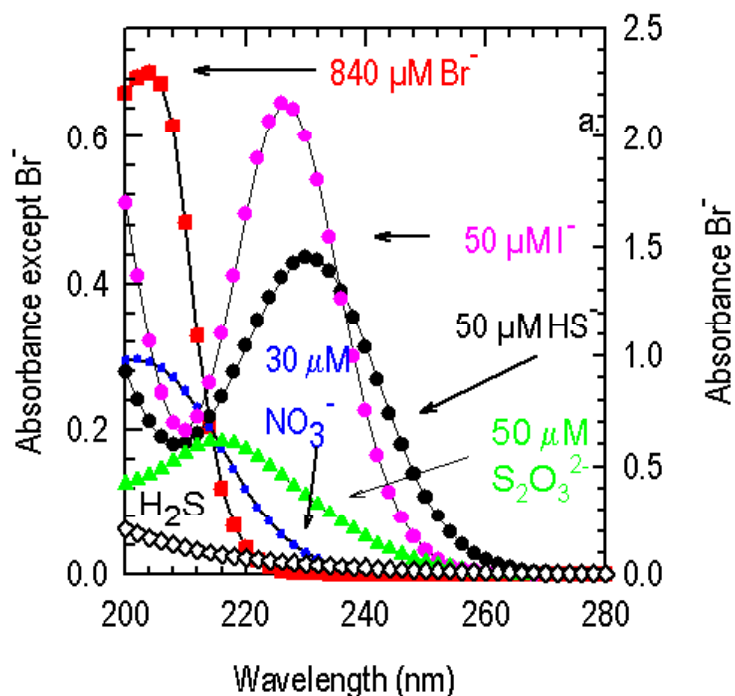
La popularité des capteurs optiques est en augmentation grâce à leur faible coût, à leur faible consommation énergétique et à leur stabilité à long terme. Ils se révèlent être une alternative viable aux capteurs à base d'électrodes, ou à d'autres instruments analytiques plus compliqués, notamment dans le domaine de la surveillance environnementale. Toutefois, les optodes à oxygène n'ont pas encore une aussi bonne résolution que les micro-capteurs cathodiques et ont un temps de réponse trop long pour pouvoir être utilisé sur les bathsondes descendant à une vitesse de 1 m/s.

11.2 La mesure in situ de CO₂

La mesure de la pression partielle en CO₂ est réalisée par l'absorbance d'une solution de bleu de thymol à travers l'eau de mer. Le CO₂ est mis en équilibre avec cette solution à travers une membrane. Comme le bleu de thymol est un indicateur de pH, il change de couleur en fonction de l'acidité/basicité de la solution, et donc de la concentration en CO₂. Un spectrophotomètre permet de quantifier cette variation de coloration.

11.3 La mesure in situ de sels nutritifs

L'ISUS (In Situ Ultra-Violet Spectrophotometer) est un capteur utilisé pour mesurer les concentrations de produits chimiques dissous directement à partir de leur spectre d'absorption ultraviolette (Johnson et Coletti, 2002). Une variété de produits chimiques absorbent la lumière dans les UV et chacun de ces produits chimiques a un spectre d'absorption unique.



Nous pouvons déterminer la concentration de ces produits chimiques directement, sans aucune manipulation chimique, en mesurant le spectre d'absorption de l'eau de mer dans les UV puis en déconvoluant les spectres pour obtenir la concentration de chaque composant. L'ISUS est maintenant disponible dans le commerce auprès de Satlantic, Inc., ainsi que de SUNA (Submersible Ultraviolet Nitrate Analyzer), qui est un ISUS repensé pour un coût moindre et une intégration facile dans les systèmes de surveillance de l'eau existants, en particulier dans les environnements côtiers et d'eau douce

Source = <http://www.mbari.org/chemsensor/isushome.htm>

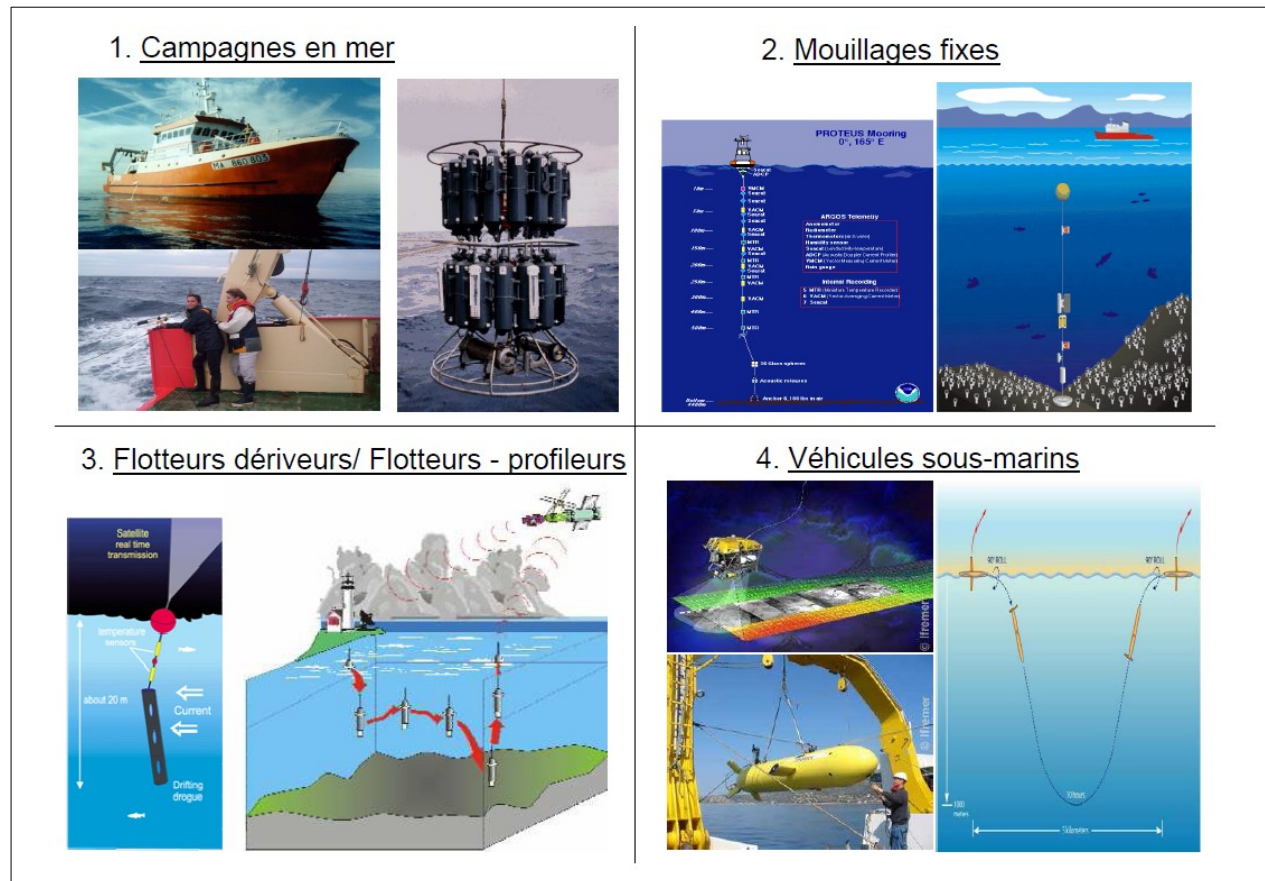
http://www.satlantic.com/nutrient_sensors/nitrate_sensors_isus_v3.asp

OPB 201 Mesures en Mer	Master Océanographie 1 ^{ère} année Spécialité Physique et Biogéochimique	A. Petrenko chap 5
------------------------	--	-----------------------

B) Les plateformes des mesures à la mer

Toutes les mesures dont nous avons parlées dans les paragraphes précédents peuvent être réalisées :

1. Lors de campagne en mer avec déploiement d'instruments selon un maillage stratégique d'observation,
2. Sur des mouillages fixes (stratégie eulérienne) placés en des points stratégiques,
3. Sur des flotteurs dérivants de surface ou des flotteurs-profileurs de subsurface (flotteurs ARGO : Apex (USA), Provor (France), Solo (USA), Ninja (Japon)) : stratégie lagrangienne,
4. Sur des véhicules sous-marins : ROV, AUV, gliders



OPB 201 Mesures en Mer	Master Océanographie 1 ^{ère} année Spécialité Physique et Biogéochimique	A. Petrenko chap 5
------------------------	--	-----------------------

B.1. Les navires océanographiques .

Les navires océanographiques sont les éléments essentiels du dispositif qu'il est nécessaire de mettre en œuvre pour réaliser des campagnes de mesures in situ. Leur taille peut varier d'une dizaine de mètres pour les plus petites unités destinées aux explorations côtières à une centaine de mètres pour ceux destinés aux campagnes hauturières. D'une façon générale, ces bateaux se distinguent:

- par les moyens dont ils disposent pour descendre ou remonter les instruments de mesure du milieu à explorer;
- par les moyens de positionnement et éventuellement de sondage ou de mesure de surface dont ils disposent;
- par les moyens de stockage et de transmission des informations recueillies;
- par les laboratoires et les zones de travail dont ils sont pourvus;
- par les porteurs ou moyens de mesure océanographiques dont ils sont dotés.

Le poids et le volume des instruments à mettre à l'eau peuvent varier de quelques kilos et de quelques dizaines de centimètres cubes à plusieurs tonnes et plusieurs mètres cubes. Pour les charges les plus lourdes et les plus encombrantes, les navires océanographiques sont dotés de grues de chargement, de bossoirs ou potences pivotantes et de portiques de manutention .

Ces portiques peuvent être basculés à l'aide de vérins hydrauliques, de l'intérieur vers l'extérieur du bateau. Ils permettent ainsi de déposer des instruments à une distance suffisante de la coque, pour éviter qu'ils ne viennent la heurter lorsque la mer est agitée. Ils sont situés, soit sur la plage arrière et alignés à l'axe du bateau, soit sur un des côtés. On parle alors de portique latéral. Ils sont dotés d'une poulie qui permet de guider les câbles de liaison des instruments.

Ces câbles sont généralement dévidés à partir de treuils fixés sur le pont du navire. Ils peuvent être simplement porteurs mais sont souvent électro-porteurs. Leur structure est alors constituée d'une gaine composée de brins d'acier et d'un cœur composé de conducteurs en cuivre isolés les uns des autres. Une connexion étanche est confectionnée à l'extrémité, côté instrument, afin de relier les conducteurs électriques à un connecteur. Avant de réaliser cette connexion, une « chaussette» constituée de fils métalliques tressés est enfilée sur le câble afin de constituer une reprise d'effort. Cette « chaussette» est munie d'un anneau de fixation pour assurer la liaison mécanique. Tout effort de traction sur cet anneau a pour effet de serrer les mailles de la « chaussette» et ainsi d'augmenter la force d'enserrement du câble.

Les treuils électriques servant au dévidage des câbles sont équipés de dispositifs de « trancanage » permettant un enroulement et un déroulement réguliers. Les treuils et leurs câbles sont souvent dédiés à des instruments particuliers (bathysonde, bathycélérimètre, magnétomètre ...).

- En France, il y avait un ticket modérateur par journée d'utilisation d'un navire ; ticket dont le tarif devenait de plus en plus élevé et était réducteur pour les programmes d'enseignement et les petits projets de recherche ; du coup il a été annulé en 2017.
- moyens de positionnement et de sondage : GPS + centrale d'attitude et de positionnement (roulis et tangage)
- moyens de transmission des données : câble électroporteur entre bathysonde et ordinateurs à bord, prétraitement et stockage ; parfois transmission vers des moyens au sol à travers des liaisons satellites. Sur les bateaux les plus récents, les ordinateurs sont connectés entre eux par un réseau type Ethernet.

OPB 201 Mesures en Mer	Master Océanographie 1 ^{ère} année Spécialité Physique et Biogéochimique	A. Petrenko chap 5
------------------------	--	-----------------------

(Wikipédia : Dans un réseau Ethernet, le câble diffuse les données à toutes les machines connectées, de la même façon que les ondes radiofréquences parviennent à tous les récepteurs. Le nom Ethernet dérive de cette analogie: avant le XXe siècle on imaginait que les ondes se propageaient dans l'éther, milieu hypothétique censé baigner l'Univers. Quant au suffixe net, il s'agit de l'abréviation du mot network (réseau) en anglais).

Les moyens de mesure océanographiques des bateaux.

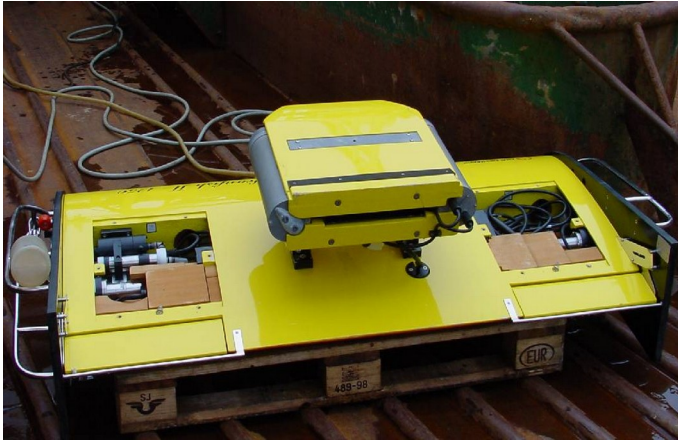
En matière de moyens de mesure océanographiques, les bateaux sont dotés des instruments décrits précédemment : bathysondes scientifiques, rosettes avec bouteilles de prélèvements, sondes perdables bathythermiques ou thermosalinomètre de coque (éventuellement d'autres instruments optiques automatisés sont ajoutés sur la ligne de prise d'eau). Les thermosalinomètres sont des instruments fixes car ils nécessitent des travaux d'aménagement pour leur installation alors que la dotation des autres instruments dépend plus des besoins des campagnes. A cette panoplie, peuvent s'ajouter des poissons tractés.

Les bathysondes et les sondes perdables permettent de réaliser des profils de température-conductivité en des points fixes, sur toute la colonne d'eau. La réalisation d'un profil bathysonde demande parfois plusieurs heures (selon la profondeur à explorer). L'exploration d'une région nécessite de faire des « radiales », c'est-à-dire plusieurs points fixes consécutifs dans un même alignement afin, par la suite, d'obtenir des coupes de champs de température ou de salinité. Pour effectuer ces coupes plus rapidement, moyennant éventuellement une incertitude de mesure légèrement dégradée, les bateaux sont donc parfois dotés de « poissons remorqués » sur lesquels sont installés des instruments scientifiques.

Le poisson remorqué, *ou profileur ondulé*, est un engin remorqué derrière le navire contenant la sonde, cad les instruments océanographiques. Il se présente sous la forme d'un « planeur » sous-marin tracté et piloté à partir du bateau à l'aide d'un câble électro-porteur. Ce câble comporte des lignes de commande qui permettent d'actionner les gouvernes du poisson afin qu'il réalise des montées et des descentes durant la progression du bâtiment, et des lignes qui permettent de récupérer les données mesurées. Le profil obtenu est une ondulation partant de quelques mètres sous la surface jusqu'à une profondeur qui peut atteindre 500 m selon les réglages réalisés.



OPB 201 Mesures en Mer	Master Océanographie 1 ^{ère} année Spécialité Physique et Biogéochimique	A. Petrenko chap 5
------------------------	--	-----------------------

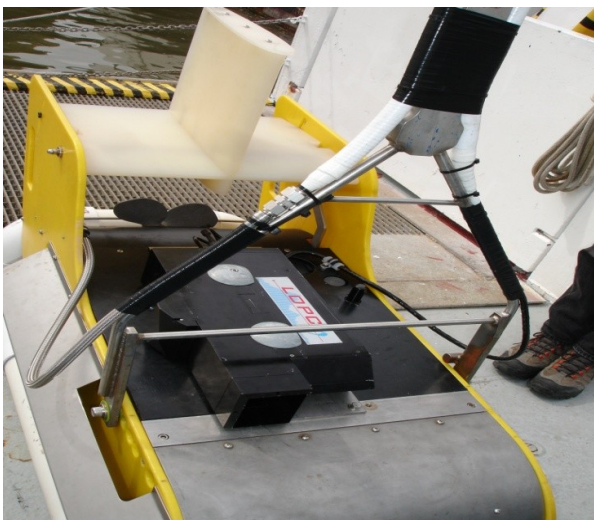


ScanFish



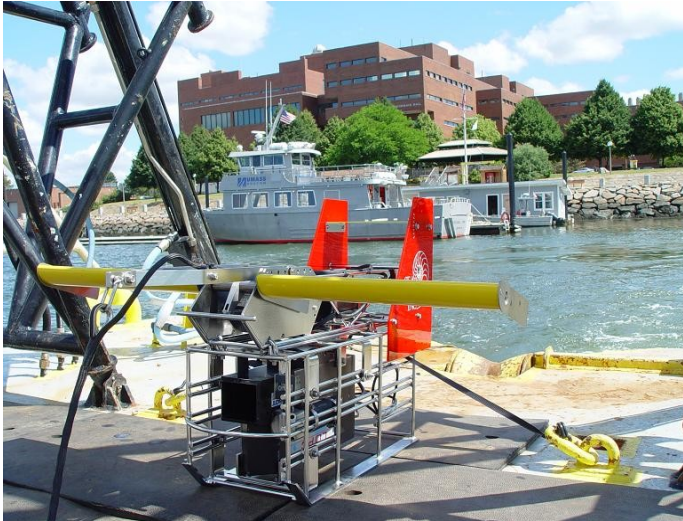

SeaSoar

voir animation sur
site web

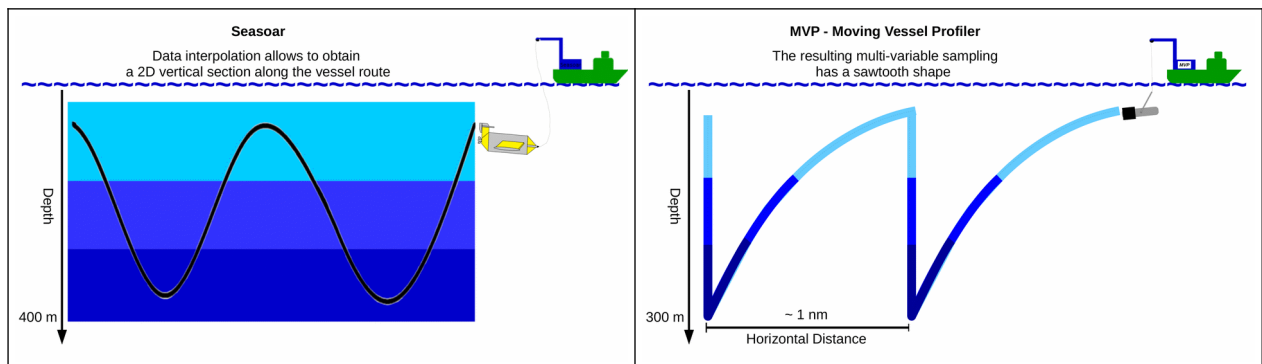


Nu Shuttle

OPB 201 Mesures en Mer	Master Océanographie 1 ^{ère} année Spécialité Physique et Biogéochimique	A. Petrenko chap 5
------------------------	--	-----------------------

	<p>Acrobat</p>
	<p>Moving Vessel Profiler (voir section III)</p> <p>voir animation sur site web</p> <p>et ex FUMSECK</p>

Il faut juste souligner la différence de comportement des profileurs ondulants (« towyo » yoyo + tow) et du MVP ; voir les illustrations suivantes (remerciement équipe MIO BioSWOT) :



OPB 201 Mesures en Mer	Master Océanographie 1 ^{ère} année Spécialité Physique et Biogéochimique	A. Petrenko chap 5
------------------------	--	-----------------------

Lien vers le mini-film sur le MVP de FUMSECK (2019) :

<https://www.mio.osupytheas.fr/fr/dynamique-oceanique/fumseck-une-campagne-du-projet-bioswot>

Autres sortes de plateformes :

Sondes perdables : C'est une solution moins précise et très onéreuse.
ex bathythermographe XBT (voir II)

Sondes autonomes : Ces sondes ne sont plus liées au navire par un câble

1) Classique. Après sa mise à l'eau la sonde plonge jusqu'à atteindre l'immersion voulue. Sa récupération en surface peut poser des problèmes la nuit, par mauvaise visibilité ou par mauvais temps.

2) Perdable (ex Provor). Cet appareil passe la majeure partie de son temps à une immersion choisie. A partir des positionnements en surface il fournit une approximation du courant à son immersion. Avant de remonter à la surface il plonge et remonte en mesurant un profil en température et conductivité.

Lorsque l'on cherche à connaître l'évolution d'un paramètre sur de longues périodes temporelles, il n'est pas possible pour des questions de coût mais aussi de conditions météorologiques ou d'état de mer, de faire les mesures à partir d'un navire océanographique. Il faut se résoudre à laisser les instruments en immersion prolongée ou simplement en surface, durant la période des mesures. Ceci n'est possible qu'avec la confection de mouillages.

B.2. Les mouillages

Un mouillage est une ligne instrumentée conçue pour se maintenir en position fixe en milieu marin. On distingue les mouillages dits « eulériens », par référence aux repères d'Euler qui sont fixes par rapport à la terre, où les instruments raccordés réalisent des mesures en position fixe dans un milieu en mouvement, des mouillages dits « lagrangiens », par référence aux repères mobiles de Lagrange, où l'instrument d'observation est « ancré » dans la masse d'eau en mouvement et suit son déplacement. Les mouillages eulériens ou lagrangiens peuvent être distingués également par le fait qu'ils possèdent un système de flottaison en surface, ce sont alors des mouillages dits de surface, ou par le fait qu'ils sont entièrement dans l'eau. Ils sont alors appelés mouillages de « subsurface ».

1. Les contraintes de la mise en œuvre d'un mouillage

Le déploiement d'un mouillage nécessite une étude préalable de l'environnement du site retenu, de la législation locale et du type d'instrument qui sera utilisé. L'étude d'environnement concerne les paramètres physiques du lieu de déploiement. La connaissance de ces éléments va permettre de dimensionner certains composants et de prévenir nombre de problèmes comme ceux liés au rayon d'évitage, à la verticalité ou au mauvais ancrage. Pour ce faire, il est nécessaire de connaître ou de pouvoir estimer la masse volumique du milieu, les caractéristiques des courants, de la marée mais aussi de la nature des fonds (bathymétrie) ou de la météorologie prévue au moment de la mise à l'eau. Si les cartes marines sont un outil indispensable pour déterminer le lieu d'un déploiement, elles ne sont

OPB 201 Mesures en Mer	Master Océanographie 1 ^{ère} année Spécialité Physique et Biogéochimique	A. Petrenko chap 5
------------------------	--	-----------------------

pas suffisantes pour le réaliser. Il est donc souvent utile d'effectuer une étude bathymétrique plus fine afin de connaître les obstacles naturels ou artificiels (épaves, câbles sous-marins ...) que le fond peut comporter, sa nature exacte (rochers, vase ...) ou la pente du terrain.

Mais, l'étude préalable concerne aussi l'environnement biologique et humain. Les zones côtières sont souvent riches en sels nutritifs qui favorisent le développement du phytoplancton et de toute une chaîne biologique qui permet à d'autres organismes de se reproduire et de se fixer sur les mouillages, nuisant ainsi à leur fiabilité. Des techniques diverses faisant partie de « l'art » de la conception des mouillages doivent alors être mises en œuvre pour limiter les dépôts d'organismes vivants et freiner le développement de cette chaîne biologique qui a pour effet néfaste supplémentaire d'accélérer la corrosion et donc les risques de rupture. Ces zones sont aussi favorables au développement des activités humaines liées à la pêche, qui impliquent l'utilisation de dragues ou de chaluts et le risque de perte du mouillage. De même, les voies de fort trafic maritime doivent être évitées car il est difficile et dangereux d'y réaliser des opérations de mouillage ou de relevage et les mouillages eux-mêmes peuvent constituer des dangers pour la navigation.

Lorsque les zones de mouillage sont proches des côtes, il est nécessaire d'obtenir l'accord des états riverains ou de l'autorité maritime responsable de l'action de l'Etat en mer. Il faut alors effectuer des demandes de travaux et réserver des zones d'exercices appelées «ZONEX». Selon le type de mouillage, un balisage correct doit aussi être prévu pour éviter les abordages. Cette sécurisation peut être réalisée à partir de balises émettrices ou de lampes flash mais il est aussi nécessaire de diffuser aux navigateurs des informations sur les caractéristiques dimensionnelles de l'installation et sur sa position exacte, par le biais d'avis officiels, d'avis urgents aux navigateurs ou d'avertissements par zone. La sécurisation peut passer également par la mise place d'émetteurs Argos ou de récepteurs GPS qui permettent un suivi en temps peu différé de la position du mouillage. Les émetteurs Argos peuvent aussi servir à contrôler le déradage ou la remontée accidentelle en surface suite à une rupture ou un dragage.

Enfin, les instruments installés sur la ligne de mouillage doivent satisfaire à différentes contraintes. S'ils ne peuvent être clampés sur le câble, ils doivent être conçus pour résister à la traction. Le temps d'immersion pouvant être de plusieurs mois ou de plusieurs années ils doivent avoir une autonomie énergétique et une capacité mémoire suffisantes. Ils doivent aussi et surtout être protégés contre la corrosion pour limiter les risques de rupture ou de détérioration irréversible.

2. Généralités sur la réalisation des mouillages

2.1. Principes des calculs de flottabilité

Tout corps plongé dans l'eau est soumis au fameux principe d'Archimède: il subit une poussée égale au volume de fluide déplacé. Cette force de poussée P_a est appliquée en un point appelé centre de poussée et elle est dirigée vers le haut:

$$P_a = \rho V g \quad [3.1]$$

OPB 201 Mesures en Mer	Master Océanographie 1 ^{ère} année Spécialité Physique et Biogéochimique	A. Petrenko chap 5
------------------------	--	-----------------------

ρ désigne ici la masse volumique du fluide, V le volume du corps immergé et g l'accélération de la pesanteur.

A cette force s'oppose celle du poids P du corps dont la masse est M . Elle s'applique au centre de gravité et elle est dirigée vers le bas selon la relation bien connue:

$$P = M \cdot g \quad [3.2]$$

Si l'on suppose que les centres de poussée et de gravité sont identiques, l'amplitude de la résultante de ces deux forces opposées donne le poids P_{eau} du corps dans l'eau, équivalent à sa portance:

$$P_{eau} = (\rho V - M) g \quad [3.3]$$

La masse volumique de l'eau de mer ayant tendance globalement à augmenter du haut vers le bas, dans un milieu marin statique, les objets vont se positionner de façon telle que:

- si $P > P_a$, ils vont se poser sur le fond car on a alors une flottabilité négative;
- si $P_a > P$, ils resteront en surface car on a alors une flottabilité positive;
- si $P = P_a$, ils se placeront en équilibre hydrostatique à une profondeur que l'on peut estimer et qui sera telle que la flottabilité est nulle.

Partant de ce principe, pour fabriquer des lignes de mouillages, il est donc possible de concevoir:

- des lests qui seront posés sur le fond et permettront à un ensemble d'objets solidaires de rester en position fixe;
- et des flotteurs qui permettront d'exercer une force de traction vers le haut pour conserver l'assemblage en position verticale.

Cependant, l'océan n'étant pas un milieu statique, d'autres éléments influencent la tenue du système. La présence de courants marins engendre des forces de déplacement F_d dont la direction est quelconque. En fait, F_d peut être décomposée en une force verticale de portance et en 2 forces horizontales perpendiculaires qui constituent la force de dérive et la force de traînée F_t dont la direction est identique à celle du courant. Pour que le mouillage reste immobile, il faut lui appliquer une force égale et opposée à F_d . Mais, dans le cas des mouillages océanographiques, c'est la force F_t qui est prépondérante. Son étude permet de la décomposer en deux autres forces : celle de la traînée de pression F_{tp} qui est due à la pression exercée par le fluide sur le front du mouillage et à la légère dépression créée à son arrière, et celle de frottement ou de friction F_{tf} qui découle des frottements du fluide sur la surface des éléments du mouillage. L'amplitude de F_{tp} fait intervenir la surface S_c de couplage entre les éléments du mouillage et la direction du courant, et le coefficient de traînée de pression C_t (drag coefficient) de ces éléments. L'amplitude de F_{tf} dépend de la surface immergée ou mouillée S_m de ces éléments et d'un coefficient C_f de frottement des objets.

Il existe des ouvrages qui permettent de déterminer les valeurs de C_f et de C_t . Elles dépendent de la forme, des dimensions de la surface des objets perpendiculaire à la direction du courant et du nombre de Reynolds (rapport de la vitesse de l'écoulement sur la viscosité du fluide). Il faut remarquer

OPB 201 Mesures en Mer	Master Océanographie 1 ^{ère} année Spécialité Physique et Biogéochimique	A. Petrenko chap 5
------------------------	--	-----------------------

toutefois que, d'une façon générale, dans le cas des mouillages océanographiques, la force F_{tp} est grande devant F_{tf} , au point que seule F_{tp} est prise en compte dans les calculs.

Connaissant la profondeur d'immersion des instruments de mesure, leurs caractéristiques géométriques, leur orientation par rapport au courant dominant, le calcul de ces différentes forces pour chaque élément devant être immergé, va donc permettre de dimensionner une suite de composants dont le rôle sera d'ancrer ou d'assurer la flottabilité de l'ensemble. Ce dimensionnement est généralement réalisé à l'aide de logiciels qui permettent de simuler le comportement des mouillages.

2.2. Les différents types de mouillages

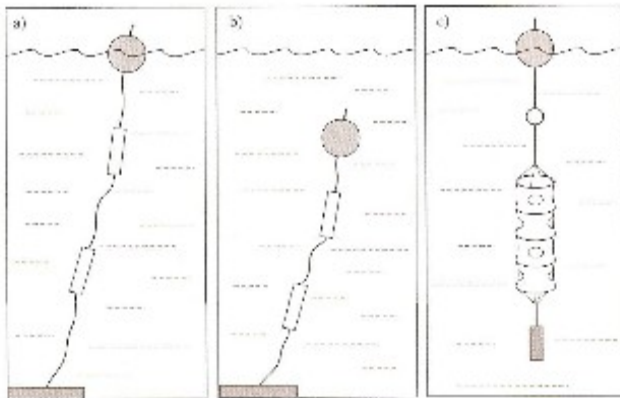
Selon la nature des observations à réaliser, il est possible de concevoir différents types de mouillages. Ces types vont dépendre du principe de mesure retenu (eulérien ou lagrangien) et du mode d'ancrage nécessaire. Le plus simple à concevoir est probablement le mouillage « de fond » (figure ci-dessous). Il est constitué d'une cage dans ou sur laquelle sont fixés les instruments de mesure (courantomètres, marégraphes ...) qui doivent être installés près du fond. C'est le seul type qui garantisse une immobilité totale des instruments. La cage est maintenue en profondeur à l'aide d'un lest qui lui est solidaire ou qui peut être largable. Dans cette deuxième hypothèse, le système de largage offre la possibilité d'être activé à l'aide d'impulsions acoustiques émises de la surface afin de désolidariser la partie « corps mort » de la partie cage instrumentée. La remontée de cette cage peut aussi être facilitée par l'adjonction de flotteurs sur ses flancs ou en suspension au-dessus. Ces systèmes devant rester sur le fond durant de longues périodes, ils peuvent être sujets au dragage selon l'endroit où ils sont déposés. Pour diminuer ce risque, certaines formes de cages sont étudiées afin de les rendre « anti-chalutables ». Pour limiter leur hauteur et permettre leur récupération, les lests et les flotteurs sont alors remplacés par des systèmes de gonflage automatiques qui modifient leur flottabilité et leur permettent de remonter à la surface par l'envoi de simples impulsions acoustiques.



Exemple de mouillage de fond (Ifremer, Ecolophy 2005) avec flotteurs pour remonter à la surface

Les largueurs acoustiques sont des instruments à part entière qui allient électronique et action mécanique. Une de leurs extrémités est fixée de façon solide à la partie du mouillage à récupérer alors que l'autre est constituée d'un crochet dont l'ouverture est pilotée par un moteur activé par la réception d'un train d'impulsions ultrasonores, émit de la surface à partir d'une télécommande. L'ouverture progressive du crochet provoque la libération d'une partie immergée d'un montage, qui peut ensuite remonter naturellement à la surface pour être

Lorsqu'il est nécessaire de disposer d'instruments dans la colonne d'eau et les couches d'eau près de la surface, on utilise des mouillages dits de surface. Ils sont constitués d'un lest ou « corps mort » déposé sur le fond, d'une ligne sur laquelle sont fixées les instruments de mesure et d'un flotteur situé en surface qui permet de marquer l'emplacement de la ligne et de maintenir le mouillage le plus possible sur la verticale.



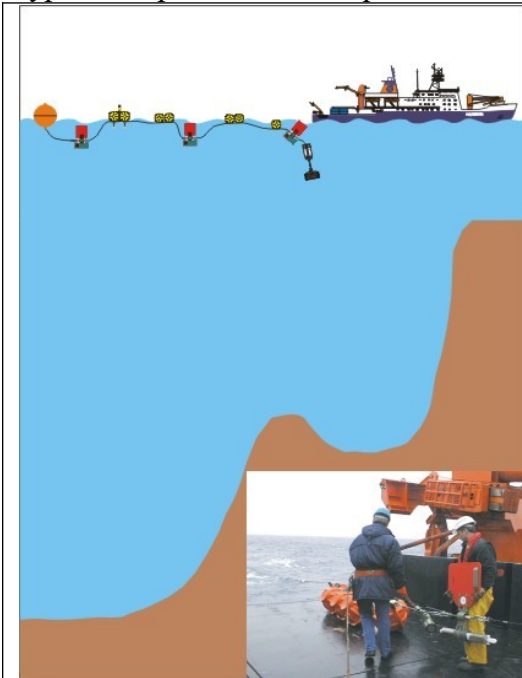
Différents types de mouillages :

- a) mouillages de surface
- b) mouillages de subsurface
- c) mouillages pendulaire = flotteur Lagrangien

(extraite de Le Menn, 2006)

3. Le déploiement et le relevage des mouillages

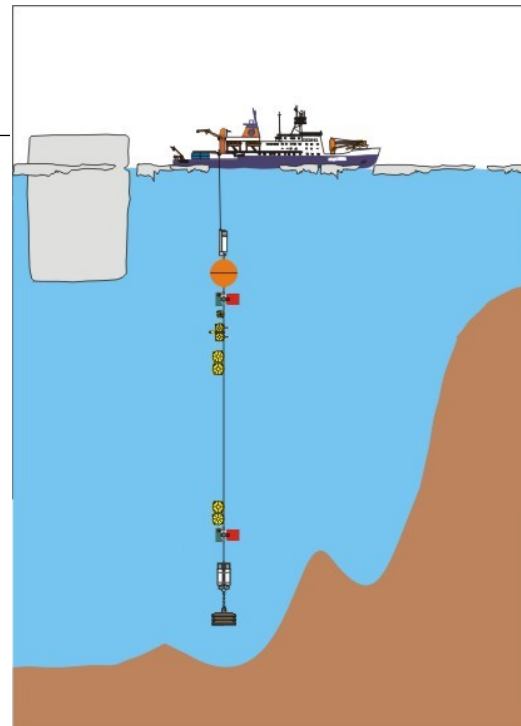
Le déploiement est une phase très importante dans la mise en œuvre d'un mouillage. Voici les deux types de déploiement classiques.



A) "Anchor-last-deployment"

Cette méthode de déploiement d'amarrage nécessite une zone d'eau libre qui est au moins aussi large que la longueur d'amarrage. Le lieu d'amarrage final doit être déterminé avec des hypothèses sur le comportement descendant de l'amarrage qui est sujet à des incertitudes. L'avantage de cette méthode est que la tension sur la corde d'amarrage lors du déploiement est faible.

- déploiement nécessitant bcp de place



B) "Anchor-first-deployment"

Le navire reste à l'emplacement prévu lors du déploiement d'un amarrage avec «l'ancre d'abord». Par conséquent, les amarres peuvent être déployées à travers un trou relativement petit dans la glace. L'amarrage est abaissé avec le treuil de haute mer et déployé avec un déclencheur acoustique standard sur le dessus de l'amarrage. Le navire peut en fait bouger pour trouver la profondeur de l'eau ou la position pour placer les instruments aux niveaux de profondeur ou à l'emplacement prévus. Parce que la charge totale du poids de l'ancre d'environ 1000 kg est sur la corde d'amarrage, cette méthode ne peut pas être utilisée dans des conditions de mer agitée en eau libre.

+ déploiement avec peu de place

- impossible si mer pas bonne ; dangereux

La technique de relevage du mouillage dépend du type de mouillage : soit le flotteur de surface est accroché, la ligne est tirée (à la main ou avec une grue) et les instruments décrochés au fur et à

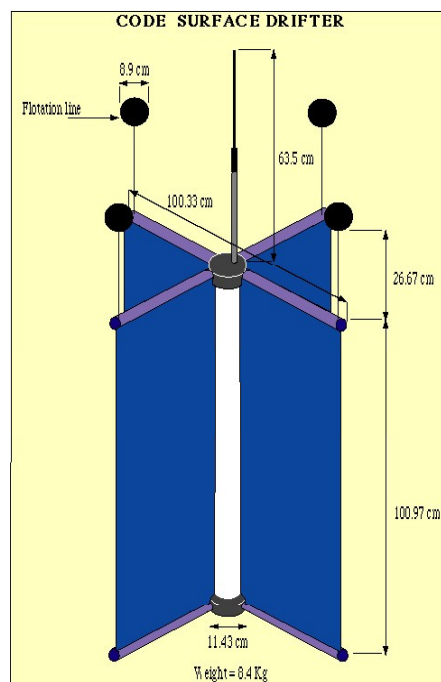
OPB 201 Mesures en Mer	Master Océanographie 1 ^{ère} année Spécialité Physique et Biogéochimique	A. Petrenko chap 5
------------------------	--	-----------------------

mesure ; soit le largage acoustique est effectué et le mouillage est récupéré quand il apparaît à la surface.

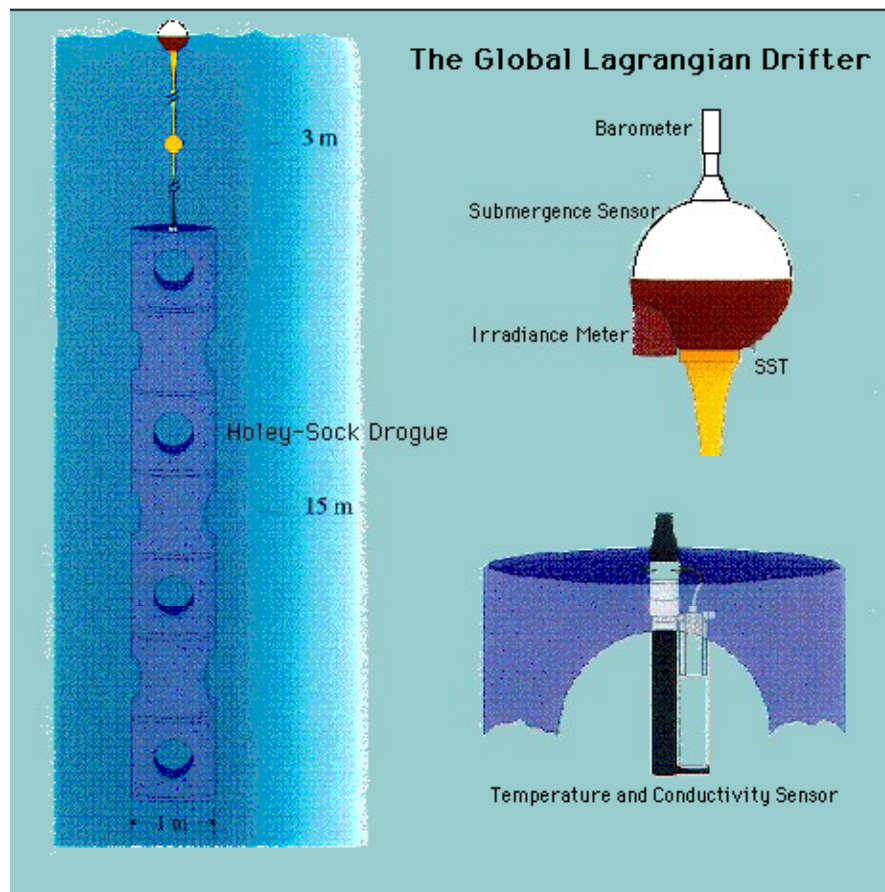
B.3. Les flotteurs dérivants

1. Historique et principes de fonctionnement

Emetteur acoustique	Récepteur acoustique		date
1 Flotteur	Bateau	10 kHz ; 5 km Flotteur de Swallow (subsurface)	1955
2 Flotteur	Bateau	3 kHz ; 50 km	1970
3 Flotteur	Bases Navy	200 Hz ; zone SOFAR SOund Fixing And Ranging	1975
4 Flotteur	+ ALS Autonomous Listening Stations	200 Hz ; zone SOFAR	1978
5 Mouillage= émetteur	Flotteur = récepteur	RAFOS (inverse de SOFAR)	1980
7 Flotteur =émetteur vers Argos	ALACE = Autonomous Lagrangian Circulation Explorer		1996
6 MARVOR	= RAFOS + ALACE « Mach Mor » cheval de mer en breton = hippocampe		1994 France
8 ALACE -> PALACE (Profiling ALACE)			
9 MARVOR -> PROVOR (fonction RAFOS acoustique annulée)			
10 APEX (0 à 2000 m ; + T, Conductivité, pression)			2000
11 PAGODE (profileur côtier ; se pose entre les profiles)			2002
12 PNG (Profileur de Nouvelle Génération ; Ifremer)			



CODE drifter is similar to the one used in the Coastal Dynamics Experiment (CODE) in the early 1980's (Davis, 1985)



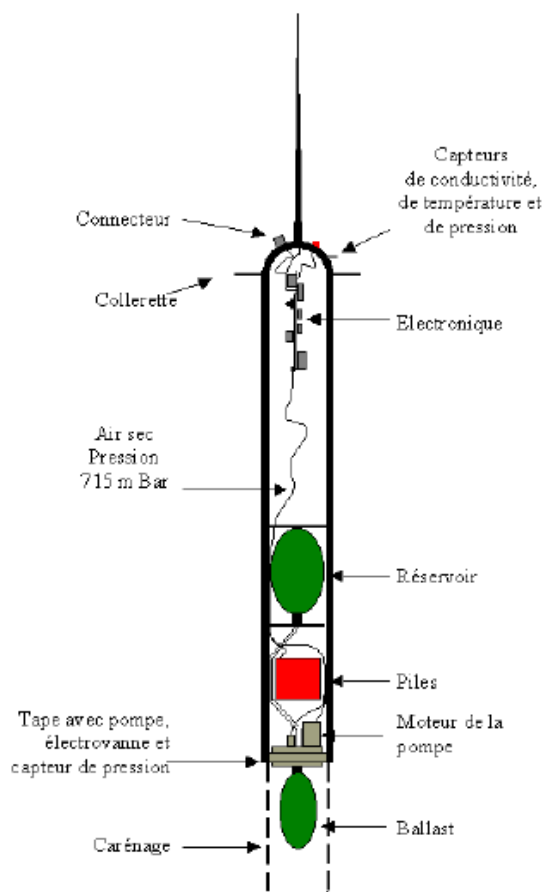
Typical WOCE/TOGA Lagrangian Drifter (Sybrandy and Niiler, 1991)



Campagne LATEX
Juin 2007

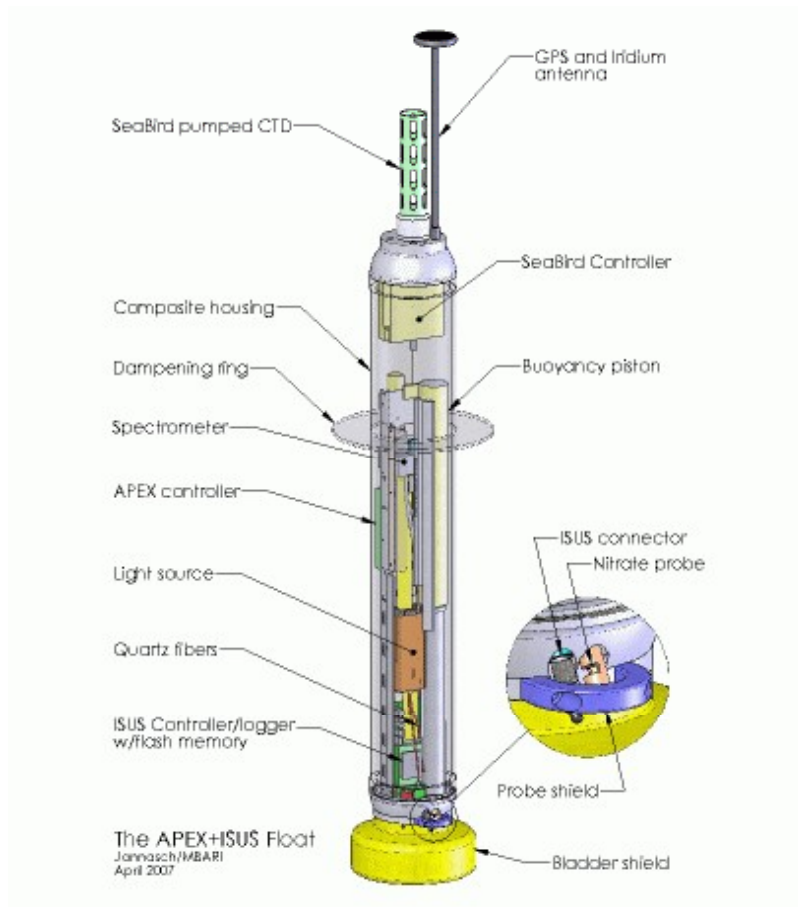
Flotteur lagrangien en train d'être mis à l'eau; la « chaussette » (ancre) commence à s'enfoncer

Flotteur [float] PROVOR :



Remarque
la pompe permet de pomper de fluide du réservoir vers le ballast
quand le ballast se gonfle, il augmente la force d'Archimède à poids constant → le flotteur remonte.
Inversement pour faire descendre le PROVOR.

Flotteur [float] APEX :



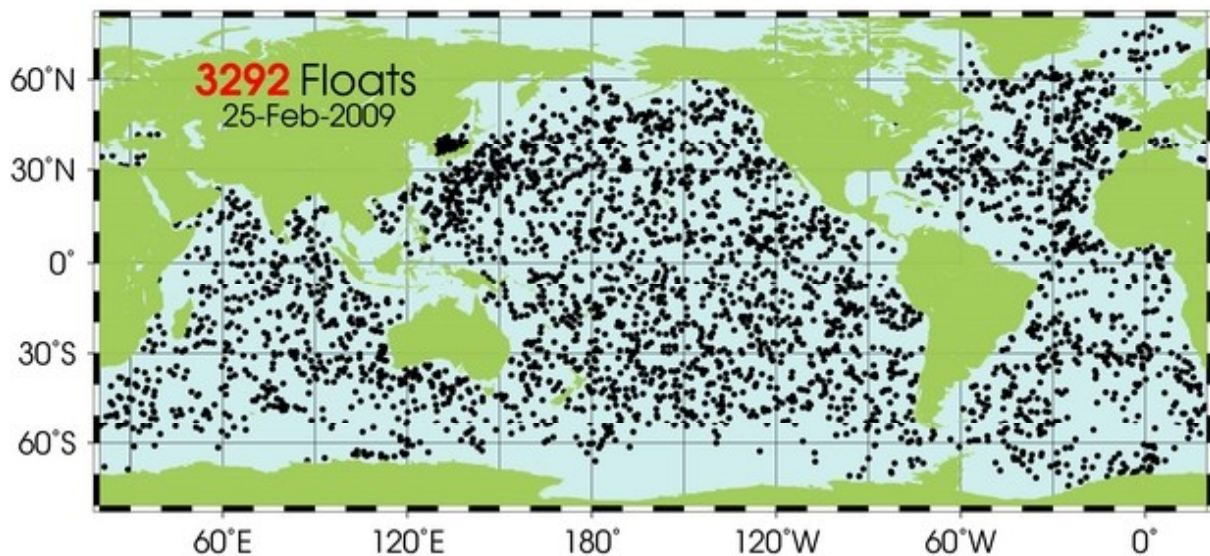
April 2007 : Integration of ISUS into the Webb Apex float was done by Dana Swift (UW), Luke Coletti and Hans Jannasch (MBARI)

<http://www.mbari.org/chemsensor/APEXISUS.htm>

OPB 201 Mesures en Mer	Master Océanographie 1 ^{ère} année Spécialité Physique et Biogéochimique	A. Petrenko chap 5
------------------------	--	-----------------------

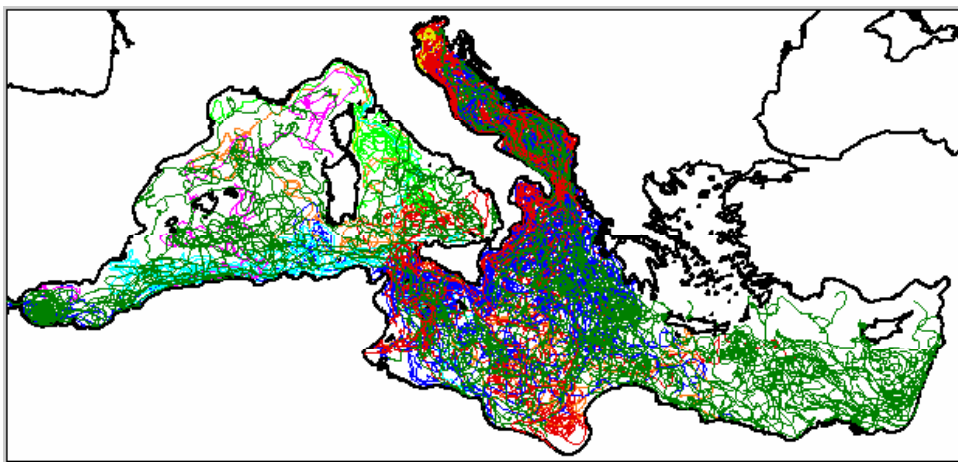
USA : National data buoy center <http://apex.ndbc.noaa.gov/ndbc/index.html>

Argo is a global array of 3,000 free-drifting profiling floats that measures the temperature and salinity of the upper 2000 m of the ocean. This allows, for the first time, continuous monitoring of the temperature, salinity, and velocity of the upper ocean, with all data being relayed and made publicly available within hours after collection.



Positions of the floats that have delivered data within the last 30 days
(<http://www-argo.ucsd.edu/>)

Méditerranée



Toutes les trajectoires de flotteurs en Méditerranée et en Mer Noire disponibles dans la database MedArgo (<http://nettuno ogs.trieste.it/sire/medargo/trajectories.php>)

3.4. Les ROVs, AUVs, gliders, etc ...

Véhicules sous-marins

1. ROV - Remotely Operated Vehicles

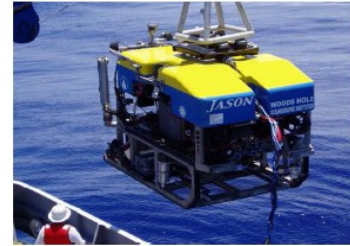
- Victor 6000 (Ifremer, France) jusqu'à 7000m
- Jason2 (USA) jusqu'à 6500m
- ISIS ROV (UK) jusqu'à 6000m
- MARUM Quest Rov (Allemagne) jusqu'à 4000m



Victor (Ifremer, France)



Marum Quest (Allemagne)



Jason 2 (USA)



ISIS Rov (UK)

2. AUV - Autonomous Underwater Vehicles

2.1. AUV propulsés

REMUS (USA)



REMUS (stands for Remote Environmental Monitoring Units) is a compact Autonomous Underwater Vehicle built by [Hydroid Inc.](#) Our REMUS #255 carries the following equipment on board:

Dual 1200kHz RDI [Acoustic Doppler Current Profiler](#) (ADCP)

Seabird [SBE49 FastCat](#) CTD

YSI 600-XL CTD

WET Labs [ECO-FLNTU](#) meter (chlorophyll, turbidity)

Marine Sonic [Sea Scan 900kHz](#) sidescan sonar

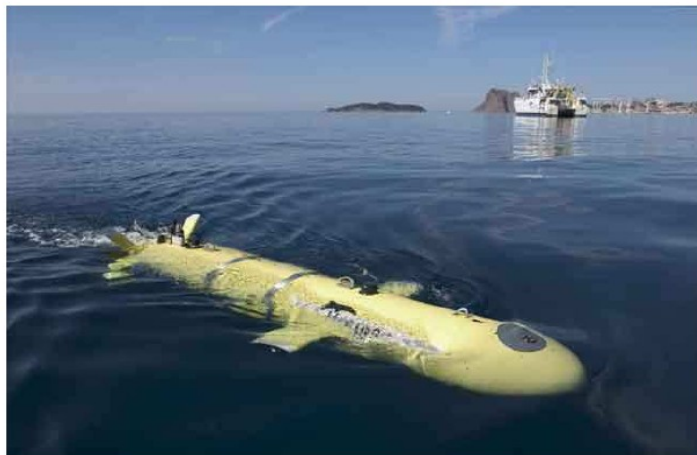
GPS and acoustic navigation

L'AUV *Asterx* fait parti d'une flottille pour la surveillance sous-marine en domaine côtier, de taille moyenne il est facilement mobilisable.

Caractéristiques :

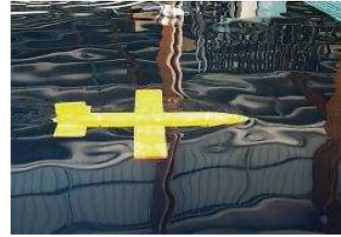
- 3000 mètres d'immersion
- 4,5 mètres de long
- 793 kg dans l'air dont 200 kg de déplacement en capacité d'emport
- Vitesse max 5 noeuds
- 100 km d'autonomie maximum
- Souplesse d'intégration de charge utile pour des études avec sondeur multifaisceaux, ADCP, sondeur de pêche, spectromètre
- Centrale inertielle, loch Doppler, base longue, base courte, base courte inverse, navigation intégrée
- Liaisons radio et acoustique, capacité de stationnement au fond et balise de repositionnement pour une mise en oeuvre sécurisée.

AsterX (Ifremer, France)

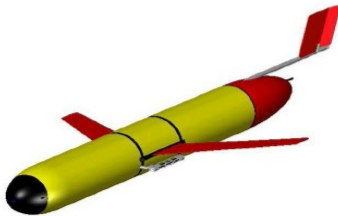


2.2 AUV (en général) non propulsé = Glider = planeur sous-marinExemples de gliders

Seaglider (USA)



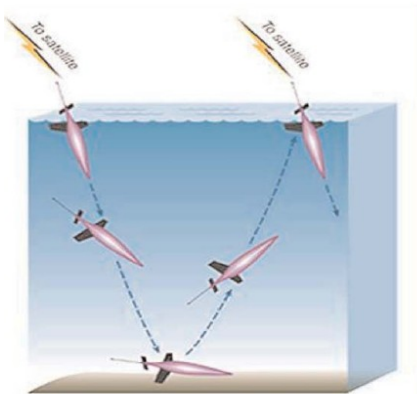
Glider français de l'ENSIETA



SLOCUM glider (USA)



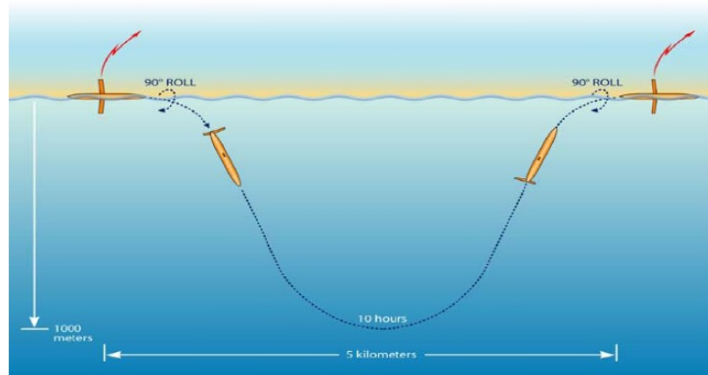
SPRAY glider (USA)

Glider – principe de fonctionnementPrincipe

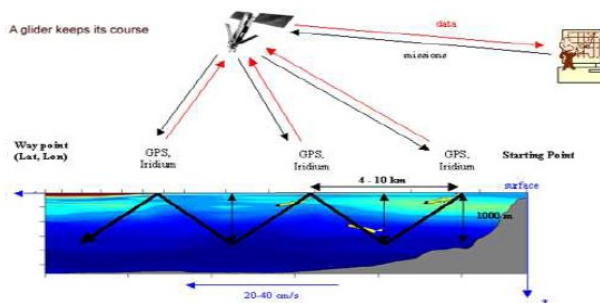
Ils se déplacent dans l'océan en contrôlant leur flottabilité (suivant les systèmes : il fait varier son volume ou son poids).

Mouvement vertical : capacité à modifier sa flottabilité pour plonger ou remonter grâce à un système de pompage d'huile à l'intérieur ou à l'extérieur, dans une vessie, de la coque du glider. Pas besoin de moteur.

Mouvement horizontal : conversion de la vitesse verticale en vit. horizontale grâce à leur portance sur l'eau (les courants peuvent les freiner ou les accélérer)



Glider – trajectoires



Trajectoire en ‘dents de scie’ entre surface et profondeur programmée (transparent)

Ex :

- * Slocum pour aller à 1000m il faut 2 à 6 km entre 2 points de surface.
- * Transmission des données en surface et/ou nouvelle-modification de mission

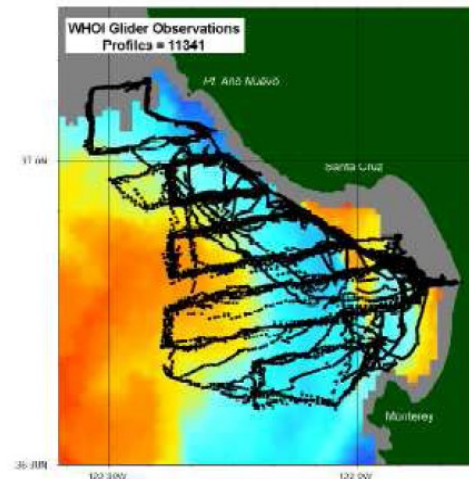


Figure 1: Location of profile data collected by WHOI glider fleet during AOSN-II superimposed on an AVHRR sea surface temperature image showing the relatively cool Anso Nuevo upwelling plume. Ten WHOI gliders collected hydrographic and vertically-averaged velocity data along five closed circuits spanning the Anso Nuevo upwelling plume and performed adaptive sampling experiments using multi-vehicle clusters. Dives were to 300 m or 5 m above the bottom. Data transmission consisted of approximately 75 Kbytes every 2 hours.

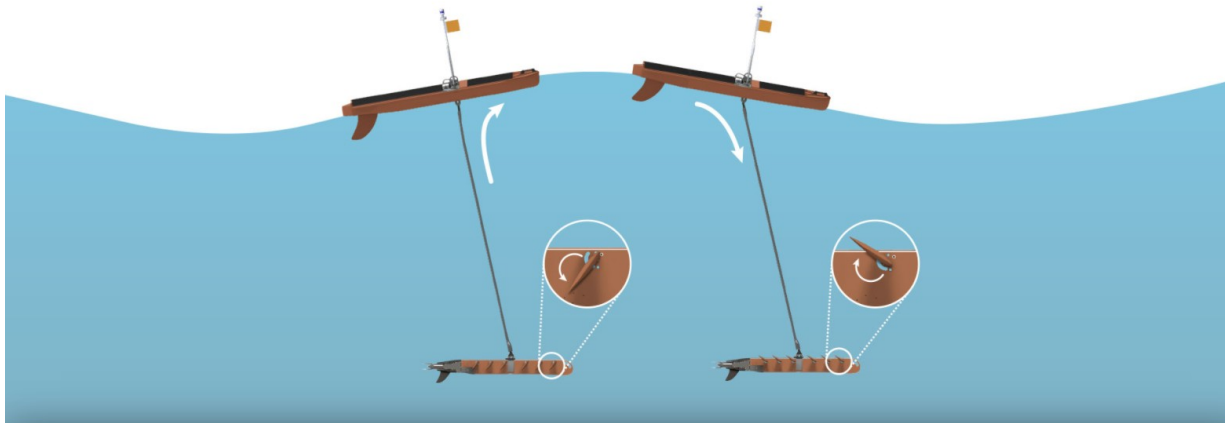
Glider – spécifications

Spray	
Hull	Length 200 cm, Diameter 20 cm, Mass 51 kg, Payload 3.5 kg
Lift Surfaces	Wing span (chord) 120 (10) cm, Vertical stabilizer length (chord) 49 (7) cm
Batteries	52 DD Lithium CSC cells in 3 packs, Energy 13 MJ, Mass 12 kg
Volume Change	Max 900 cc, Motor & reciprocating pump, 50 (20) % efficient @ 1000 (100) dbar
Communication	Iridium, 180 byte/s net, 35 J/Kbyte, GPS navigation
Operating	Max P 1500 dbar, Max U 45 cm/s, Control on depth+altitude+attitude+vertical W
Endurance	U = 27 cm/s, 18° glide, Buoyancy 125 gm, Range 7,000 km, Duration 330 days
Cost	Vehicle \$50,000, Refueling \$2850
Slocum	
Hull	Length 150 cm (overall 215), Diameter 21 cm, Mass 52 kg, Payload 5 kg
Lift Surfaces	Wing span (chord) 120 (9) cm swept 45°, Stabilizer length (chord) 15 (18) cm
Batteries	250 Alkaline C cells, Energy 8 MJ, Mass 18 kg
Volume Change	Typical 450 cc, 90 W motor & single-stroke pump, 50% efficient @ 200 dbar
Communication	Freewave LAN, 5.7 Kbyte/s, 3 J/Mbyte, 30 km range – or – Iridium, GPS navigation
Operating	Max P 200 dbar, Max U 40 cm/s, Control on depth+altitude+attitude+vertical W
Endurance	U = 35 cm/s, 25° glide, Buoyancy 230 gm, Range 500 km, Duration 20 days
Cost	Vehicle \$70,000, Refueling \$675
Seaglider	
Hull & Shroud	Length 180 cm (overall 330), Diameter 30 cm, Mass 52 kg, Payload 4 kg
Lift Surfaces	Wing span (av chord) 100 (16) cm, Vertical stabilizer span (chord) 40 (7) cm
Batteries	81 D Lithium cells in 2 packs, Energy 10 MJ, Mass 9.4 kg
Volume Change	Max 840 cc, Motor & reciprocating pump, 40% (8%) efficient at 1000 (100) dbar
Communication	Iridium, 180 byte/s net, 35J/Kbytes, GPS navigation
Operating	Max P 1000 dbar, Max U 45 cm/s, Control on depth+position+attitude+vertical W
Endurance	U = 27 cm/s, 16° glide, Buoyancy 130 gm, Range 4600 km, Duration 200 days
Cost	Vehicle \$70,000, Refueling \$1375

NB : EGO (European Gliding Observatories)
<http://www.lodyc.jussieu.fr/gliders/EGO/index.php>

Nouvelles avancées technologiques :ex

The Waveglider (marche à l'énergie des vagues et du solaire)

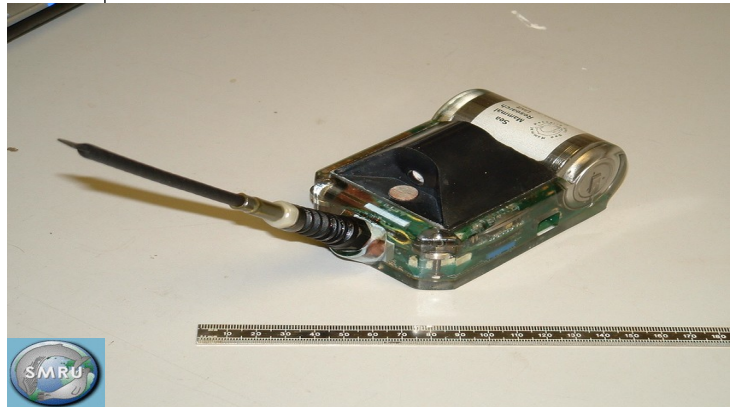
<http://www.liquid-robotics.com/platform/how-it-works/>Annexe : essor des capteurs pour planeur (remerciement source xx) Page suivante

<ul style="list-style-type: none"> SEA-BIRD GP-CTD Conductivity, Temperature & Depth (Pressure) with pump-controlled flow SEA-BIRD DO Dissolved Oxygen WETLABS TRIPLETS Chla, turbidité Fluorometer (Chlorophyll-a / CDOM / Phycochlorins) Scattering (Turbidity) ALTIMETER Seafloor detection 	   	<ul style="list-style-type: none"> AUXILIARY PROPELLER Ancillary thruster for horizontal navigation & navigation in Currents METAL TRACE SENSOR (PASSIVE) DGT: Diffusive Gradient Thin-film (Metal Accumulator) Cd, Cu, Zn, U, Al, Mn, etc... METHANE CH₄ sensor 	  
<ul style="list-style-type: none"> MINIFLUO HYDROCARBON SENSOR (ALSEAMAR) Detection of the following contaminants: Hydrocarbons (Phenanthrene, NAPhtalene, FLUORENE, PYRENE) Sewage (TRYPTOPHANE) Pesticides (CARBARY) High Accuracy (PHE detection limit 0.1 µg/l) Small Footprint (Puck port, 300g) Low Consumption (0.5W) 2 Tracks for 2 Tracers to be followed with the same sensor 	  	<ul style="list-style-type: none"> NITRATES SUNA sensor from SATLANTIC ADCP Acoustic Doppler Current Profiler (Nortek) JELLYFISH CAMERA Miniaturized Camera CAMERA Méduses AUTO-SAMPLER Allowing the sampling of up to 8 « flasks » of 50 mL each 	     
<ul style="list-style-type: none"> ACOUSTIC RECORDER 100 Hz to 48KHz in detection (Up to 152 kHz possible) 		<ul style="list-style-type: none"> Echantillonneur automatique 	

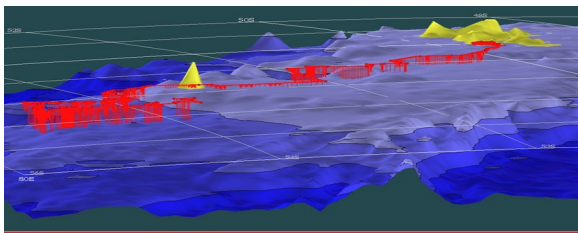
OPB 201 Mesures en Mer	Master Océanographie 1 ^{ère} année Spécialité Physique et Biogéochimique	A. Petrenko chap 5
------------------------	--	-----------------------

3.5 Autres plateformes mouvantes mais non lagrangiennes

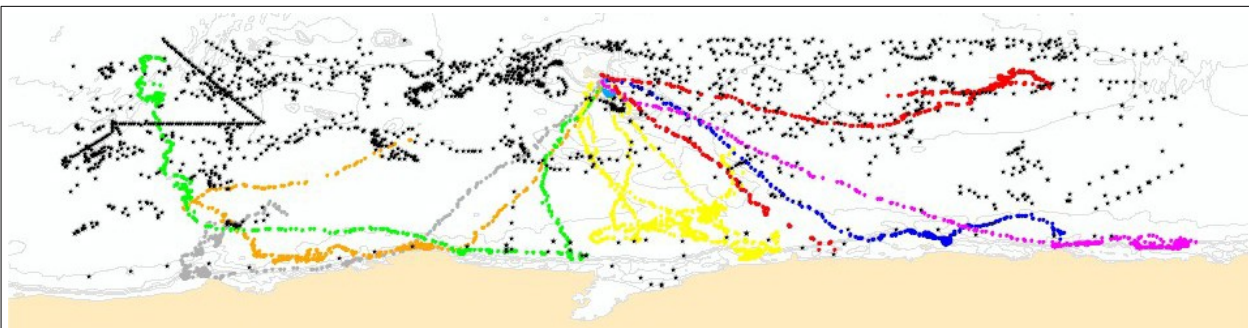
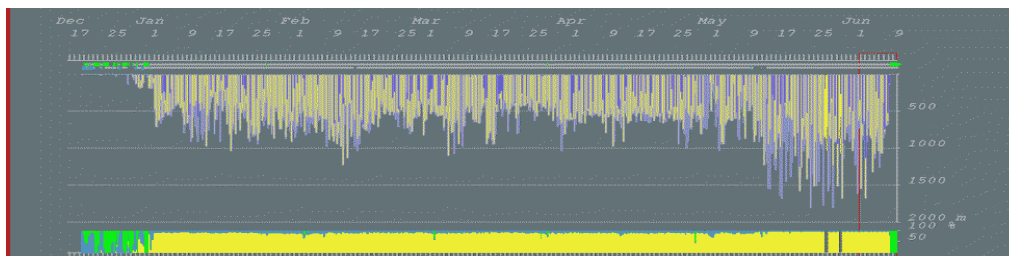
Arctique



Le capteur CTD utilisé pour cette étude est un appareil standard (valeport, Model 606+ CTD ; <http://www.valeport.co.uk>); résolution des mesures : 0.002 °C, 0.003 ms/cm, 5 dbar



Track and benthic dives (> 1500 m) of the elephant seal male 2845 (August 2003)
Eléphants de mer « CTD 2845 » ; sur l'ensemble max depth : 1812 m on June 9, 2003



Apport du jeu de données « Eléphants de mer » à l'ensemble du contenu de la Base Coriolis

3.6 Autre plateforme « spéciale » - FLIP (*F*L*o*ating *I*nstrument *P*latform)

http://en.wikipedia.org/wiki/RV_FLIP

plateforme mise à l'eau en 1962 ; Office of Naval Research ; 117 mètres de long ; capable de pivoter de 90° avec seulement 17 mètres dépassant hors de l'eau ; but : accroître stabilité des mesures

Tracté à l'horizontale jusqu'à la zone d'étude, il bascule en position verticale par remplissage des ballasts à l'eau de mer.



OPB 201 Mesures en Mer	Master Océanographie 1 ^{ère} année Spécialité Physique et Biogéochimique	A. Petrenko chap 5
------------------------	--	-----------------------

Autres plateformes plus récentes

Polar Pod (<http://jeanlouisetienne.com/polarpod/>)

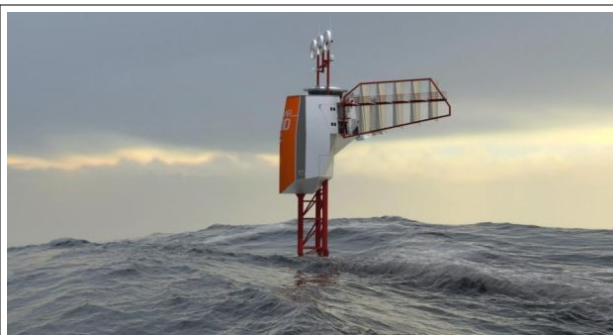
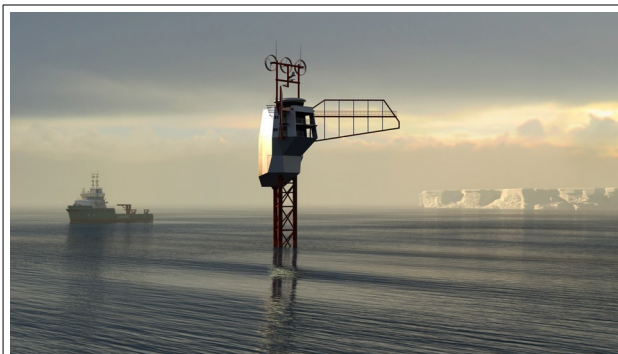
Expédition Jean-Louis Etienne (financement de l'état français ; décision en déc 2017) dans le Courant Circumpolaire pour une année de dérive autour du continent Antarctique – Envoi de données en temps réel aux scientifiques partenaires

L'idée est inspirée du FLIP, la plateforme dérivante de la flotte océanographique américaine, toujours en activité après 60 ans au service de la recherche. La conception du Polar Pod est une synthèse entre l'expérience du FLIP américain et la technologie des flotteurs des futures grandes éoliennes offshore. Cette plateforme est spécialement adaptée pour l'étude de:

. Echanges atmosphère - océan (CO₂, acidification) ; Dynamique des vagues ; Validation en mer des mesures satellitaires ; Mesures de courants et profil d'océan ; Collectes de planctons ; Enregistrement des transmissions acoustiques des mammifères marins, du krill, et du bruit de fond de l'océan ; Mesures des aérosols et leurs sources ; Observation de la faune marine, baleines, oiseaux de mer ...

Caractéristiques techniques du POLAR POD

Cette plateforme de 100 m de hauteur pour un poids de 720 tonnes est dimensionnée pour affronter les plus grosses vagues des "cinquantièmes hurlants", données issues des observations par satellite. Sa période de pilonnage, plus longue que celle de la houle, permet de ne pas entrer en résonance avec les mouvements de la mer.



Le projet Polar Pod prévoit la construction d'une sorte de navire vertical qui devrait effectuer dès fin 2023 deux tours du monde dans les eaux du Courant Circumpolaire Antarctique, le courant le plus puissant de l'océan mondial. Portée par les courants, sans coque, mais plantée dans les masses d'eau profondes grâce à un lest, cette structure innovante est conçue pour être stable même par forte houle, sans moteur et peu perturbant pour le milieu. Parce qu'il permet de rester sur zone toute l'année, cet outil devrait ouvrir la voie à des recherches inédites. (Dernières nouvelles du CNRS-INSU n°363, 31/03/2021).

Sea Orbiter (<http://seaorbiter.com/vaisseau/>)

Fondation Jacques Rougerie (architecte passionné par la mer) - vulgarisation scientifique

<https://fr.wikipedia.org/wiki/SeaOrbiter>:

SeaOrbiter est à la fois un projet de « vaisseau d'exploration des océans » et un « laboratoire océanographique flottant » dirigé par l'architecte français Jacques Rougerie, l'océanographe

OPB 201 Mesures en Mer	Master Océanographie 1 ^{ère} année Spécialité Physique et Biogéochimique	A. Petrenko chap 5
------------------------	--	-----------------------

Jacques Piccard et le spationaute Jean-Loup Chrétien. La construction du vaisseau a commencé fin 2014. La construction de l'œil de la station est achevée en décembre 2016, et le planning de la mise à l'eau d'un premier prototype était prévue en 2020... (à suivre).



Il y a aussi beaucoup de développement en vue d'avoir des plateformes autonomes.

« La direction de la Flotte océanographique (DFO) étudie la possible intégration de navires autonomes (Unmanned Surface Vehicle (USV)) au sein de la Flotte océanographique française. Ces systèmes pourraient venir en complément des navires afin de densifier les acquisitions ou en remplacement de ceux-ci pour des applications ciblées et très spécifiques. L'objectif général recherché est bien d'optimiser l'utilisation de la Flotte quant à ses coûts, son impact environnemental, la quantité ainsi que la qualité des données acquises » (voir

OPB 201 Mesures en Mer	Master Océanographie 1 ^{ère} année Spécialité Physique et Biogéochimique	A. Petrenko chap 5
------------------------	--	-----------------------

<https://www.flotteoceanographique.fr/Toutes-les-actualites/Une-mission-d-evaluation-du-navire-autonome-DRIX-d-iXblue>).



La mission d'évaluation du navire autonome DRIX, initialement prévue du 2 au 7 octobre en baie de Seine, se déroulera en Méditerranée du 10 au 15 novembre

Une mission d'évaluation du navire autonome DRIX d'iXblue

L'unité Navires et systèmes embarqués à la direction de la Flotte océanographique s'apprête à tester, du 10 au 15 novembre 2021, un navire nouvelle génération, le DRIX, conçu par l'entreprise iXblue.

OPB 201 Mesures en Mer	Master Océanographie 1 ^{ère} année Spécialité Physique et Biogéochimique	A. Petrenko chap 5
------------------------	--	-----------------------

III) FORMATION EMBARQUEE - BATHYSONDE du MIO – TETHYS - MVP

A) BATHYSONDE du MIO

Capteur de température SBE 3
 Capteur de conductivité SBE 4
 Capteur de pression Digiquartz
 Capteur d'oxygène SBE 13
 Transmissomètre Sea-Tech (trajet optique 25 cm)
 Capteur d'irradiance (PAR) Biospherical
 Fluorimètre Chelsea, Acquatracka III ou Wetlabs FLRTD

+ Rosette ou carrousel Sea-Bird SBE 32, équipé de 12 bouteilles Niskin de 12 litres

Calibration des données (adapté de D. Taillez, G. Coustillier et M. Lafont)

1) pression

Les capteurs de pression Digiquartz présentent une dérive très faible qui permet de ne pas devoir les ré-étalonner régulièrement. Sinon, la sonde de pression est calibrée par le service de calibration de l'Ifremer à Brest, qui dispose d'une balance de pression. On peut observer une dérive du zéro de la sonde ; dans ce cas, on utilise une correction :

$$P = a \times P_{\text{mesuré}} - b \quad (a \text{ proche de } 0.999)$$

Les sondes Digiquartz sont en principe dénuées d'hystérésis.

2) température

Les sondes de températures SEABIRD sont données pour une exactitude initiale de 0,002 °C et une stabilité typique de 0,0003 °C par mois.

Le capteur est calibré par SEABIRD, qui dispose d'un centre de calibration agréé par le National Bureau of Standard, en général, avant et après une grande campagne ou tous les ans.

La température fournie est donnée dans la nouvelle échelle pratique de mesure de la température, adoptée en 1990 comme standard et désignée par ITS-90. Elle diffère de la précédente (1968) par la relation :

$$T_{[\text{ITS-90}]} = 0,99976 \times T_{[\text{ITS-68}]}$$

Il convient de noter qu'il faut repasser dans l'échelle de 1968 pour le calcul de la salinité dont les formules n'ont pas changé.

Par contre pour avoir la température conservative, il faut utiliser les scripts de TEOS10 (idem pour la salinité absolue).

3) conductivité

Les capteurs de conductivité peuvent être soumis à des dérives plus importantes, compte tenu des salissures (fouling) qui peuvent en modifier la géométrie. Typiquement, un capteur de conductivité SEA-BIRD est exact à 0,0003 S/m et est stable à 0,0002 S/m et par mois.

OPB 201 Mesures en Mer	Master Océanographie 1 ^{ère} année Spécialité Physique et Biogéochimique	A. Petrenko chap 5
------------------------	--	-----------------------

La dérive pendant une campagne est calculée par la mesure des échantillons de salinité prélevés à bord (rappel : la salinité est sans unité).

Pour avoir la salinité absolue, il faut utiliser les scripts de TEOS10.

4) oxygène dissous

Le capteur à oxygène est un capteur à électrodes, utilisant la méthode de Clark. Le courant qui circule à travers les électrodes est proportionnel à la quantité d'oxygène qui a diffusé.

Bien que calibré avant la campagne, un capteur d'oxygène est toujours recalibré en mer par une méthode chimique (Winkler) sur des échantillons, si possibles prélevés à chaque profil. La méthode de calcul utilisée pour le calcul de l'oxygène dissous est la méthode décrite par Owens et Millard. Les valeurs sont données sous deux formes : en ml/l et en $\mu\text{mole/kg}$ qui est l'unité standard.

5) fluorimètre

Le fluorimètre utilisé permet de visualiser la concentration en phytoplancton à partir de la fluorescence stimulée de la chlorophylle *a*. Les cellules qui possèdent de la chlorophylle *a* ont en effet la propriété, lorsqu'elles sont excitées par une lumière appropriée (ici une lumière bleue émise par une lampe flash), de réémettre une lumière rouge autour de 685 nm. En première approximation, l'énergie mesurée est proportionnelle à la quantité de chlorophylle *a* par une relation linéaire du type :

$$\text{chl}a \text{ (mg.m}^{-3}\text{)} = A \times V_{\text{mesuré}} + B$$

Les valeurs de A et B peuvent donc être calculées par régression par des mesures discrètes de chlorophylle *a* effectuées par d'autres méthodes (spectrophotométrie ou HPLC).

Cependant, compte tenu de la difficulté d'avoir une relation parfaitement linéaire, en raison du fait que la fluorescence varie tout aussi bien avec les espèces rencontrées, les conditions d'éclairement locales, la charge en particules autres que phytoplanctoniques, etc. , on donne les valeurs de fluorescence en "unités relatives", sachant que ce qui importe le plus au biologiste est la profondeur du maximum de fluorescence.

Droite : Exemple de la chlorophylle, verte à la lumière visible, émettant une lumière rouge lorsqu'elle est éclairée par une lumière UV ou bleue, visible si on se met dans le noir (Photo: Marie Franzen, Wikipedia)



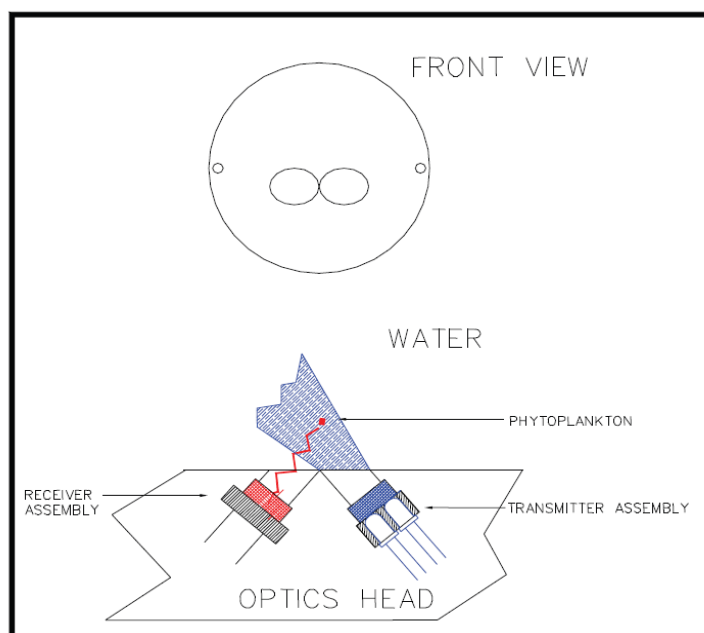
OPB 201 Mesures en Mer	Master Océanographie 1 ^{ère} année Spécialité Physique et Biogéochimique	A. Petrenko chap 5
------------------------	--	-----------------------

Les longueurs d'onde utilisées peuvent varier suivant les instruments. Dans le tableau suivant, la longueur d'onde du centre de la bande est suivie, entre parenthèses, par la largeur de la bande lumineuse.

Fluorimètre	Excitation	Emission
Chelsea AcquaTracka (COM jusqu'en 2010, remis en état, réutilisé actuellement)	430 nm (105 nm)	685 nm (30 nm)
Turner	460 nm	620-715 nm
WetLabs FLR ECO (MIO)	470 nm	695 nm
WetLabs WetStar	460 nm	695 nm
Ancien SeaTech	425 nm (200 nm)	685 nm (30 nm)

Ex/Em: 470/695 nm • Sensitivity: 0.02µg/l • Linearity: 99%R² • Range: 0.01–125 µg/l

The *Environmental Characterization Optics*, or *ECO* miniature fluorometer allows the user to measure relative chlorophyll, CDOM, uranine, phycocyanin, or phycoerythrin concentrations by directly measuring the amount of fluorescence emission in a sample volume of water. The *ECO* uses an LED to provide the excitation source. An interference filter is used to reject the small amount of out-of-band light emitted by the LED. The light from the source enters the water volume at an angle of approximately 55–60 degrees with respect to the end face of the unit. Fluoresced light is received by a detector positioned where the acceptance angle forms a 140-degree intersection with the source beam. An interference filter is used to discriminate against the scattered excitation light.



Optical configuration of *ECO* fluorometer

Autres applications possibles environnementales:

OPB 201 Mesures en Mer	Master Océanographie 1 ^{ère} année Spécialité Physique et Biogéochimique	A. Petrenko chap 5
------------------------	--	-----------------------

* Obtain **CDOM** fluorescence across a wide range of environments, from mangrove swamps to oligotrophic blue water.

Ex/Em: 370/460 nm • Sensitivity: 0.09 ppb QS • Linearity: 99%R² • Range: 0–500 ppb

* *ECO* phycobilin fluorometers have the high resolution necessary for early detection of either blue-green (phycocyanin) or brown (phycoerythrin) algae. These fluorometers are relative measurement instruments and should be calibrated by cell counts for a particular water mass.

Phycocyanin Ex/Em: 630/680 • Sensitivity: 0.05 ppt • Linearity: 99%R • Range: 0–400 ppt

Rhodamine (and Phycoerythrin) Ex/Em: 540/570 nm • Sensitivity: 0.03 ppb • Linearity: 99%R² • Range: 0–230 ppb

* Dye tracers can be done ex with fluorescein: **Uranine** (fluorescein) Ex/Em: 470/530 nm • Sensitivity: 0.05 ppb • Linearity: 99%R² • Range: 0–400 ppb

(pour détails aller voir le site web de la compagnie WetLabs: <http://www.wetlabs.com/>)

6) transmission – Atténuation de la lumière

L'atténuation d'un faisceau lumineux qui se propage dans le milieu marin est due à la diffusion (b) et à l'absorption (a), dont la somme est nommée l'atténuation ($c = a + b$). Les transmissomètres sont des instruments qui tentent de mesurer ces pertes.

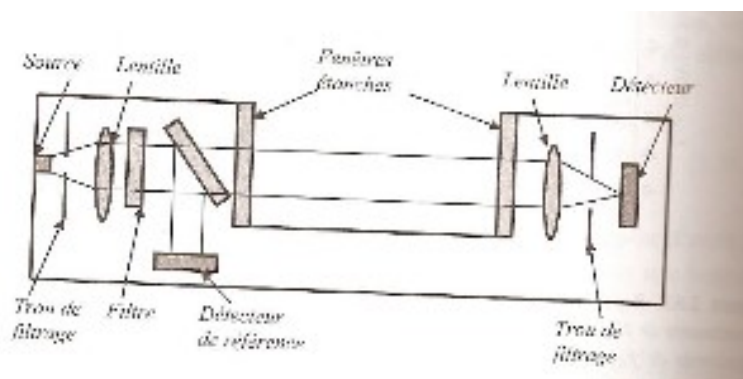


Schéma de principe d'un transmissomètre (document WetLabs, C Star)

Le transmissomètre Sea-Tech mesure, sur un trajet optique direct de 25 cm, l'atténuation d'un pinceau lumineux collimaté, de longueur d'onde 660 nm. Le signal mesuré dans l'air correspondant à une transmission de 100 %, le signal mesuré dans l'eau permettra donc de calculer un coefficient de transmission, exprimé en % ; **ce coefficient est d'autant plus élevé que l'eau est claire.**

OPB 201 Mesures en Mer	Master Océanographie 1 ^{ère} année Spécialité Physique et Biogéochimique	A. Petrenko chap 5
------------------------	--	-----------------------

On exprime cette mesure par le coefficient d'atténuation c , lié à la transmission par la relation

$$Tr = e^{-cz} \quad \text{soit} \quad c = -\ln(Tr) / z$$

où $Tr = Tr / 100$ et où z est le chemin optique. soit, puisque $z = 25 \text{ cm}$: $c = -4 \ln(Tr)$

Le coefficient c s'exprime en m^{-1} . Sa valeur, pour l'eau optiquement pure est $0,364 m^{-1}$ (toujours avec un trajet optique de 25 cm) ; ce qui fournit le résultat $Tr = 91,3 \%$ si la référence de calibration est l'air. Par contre, à l'heure actuelle, beaucoup des instruments sont calibrés par rapport à l'eau pure de façon à ce que la Transmission Tr de référence soit 100% .

7) PAR ou quantamètre (quanta, autre nom pour photon)

La mesure du **PAR (Photosynthetically Available Radiation)** est un nombre de photons, de longueur d'onde comprise entre 400 et 700 nm (c'est donc une quantité non spectrale), reçus par une surface donnée, pendant un intervalle de temps donné, et venant de toutes les directions (unité : photons/s/m^2 ou Einstein/s/m^2 ; avec $1 \text{ Einstein} = 1 \text{ Na photons} = 6,023 \cdot 10^{23} \text{ photons}$; Na étant le nombre d'Avogadro).

$$PAR = \int_{400}^{700} E_o \frac{\lambda}{hc} d\lambda \quad \text{Souvent donnée en unité de} \quad \mu\text{Einst } m^{-2} s^{-1}$$

Attention PAR n'est pas une mesure spectrale (car elle n'est pas à une longueur d'onde donnée). Ce n'est pas non plus une mesure d'énergie.

Il faut se méfier des valeurs de PAR fournies en Watt. Si c'est le cas, cela veut dire que ces valeurs de PAR (= nbre de photons) ont subi une transformation s'appuyant sur une hypothèse de composition de l'eau, et donc de distribution des photons.

Elle dérive généralement de l'article Morel et Smith, 1974 (Limnol, 19 (4), Relation between total quanta and total energy for aquatic photosynthesis); ou le facteur de conversion Quanta/Energie est $1 \text{ Watt} \approx 2,5 \cdot 10^{18} \text{ quanta } s^{-1} \approx 2,5 \cdot 10^{18} \text{ photons } s^{-1} \approx 4,2 \mu \text{Einst } s^{-1}$. Cette relation peut ne pas être adaptée à des milieux côtiers non oligotrophes.

Rappel : $1 \text{ Watt} = 1 \text{ J/s} = 1 \text{ N.m/s} = 1 \text{ kg.m}^2 / \text{s}^3$

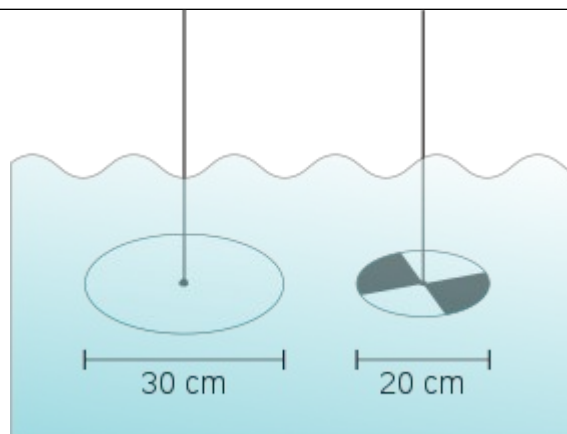
+ utilisation du disque Secchi

Compter le nombre de mètre pour lesquels on peut voir le disque (attention indiquer l'angle d'inclinaison de la corde si celle-ci est inclinée). Cela permet d'e, déduire, avec la table qui suit, la pénétration de la lumière en profondeur.

Historique : Secchi (1818-1878), prêtre jésuite italien, est reconnu comme étant un des pionniers de la spectroscopie et a laissé son nom à un instrument de mesure de la transparence de l'eau, très simple d'utilisation, encore employé en océanographie. Il l'a déployé la 1^{ère} fois sur un bateau papal (« L'Immaculée Conception ») le 20 avril 1855.

SECCHI	I50	I30	I15	I5	I1	I01
2	0.82	1.42	2.23	3.52	5.42	8.13
3	1.22	2.12	3.35	5.29	8.13	12.19
4	1.63	2.83	4.46	7.05	10.84	16.25
5	2.04	3.54	5.58	8.81	13.54	20.32
6	2.45	4.25	6.70	10.57	16.25	24.38
7	2.85	4.96	7.81	12.34	18.96	28.44
8	3.26	5.67	8.93	14.10	21.67	32.51
9	3.67	6.37	10.04	15.86	24.38	36.57
10	4.08	7.08	11.16	17.62	27.09	40.63
11	4.49	7.79	12.28	19.38	29.80	44.70
12	4.89	8.50	13.39	21.15	32.51	48.76
13	5.30	9.21	14.51	22.91	35.22	52.82
14	5.71	9.92	15.62	24.67	37.92	56.89
15	6.12	10.62	16.74	26.43	40.63	60.95
16	6.52	11.33	17.86	28.20	43.34	65.01
17	6.93	12.04	18.97	29.96	46.05	69.08
18	7.34	12.75	20.09	31.72	48.76	73.14
19	7.75	13.46	21.20	33.48	51.47	77.20
20	8.15	14.16	22.32	35.24	54.18	81.27
21	8.56	14.87	23.44	37.01	56.89	85.33
22	8.97	15.58	24.55	38.77	59.60	89.39
23	9.38	16.29	25.67	40.53	62.31	93.46
24	9.79	17.00	26.78	42.29	65.01	97.52
25	10.19	17.71	27.90	44.05	67.72	101.58
26	10.60	18.41	29.01	45.82	70.43	105.65
27	11.01	19.12	30.13	47.58	73.14	109.71
28	11.42	19.83	31.25	49.34	75.85	113.77
29	11.82	20.54	32.36	51.10	78.56	117.84
30	12.23	21.25	33.48	52.87	81.27	121.90
31	12.64	21.95	34.59	54.63	83.98	125.96
32	13.05	22.66	35.71	56.39	86.69	130.03
33	13.46	23.37	36.83	58.15	89.39	134.09
34	13.86	24.08	37.94	59.91	92.10	138.16

Tableau des profondeurs (en mètres) des niveaux d'éclairement par rapport à la profondeur du disque Secchi (en mètres) donnée dans la première colonne



Disque océanographique (gauche), limnologique (droite)

OPB 201 Mesures en Mer	Master Océanographie 1 ^{ère} année Spécialité Physique et Biogéochimique	A. Petrenko chap 5
------------------------	--	-----------------------

B) Téthys II

[La flotte](#)>[Navires](#)>[Navires côtiers](#)>Téthys II

(<http://www.flotteoceanographique.fr/La-flotte/Navires/Navires-cotiers/Tethys-II>)



Ce navire océanographique effectue des missions de recherches scientifiques principalement en mer Méditerranée. Il peut effectuer des missions d'une dizaine de jours jusqu'à 200 milles du port. Ce navire côtier instrumenté satisfait aux besoins des chercheurs dans le domaine des géosciences marines, de l'océanographie physique et biologique, la bio-géochimie et la chimie des océans. Il contribue également aux missions d'observation à long terme de l'environnement marin et à des missions de recherches et d'essais dans les différents domaines de la technologie marine. Ce navire peut également effectuer des missions d'enseignement pour les 2^{ème} et 3^{ème} cycle des Universités.

Caractéristiques du navire

- **Longueur hors tout** : 24.90 m
- **Largeur hors tout** : 7.50 m
- **Tirant d'eau** : 3.20 m
- **Capacité gasoil** : 30 m³
- **Consommation** : 110 litres/heures
- **Effectif navigant** : 7 personnes
- **Scientifiques, techniciens et hydrographes embarqués** : 12 personnes maximum
- **Vitesse moyenne d'exploitation en transit et en campagne** : 10 noeuds
- **Vitesse moyenne aux essais** : 11 noeuds
- **Autonomie** : 10 jours à 11 noeuds

OPB 201 Mesures en Mer	Master Océanographie 1 ^{ère} année Spécialité Physique et Biogéochimique	A. Petrenko chap 5
------------------------	--	-----------------------

- **Ballast eau douce** : 21 m³
- **Ballast eaux usées** : 3 m³
- **Construction** : 1993, chantier Piriou de Concarneau, France
- **Propriétaire** : CNRS-INSU

Propulsion / auxiliaires

- **Moteur de propulsion** : type classique, diesel électrique
POYAUD UD 25V12 478 KW à 1300 tr/mn
- **Propulseur** : tube/hélice 558.8 mm Poussée 660 kgf
- **Production électrique** : 1 Groupe électrogène 85 KVA moteur Perkins + 1 Groupe électrogène 55 KVA moteur Perkins, onduleurs 6 et 3 KVA.

Navigation et positionnement

- Pilote automatique Havant Navitron NT 777
- Radar JRC JMA 5200
- Radar JRC JMA 5100
- Digital Gyrocompas System navigat XMK2
- Deux DGPS RS Supreme SAAB
- AIS SAAB
- Logiciel de navigation et cartographie Maxsea
- Logiciel de navigation et cartographie ECDISPILOT BASIC

Equipements installés – Communication

- Tél par GSM

Note : Le réseau GSM (Global System for Mobile communications) constitue au début du 21^{ème} siècle le standard de téléphonie mobile le plus utilisé en Europe. Il s'agit d'un standard de téléphonie dit « de seconde génération » (2G) car, contrairement à la première génération de téléphones portables, les communications fonctionnent selon un mode entièrement numérique. Baptisé « Groupe Spécial Mobile » à l'origine de sa normalisation en 1982, il est devenu une norme internationale nommée « Global System for Mobile communications » en 1991. En Europe, le standard GSM utilise les bandes de fréquences 900 MHz et 1800 MHz. Aux Etats-Unis par contre, les bandes de fréquences utilisées sont les bandes 850 MHz et 1900 MHz. Ainsi, on qualifie de tri-bande (parfois noté tribande), les téléphones portables pouvant fonctionner en Europe et aux Etats-Unis et de bi-bande ceux fonctionnant uniquement en Europe. La norme GSM autorise un débit maximal de 9,6 kbps, ce qui permet de transmettre la voix ainsi que des données numériques de faible volume, par exemple des messages textes (SMS, pour Short Message Service) ou des messages multimédias (MMS, pour Multimedia Message Service).

- Téléphone Inmarsat fleet 33 couverture mondiale

Note : Inmarsat (pour International maritime satellite organization) est une compagnie de télécommunication anglaise. Inmarsat était au départ une organisation internationale fondée en 1979. Elle a été privatisée en avril 1999.

OPB 201 Mesures en Mer	Master Océanographie 1 ^{ère} année Spécialité Physique et Biogéochimie	A. Petrenko chap 5
------------------------	--	-----------------------

Le système Inmarsat est composé de satellites géostationnaires (14 en 2022), stations terrestres (LES et LESO) et stations mobiles (MES). Il fournit aux stations mobiles un confort de communication proche de celui à terre, chaque système ayant ses particularités et son coût. Inmarsat a travaillé avec Boeing sur la nouvelle génération (Inmarsat 5) qui exploite la bande de fréquences Ka et qui permet de fournir des débits bien supérieurs (jusqu'à 50 Mbit/s).

- Téléphone et fax par lien VSAT couverture Méditerranée élargie

Le sigle VSAT, pour Very Small Aperture Terminal (« terminal à très petite ouverture ») désigne une technique de communication par satellite bidirectionnelle qui utilise des antennes paraboliques dont le diamètre est inférieur à 3 mètres (généralement compris entre 0,75 m et 1,2 m). Cette technique de communication nécessite donc peu de moyens au sol. Le VSAT peut donc être utile pour relier un petit site aux réseaux de communication, que ce soit pour la téléphonie ou pour l'accès à Internet.

NB: Le VSAT est un concept et non une norme, car il dépend de chaque constructeur.

+ Equipements installés :

- Station radio SMDSM Sailor RT 2048 VHF
- Une VHF DSC RM 2042 (70ASN)
- Un navtex NT 900
- Un skanti 2182 WR 6000
- Deux VHF portable FM transceiver YAESU
- Un gonio VHF Océanide MK2
- Brother FAX-T104

Réseau informatique

- Réseau système VSAT :Lien satellite permettant d'avoir une communication permanente (7j/7 24h/24) en Méditerranée élargie. Equivalent à un réseau ADSL à terre.
Prises réseau RJ45 à la passerelle (priorité au bord), au labo sec et au labo humide
- WIFI ; Débit maximum (BURST) : 1024 kbps avec une contention de 8:1. Cela veut dire que nous pourrions être au maximum 8 bateaux à se partager ce débit et au mieux seuls à utiliser toute la bande passante de 1024 kbps
- Stations informatiques : Windows, Linux

Equipements et locaux scientifiques

- Sondeur Simrad EA600 bi fréquence 12 / 200 kHz
- Sondeur JMC f-3000 bi fréquence 50 / 200 kHz
- GPS 2 têtes Hemisphere VS330 (position, cap et attitude ; trames disponibles sur prises DB9 à la passerelle, au labo humide et au labo sec)
- ADCP de coque RDI Ocean Surveyor 75 kHz (acquisition données courantométriques)
- Centrale Météo France appelée batos
- Fluorimètre 10-AU-005-CE Turner Designs
- Thermosalinomètre SBE 21 (fréquence 4Hz)
- Une perche acoustique

OPB 201 Mesures en Mer	Master Océanographie 1 ^{ère} année Spécialité Physique et Biogéochimique	A. Petrenko chap 5
------------------------	--	-----------------------

- 2 laboratoires scientifiques d'une superficie totale d'environ 14 m²
- laboratoire humide : 9.4 m²
- laboratoire polyvalent : 4.5 m²
- 1 espace bureau scientifique en passerelle : 3 m²
- Surface plage arrière : 22 m²
- Emplacement pour 1 conteneur équivalent 10 pieds sur la plage arrière.

Appareaux de pont

Portique arrière basculant

- CMU 5 tonnes

Treuil mobiles

- 1 x treuil de pêche L : 2100 m D : 14 mm
- 1 x treuil de carottage L : 4000 m D : 10.5 mm
- 1 x treuil hydrologie L : 3000 m D : 4.8 mm
- 1 x treuil électroporteur L : 3600 m D : 6.45 mm
- Grue latérale tribord de manutention : CMU : 1 T à 5.10 m

Zones de navigation/effectifs

Le navire est armé en **2ème catégorie (navigation < 200 miles de la côte)**

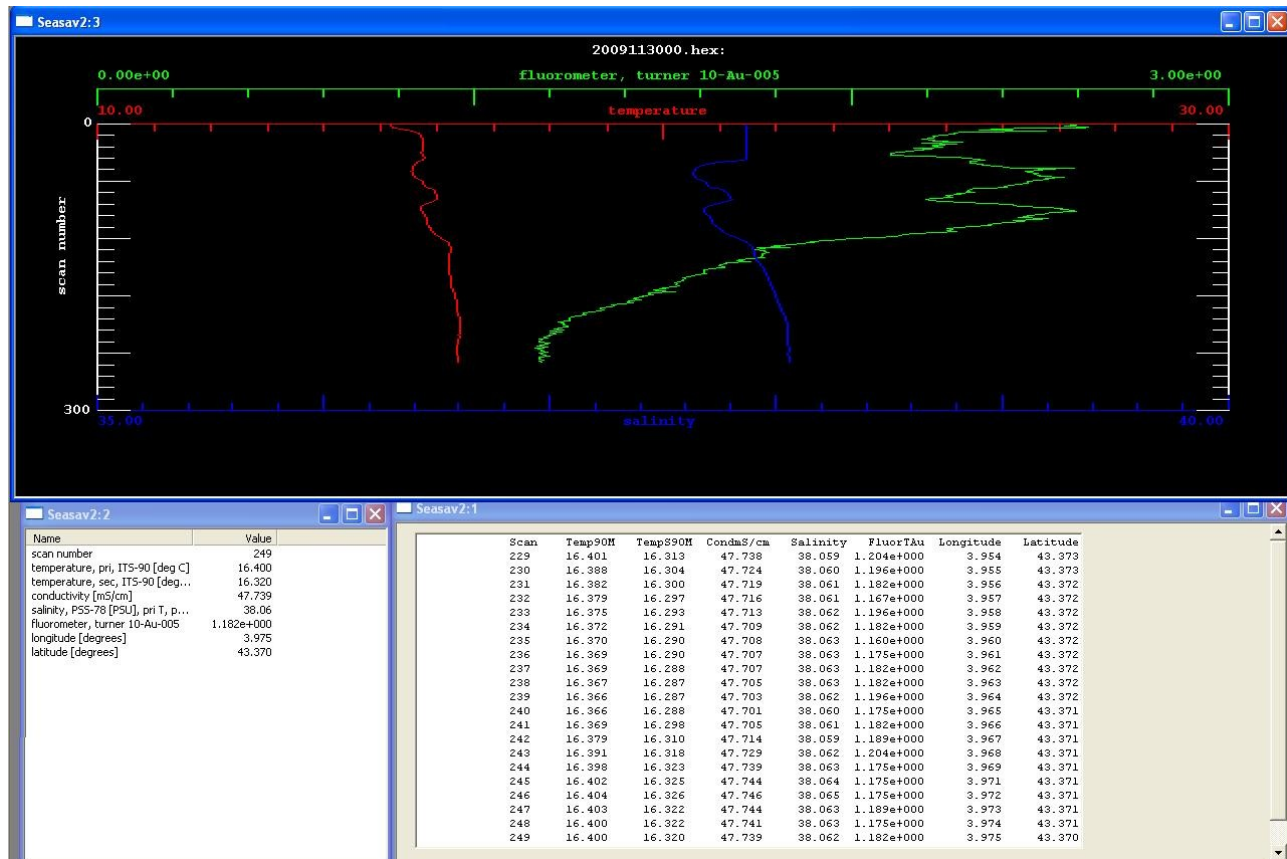
La décision d'effectif en configuration 2ème catégorie est la suivante :

- équipage : 7 personnes
- personnel spécial : 8 personnes
- total : 15 personnes

Le navire possède également une deuxième décision d'effectif pour des sorties en mer de moins de 24 heures et dans la limite de la **3ème catégorie (distance < 20 miles de la côte)**

- équipage : 7 personnes
- personnel spécial : 12 personnes
- total : 19 personnes

Thermosalinomètre mesures de l'eau pompée à la surface (fréquence d'acquisition 4Hz)
à l'écran

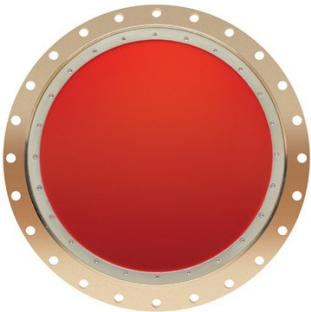


Sur l'écran de gauche en bas, la première température est celle du thermosalinomètre Seabird (mesurée en même temps que la conductivité) situé dans le laboratoire humide ; alors que la seconde température est celle de la thermistance de coque.



Notez quelques paires de température le plus simultanément possible de façon à évaluer la différence et voir si elle est systématique.

OPB 201 Mesures en Mer	Master Océanographie 1 ^{ère} année Spécialité Physique et Biogéochimique	A. Petrenko chap 5
------------------------	--	-----------------------

ADCP Ocean Surveyor 75 kHz (70 bins, le premier bin est à 19m ; si les bins sont de 8m → portée $\sim 19 + 69 \times 8 = 571$ m soit 19:8:571)

<p>Teledyne RDI Ocean Surveyor ADCP</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Patented BroadBand signal processing combined with NarrowBand processing. • Patented phased array transducers, significantly reducing transducer size. • Combined current profiling, backscatter profiling, and Doppler velocity logs. • Patented 4-beam design for data reliability. <p>(http://rdinstruments.com/product/adcp/ocean-surveyor-adcp)</p>
---	---

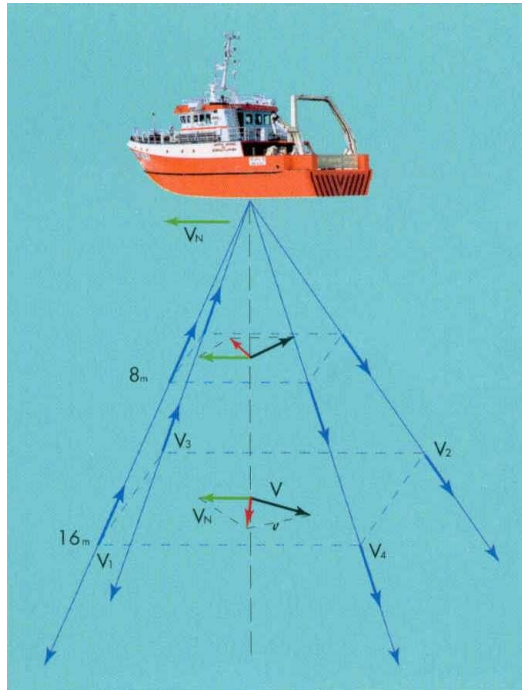
Ci-dessous : version précédente de l'ADCP (jusqu'en janvier 2015) ADCP RDI BB (BroadBand) 150 kHz avec 4 dalles acoustiques

	
Mise en place de l'ADCP sous la coque	Sous la coque (vue de l'avant)

Source : http://www.dt.insu.cnrs.fr/adcp/inst_tech.php

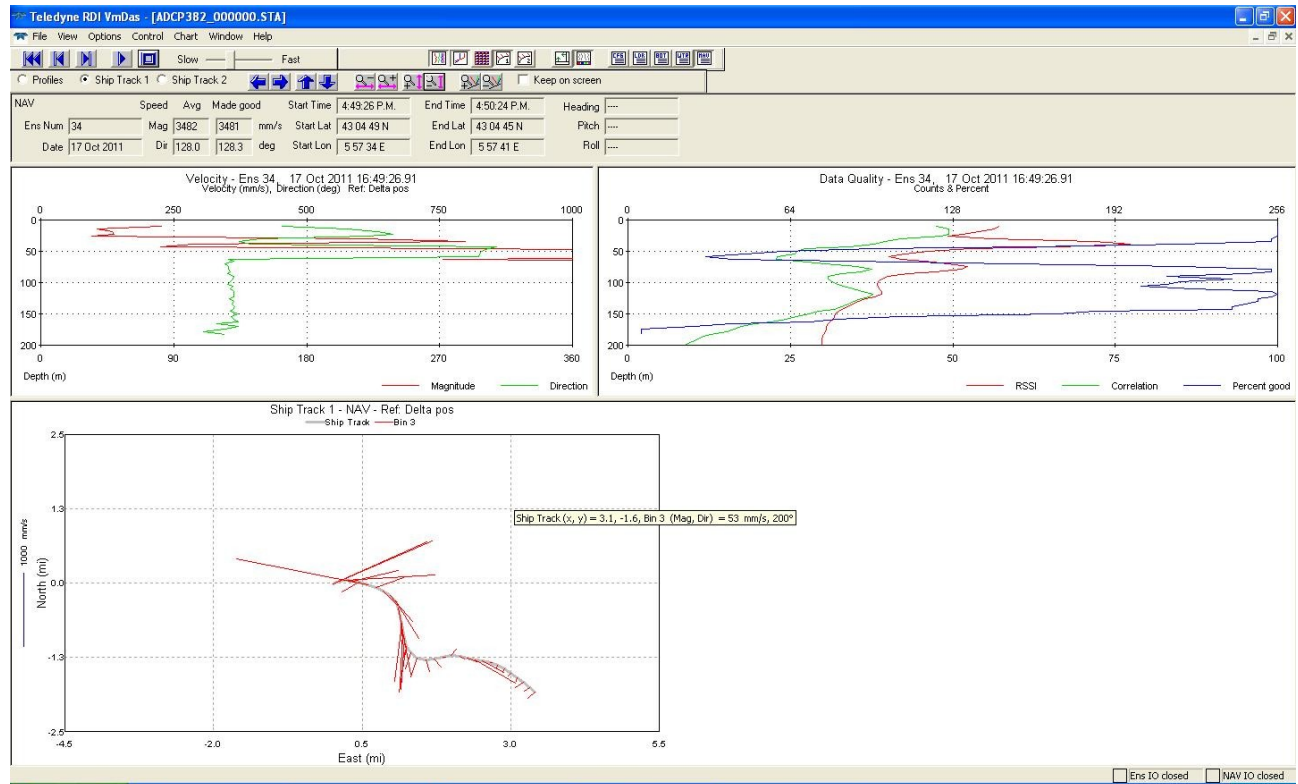


Rayons acoustiques de l'ADCP



Calcul du courant

À l'écran :



OPB 201 Mesures en Mer	Master Océanographie 1 ^{ère} année Spécialité Physique et Biogéochimique	A. Petrenko chap 5
------------------------	--	-----------------------

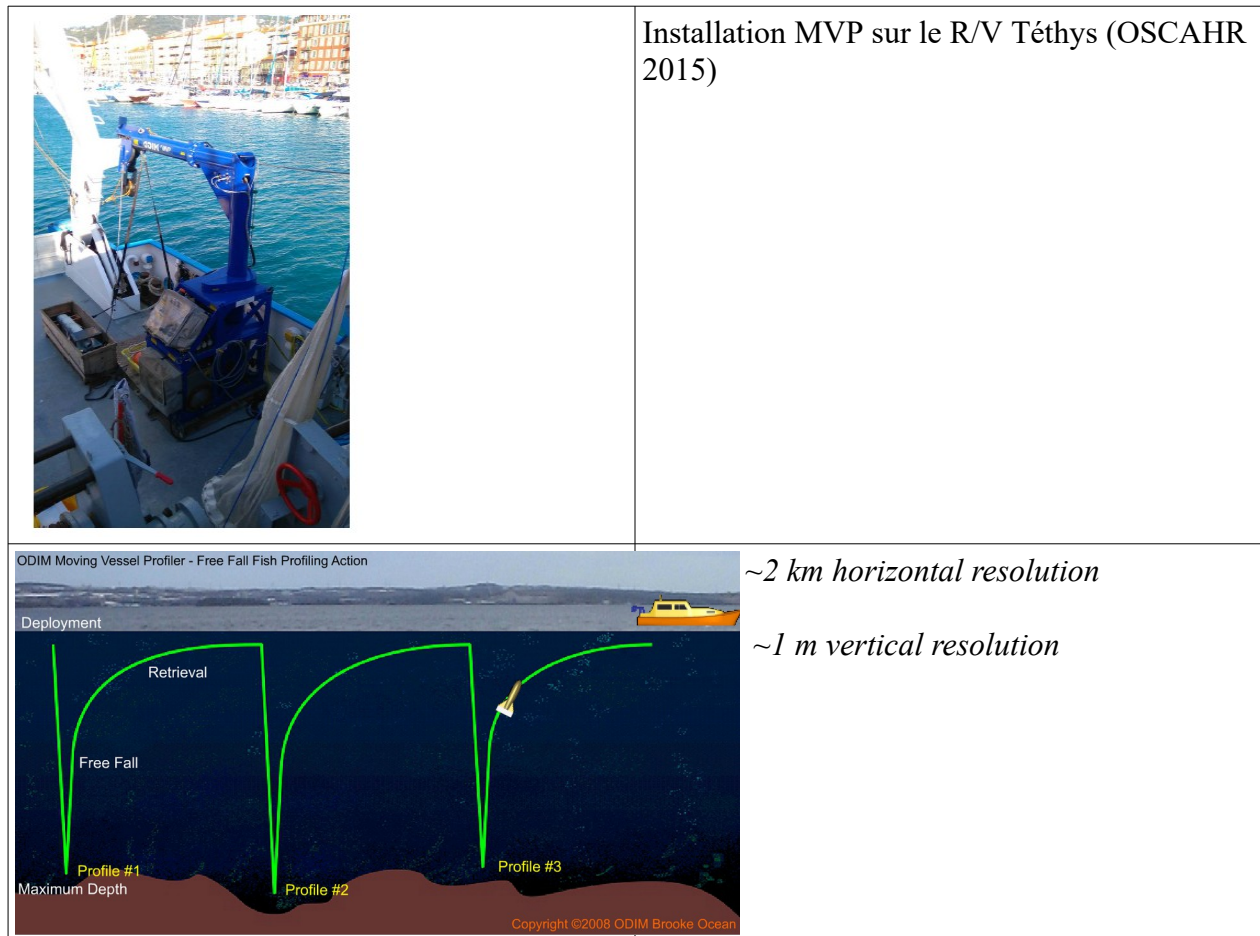
C) MVP

Le système MVP-*Moving Vessel Profiler* est un équipement innovant permettant d'effectuer des profils verticaux avec le bateau en mouvement, ce qui le rend un outil exceptionnel pour les études sur les petites échelles océaniques (dynamique à submesoéchelle, *patchiness* du plancton...).

Le système MVP se compose d'un treuil, d'un câble électroporteur et d'une plateforme profilante (le "poisson"). Il s'agit d'un système tracté permettant d'effectuer des profils verticaux de la surface à environ 300m de profondeur, en route avec le bateau avançant entre 4 à 10 noeuds.

Actuellement Genavir gère le treuil, le câble ainsi qu'un poisson de petite taille équipé d'une sonde température/vitesse du son/pression.

Le M.I.O. possède par ailleurs un poisson de plus grande taille, de type MSFFF-*MultiSensor Free Fall Fish* équipé de capteurs CTD, Fluorimètre et LOPC-*Laser Optical Particle Counter*. C'est donc un instrument unique pour des études synoptiques ciblant les petites échelles et le couplage *physique-biologie*.



OPB 201 Mesures en Mer	Master Océanographie 1 ^{ère} année Spécialité Physique et Biogéochimique	A. Petrenko chap 5
------------------------	--	-----------------------

Les poissons descendent à la verticale avec une vitesse de environ 4 m/s. Le nombre de profils verticaux par distance horizontale dépend de la profondeur échantillonnée et de la vitesse du navire.

Durée de vie :

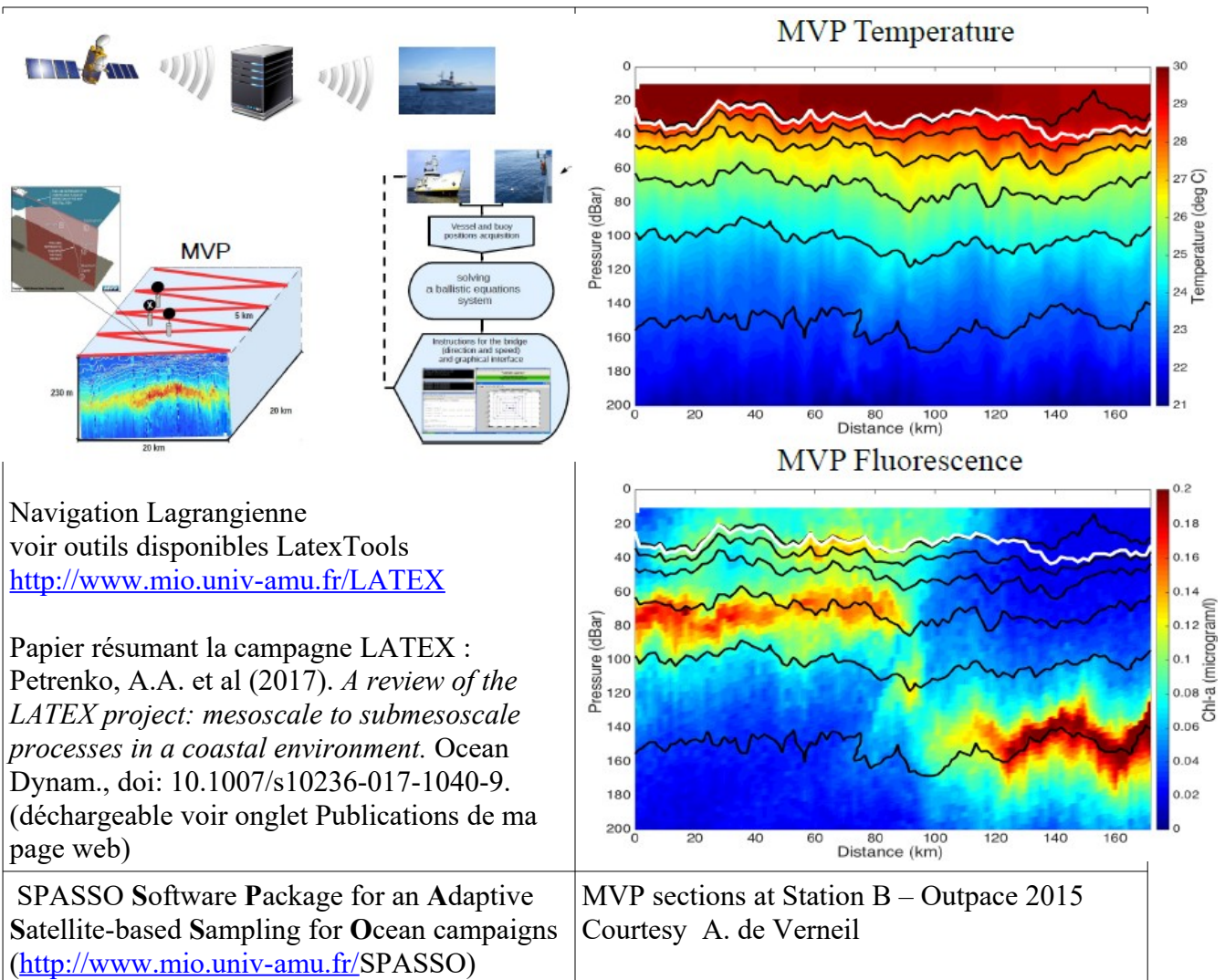
Le système MVP n'a pas de limite de durée de vie, mais il nécessite des maintenances régulières (remplacement du câble et des pièces de consommation, étalonnage des capteurs,...)

Coût d'achat : 400 000 euros

Coût de fonctionnement induit : 8 000 euros

Le fonctionnement du treuil est assuré par Génavir ; le fonctionnement du poisson MSFFF doit être pris en charge par le MIO : étalonnage capteurs, consommables.

Le poisson MSFFF du MIO a vocation à devenir un instrument à disposition de la communauté océanographique. Le MVP et poisson ont déjà été utilisés en 2015 lors de OUTPACE (Pis : T. Moutin et S. Bonnet) et OSCAHR (PIs A. Doglioli et G. Gregory), sur la campagne PEACETIME 2017 (PIs C.Guieu et K.Desboeufs), BIOSWOT (PI : F.d'Ovidio, 2018), FUMSECK (2019, PI S. Barrillon) et autres.

lien constructeur :http://www.brooke-ocean.com/mvp_main.html<http://www.brooke-ocean.com/flash-mvpfish.html>videohttps://www.youtube.com/watch?v=d7pscTN_x-gRéférences:

Li, Q. P., Franks, P. J., Ohman, M. D., & Landry, M. R. (2012). Enhanced nitrate fluxes and biological processes at a frontal zone in the southern California current system. JPR.

Meunier, T., Barton, E. D., Barreiro, B., & Torres, R. (2012). Upwelling filaments off Cap Blanc: Interaction of the NW African upwelling current and the Cape Verde frontal zone eddy field. JGR

de Verneil, A., and P. J. S. Franks (2015), A pseudo-Lagrangian method for remapping ocean biogeochemical tracer data: Calculation of net Chl-a growth rates, J. Geophys. Res. Oceans, 120, 4962–4979, doi:10.1002/2015JC010898.

OPB 201 Mesures en Mer	Master Océanographie 1 ^{ère} année Spécialité Physique et Biogéochimique	A. Petrenko chap 5
------------------------	--	-----------------------

ANNEXE FEUILLE « CAHIER DE BORD - LOGS »

a) Instruction pour la mise à l'eau de la bathysonde

	Communiquer avec l'équipage pour prévoir la station
	Avant l'arrêt à la station, noter les informations météo : Vent vrai (à 10 mètres), pression, T air et humidité. Demander au Capitaine les informations sur la nébulosité (en octa 1 dégagé, 8 couvert), la visibilité et l'état de la mer.
	Verifier que les bouteilles sont bien toutes ouvertes
	Mettre en marche le logiciel Seabird et préparer le nom de fichier pour la station à venir
	En position avant la mise à l'eau, mettre en marche l'alimentation
	Sur le pont qqun retire la seringue (conductivité) et le capuchon du PAR
	Mise à l'eau de la bathysonde – Start acquisition données
	Descendre à 10 m
	Surveillance de quand la pompe se met en marche et si les différentes mesures sont valables (Temperature, Salinite ...)
	Qd tt est en marche, demande de remontée a la surface et arrêt de l'acquisition
	Verifier la profondeur de la sonde
	Bathysonde un peu avant la surface
	Remettre en route l'acquisition en écrasant le fichier de données précédent (correspondant juste au test à 10m)
	Demande de descendre jusqu'à profondeur XX à 1m par sec
	Verification du profil lors de la descente
	Decision des profondeurs ou fermer les bouteilles a la remontée
	Pour fermeture de la prochaine bouteille : - indiquer au capitaine remontée jusqu'à profondeur YY - verifier si on arrive pres de la profondeur YY - dire les profondeurs principales a haute voix pour verification avec la profondeur du treuil vue par le capitaine - a la profondeur YY, fermeture d'une ou plusieurs bouteilles - attendre qq sec que le voyant Niskin s'éteigne avant de lancer une autre bouteille
	Approche de la surface Stop acquisition des données
	Demande au capitaine de remonter la bathysonde à bord
	Arrêter alimentation de la bathysonde
	Remettre capuchon PAR

OPB 201 Mesures en Mer	Master Océanographie 1 ^{ère} année Spécialité Physique et Biogéochimique	A. Petrenko chap 5
------------------------	--	-----------------------

	Rincer le trajet de la conductivité avec eau déminéralisée et remettre seringue
	Après fin des CTDs, rincer tte la bathysonde
	Laisser les bouteilles entre-ouvertes avec bouts de tuyaux plastiques

b) Cahier de bord CTD bathysonde et Mesures hors CTD ex Bouteille Cortiou

<h1>PROFIL CTD</h1>				Sonde Type / N° SBE 9plus /			
Mission : PHYBIO_2017				Date :			
Bateau : TETHYS II				Station :			
Position	Début	Fond	Fin	Sonde Bateau			
Latitude				Prof. Profil			
Longitude				Nom Fichier			
Heure HL / TU				Opérateur			
Météorologie			Unité	Carrousel			
Heure d'observation			HL / TU	b	Profond.	T °C	Salinité
Vent	Direction		degrés	1			
	Vitesse		Nœuds	2			
Pression atmosphérique			hpa	3			
Température air			°C	4			
Humidité			%	5			
Température mer surface			°C	6			
Salinité surface				7			
Etat de la mer				8			
Nébulosité (de 1 à 8*)			octas	9			
Visibilité			Km	10			
				11			
* 1 dégagé, 8 couvert				12			
Vérification de l'enregistrement du fichier sur le disque "STORING DATA TO DISK "							
OBSERVATIONS							

OPB 201 Mesures en Mer	Master Océanographie 1 ^{ère} année Spécialité Physique et Biogéochimique	A. Petrenko chap 5
------------------------	--	-----------------------

<h2 style="margin: 0;">OPERATION à la mer</h2> <h3 style="margin: 0;">(Hors CTD)</h3>					Mission : PHYBIO_2017	
					Bateau : TETHYS II	

Date :		Station		Météorologie		Unité
Opération 1						
	Heure HL/TU	Latitude	Longitude	Sonde Bateau		
Début						
Fin						
Nature de l'opération :				Heure d'observation		
Echantillons prélevés :				Vent		HL / TU
Commentaires :				Direction		degrés
				Vitesse		Nœuds
				Pression atmosphérique		hpa
				Température air		°C
				Humidité		%
				Température mer surface		°C
				Salinité surface		
				Etat de la mer		
				Nébulosité (de 1 à 8*)		octas
				Visibilité		Km

Opération 2				
	Heure HL/TU	Latitude	Longitude	Sonde Bateau
Début				
Fin				
Nature de l'opération :				
Echantillons prélevés :				
Commentaires :				

* 1 dégagé, 8 couvert