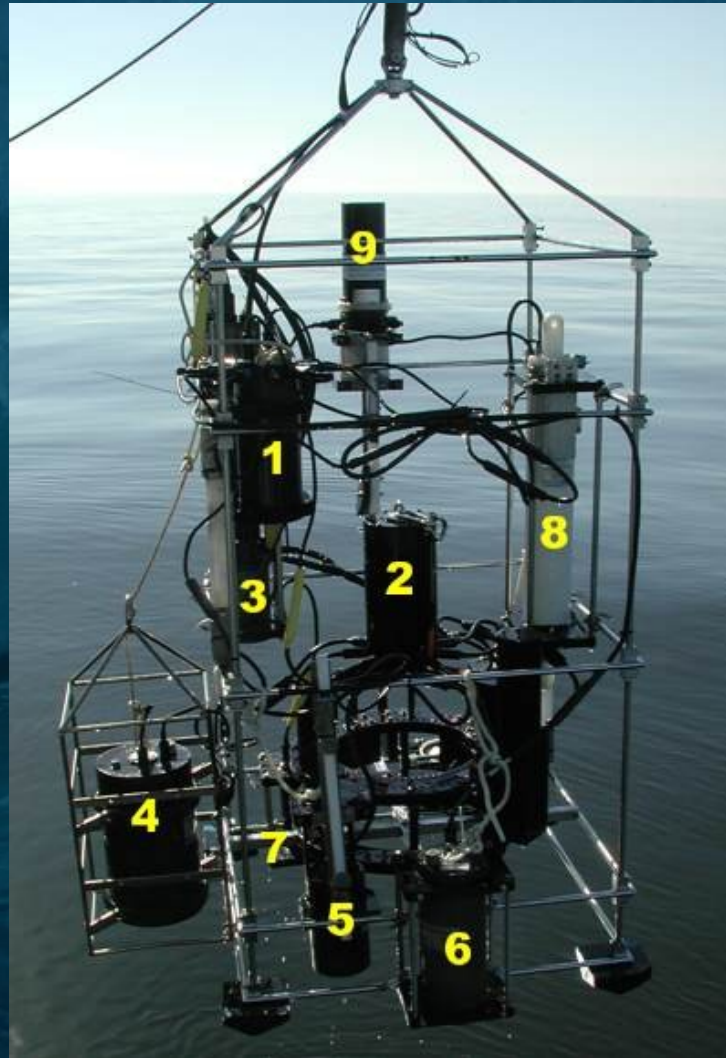


OPB 305 - Chap 7 - Instrumentation In Situ



A. Petrenko – Mediterranean Institute of Oceanography

Avantages par rapport aux mesures classiques:

Points négatifs des analyses chimiques classiques : échantillons, altérations possibles, mesures intrusives, couverture spatio-temporelle

**Mesures optiques peuvent apporter :
Pas d'échantillons, pas de transport en labo,
Mesures non intrusives (pour la plus part)**

Si profils continus :

- excellente résolution temporelle**

Si teledetection :

- excellente couverture spatiale**
- bonne couverture temporelle**

« signature optique » d'un échantillon d'eau de mer

* pour les communautés phytoplanctoniques:

- un indice sur leur structure de taille (par ex. Ciotti *et al.* 2002, Ciotti et Bricaud 2006)
- de groupe fonctionnel (par ex. Alvain *et al.* 2005, 2008)
- état physiologique, notamment le niveau de photoacclimatation
(par ex. Behrenfeld et Boss 2003)
- paramètres photosynthétiques (Uitz *et al.*, 2008)
- production primaire (Silio-Calzada *et al.* 2008)

« signature optique » d'un échantillon d'eau de mer (suite)

* distribution de taille des particules (PSD), (par ex. Kitchen *et al.* 1982, Boss *et al.* 2001, Loisel *et al.* 2006)

a) approche optique, basée sur la dépendance spectrale du coefficient de diffusion.
pente moyenne de la loi de distribution, sur un intervalle de taille entre environ 0.1 et 20 microns (par ex. Boss *et al.* 2001).

Boss, E., M. S. Twardowski, and S. Herring. 2001. Shape of the particulate beam attenuation spectrum and its inversion to obtain the shape of the particulate size distribution. *Appl. Opt.* 40: 4885 - 4893.

Note: partir de PSD, obtention des groupes phytoplanctoniques (ex Kostadinov JGR 2009, Biogeosc 2010)

b) comptage classique des particules ne permet pas de mesurer l'abondance des particules inférieures à ~1 micron (par ex. Jackson *et al.* 1997).

Note: Une incertitude importante sur l'intervalle $\sim [0.1 ; 1] \mu\text{m}$ existe. Ces particules submicroniques sont mal connues -> problèmes sur l'analyse des propriétés optiques (Stramski et Kiefer 1991).

« signature optique » d'un échantillon d'eau de mer (suite)

* caractère biogène ou minéral (par ex. Twardowski *et al.* 2001, Loisel *et al.* 2007)

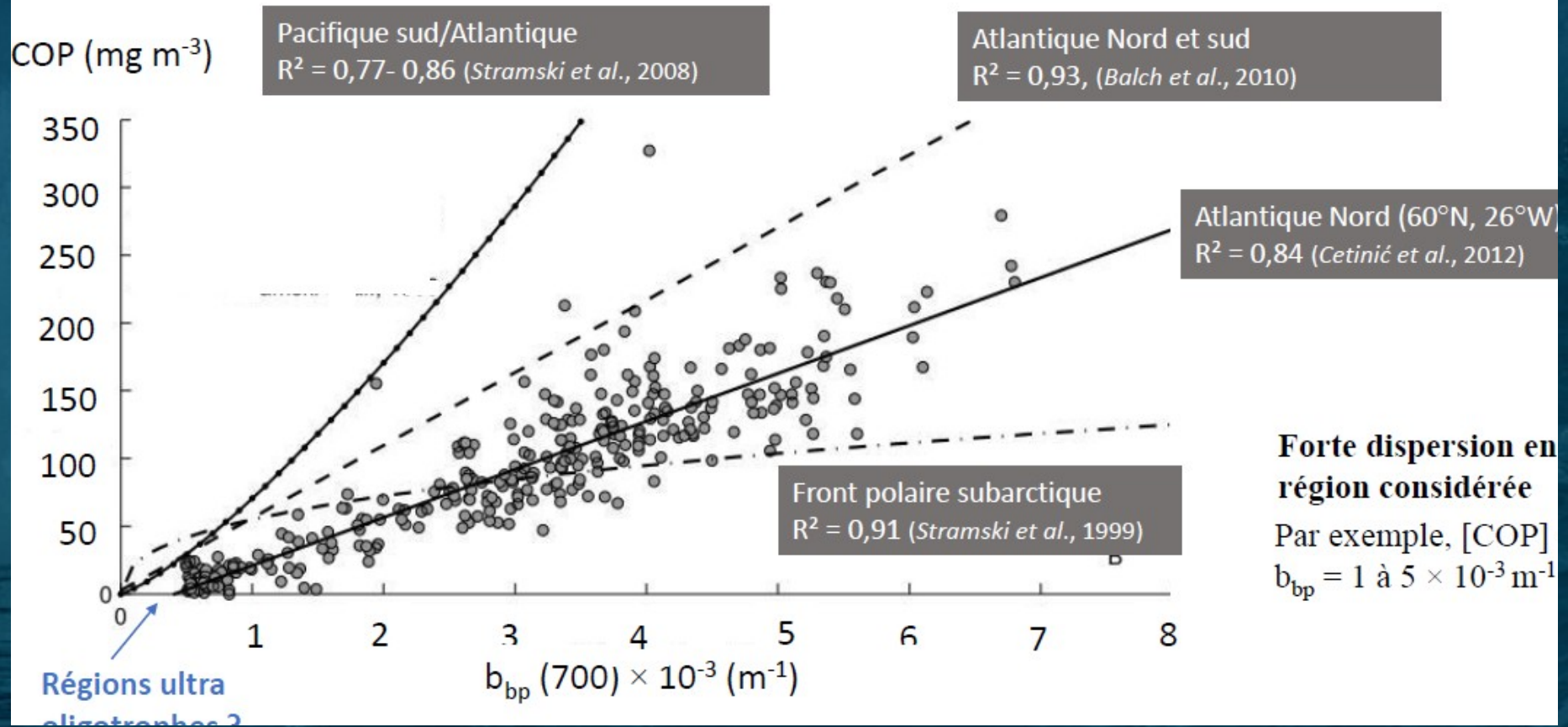
* Le POC est directement quantifiable par la mesure du coefficient de diffusion (Morel 1988). depuis l'espace, des algorithmes semi-analytiques $R_{rs} \rightarrow B_{bp}$ et $Chl \rightarrow POC$ (par ex. Loisel et Stramski, 2001; Loisel *et al.* , 2002)

et empiriques

(Gardner *et al.* 2006, Stramski *et al.* 2008) avec une incertitude de l'ordre de 20% (Stramski *et al.* 2008).

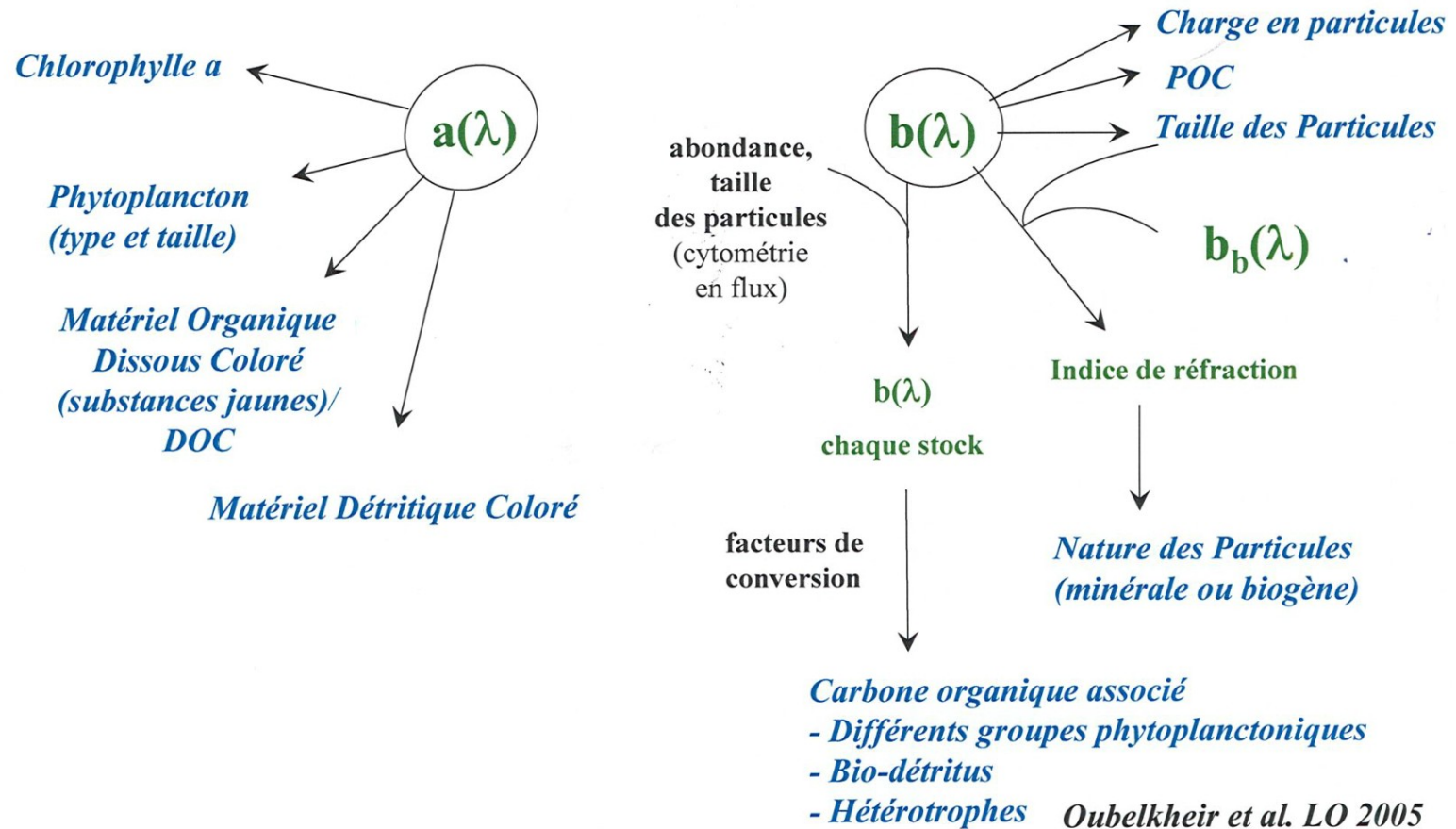
Note 1 - POC en fonction de la mesure de B_{bp} ou C_p (Stramski *et al.* 2005)

Note 2 - Il reste toujours le problème de mesurer le DOC et sa partie "non visible"



Remerciement – extrait soutenance thèse
A. Fumenia – 3 juin 2020

Quelles sont les **grandeurs biogéochimiques** accessibles par des **mesures optiques spectrales**?





Mesurer la
radiométrie

Radiometres

multispectral

OCR-500 micro-sensor
OCR-504 UV
OCR-507I
OCR-507R

wavelengths (voir attache)
305, 325, 340, 380 nm
E at 7 wavelengths
L at 7 wavelengths

Satlantic

PRR-800

Ed and Eu (or Lu) measured
at 15 to 19 wavelengths
+ T_{water} + pressure

Biospherical

PUV

Ed at 305, 313, 320, 340, 395 nm
+ PAR + T_{water} + pressure

hyperspectral

HyperOCR

256 wavelengths
between 350 to 800 nm

Satlantic

HydroRad

Fiber optics technology
between 350 and 850 nm: res=0.3 nm
extended 250 to 1050 nm: res=0.4 nm

Hobilabs

about 1500 wavelengths

Walrus

hyperspectral radiometer bouy
above and below the surface

Hobilabs

www.satlantic.com

OCR= Ocean Color Radiometer
SAS=Surface Acquisition Systems

wide field of view
narrow field of view

www.biospherical.com

PRR=Profiling Reflectance Radiometers



Boussole
(Villefranche sur mer)

<http://www.obs-vlfr.fr/Boussole>

25 m de haut ancree sous tension sur 2400 m
de fond

PI D. Antoine

Depuis 2001, mesures toutes les 15 minutes

Boussole:

Radiometers Satlantic 200 series, measuring E_s (at 4.5 meters above the water surface), and E_d , E_u , and L_u (nadir) at 2 depths (4 and 9 m).

Two-axis tilt and compass at 9 m.

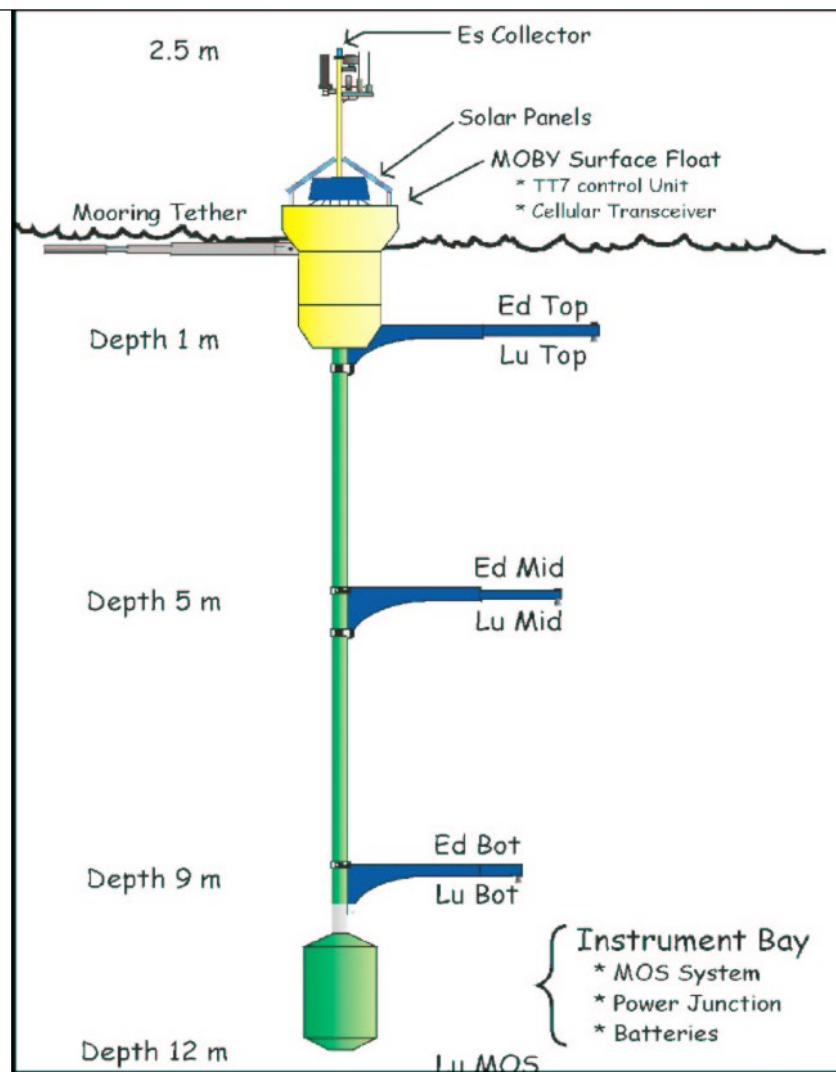
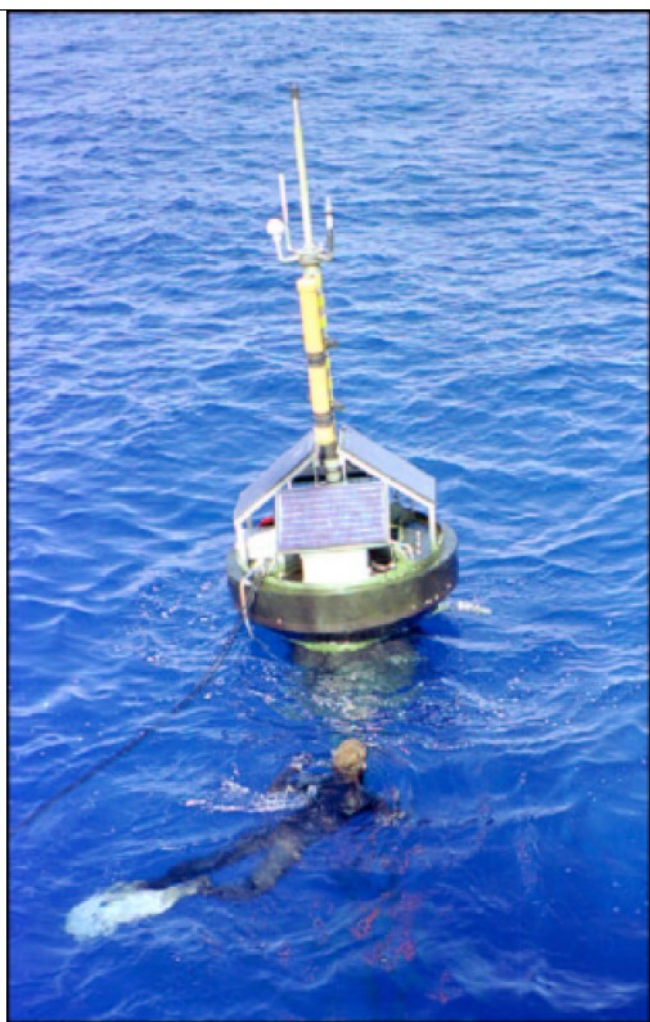
A Sea-Bird Electronics CTD at 9 m for temperature, conductivity and pressure.

Fluorometers at 4 and 9 m for a proxy to the chlorophyll a concentration.

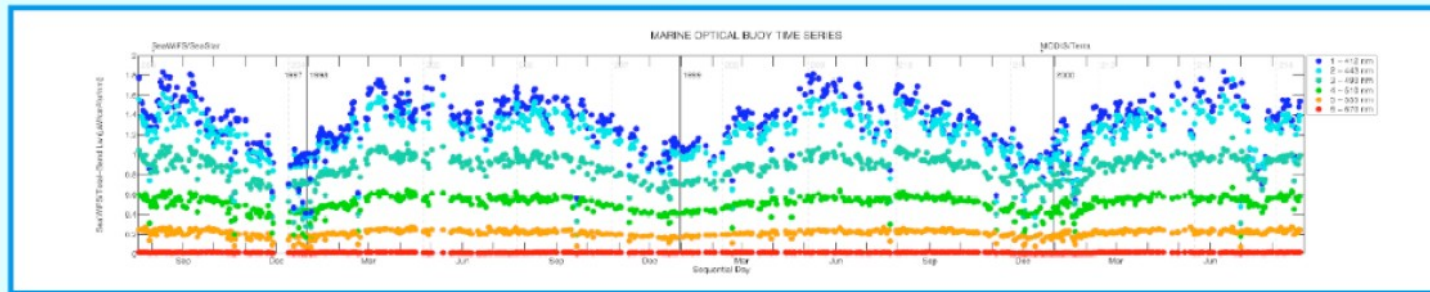
Transmissometers, at 4 and 9 m for a proxy to the particle load.

Backscattering meter at 9m measuring a proxy to bb at two wavelengths (442 and 560nm).

These data are collected every 15min during daylight, and every hour at night. Each data acquisition sequence lasts one minute.



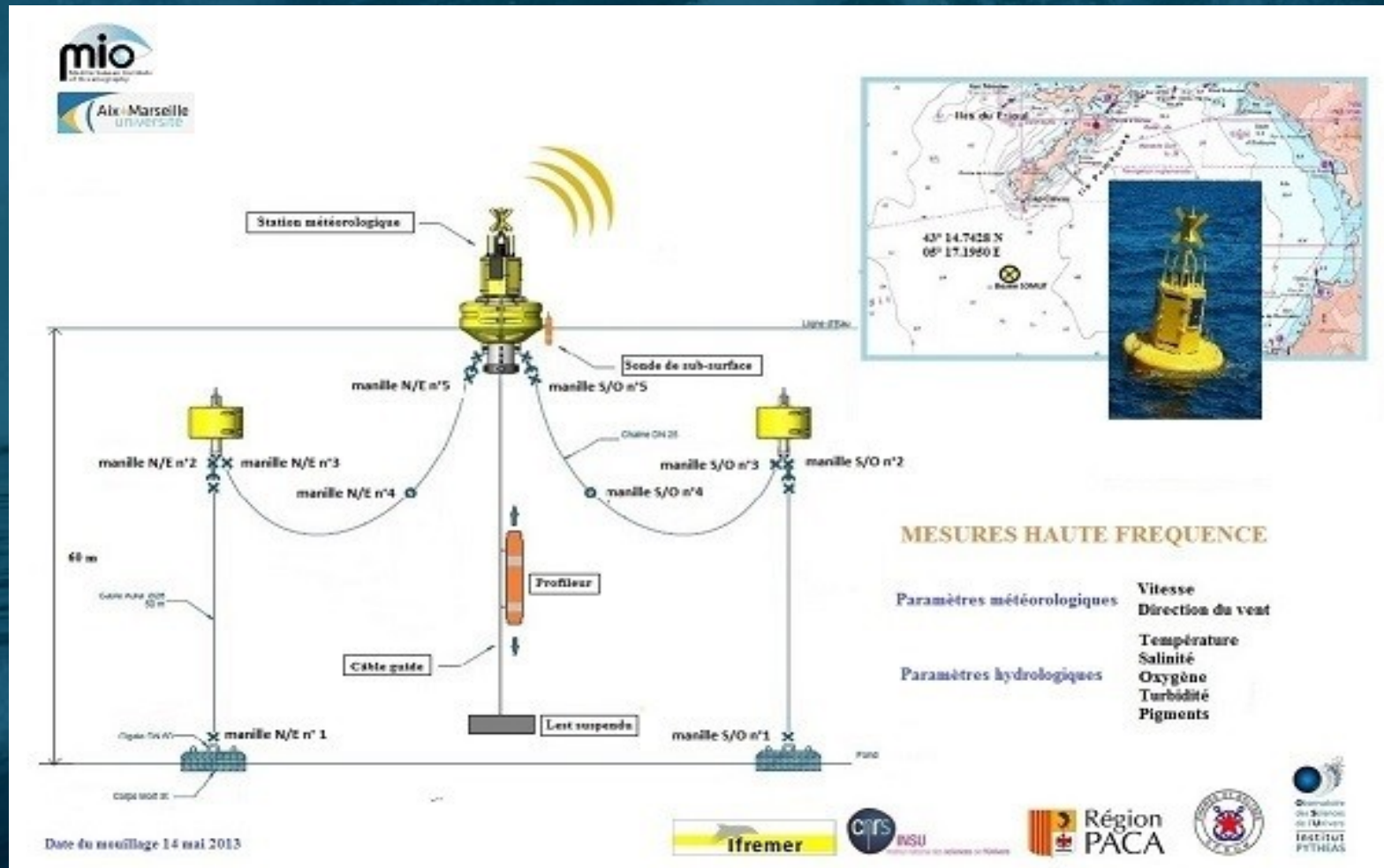
350 nm
à 940 nm
Monterey
Hawaii



Bouée MOBY – radiomètre hyperspectral (choix des longueurs d'onde)

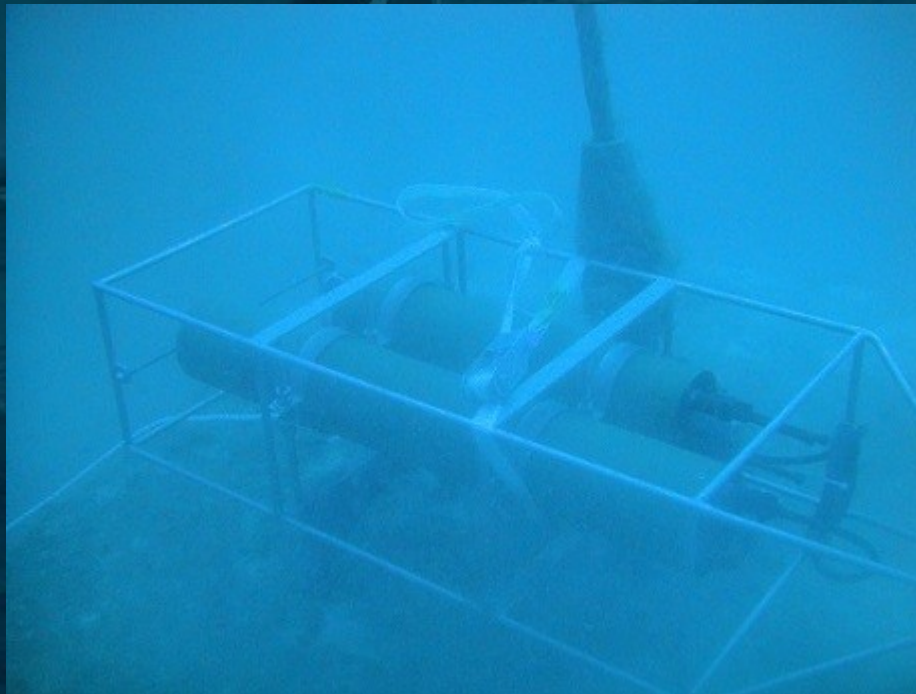
Bouée SOLEMIO : (F. Garcia, MIO)

assurer l'observation à long terme du milieu en baie de Marseille;
1 des 10 stations du réseau national SOMLIT (Service d'Observation
en Milieu Littoral – <http://www.SOMLIT.INSU.fr>), littoral
métropolitain.



Bouée SOLEMIO : (F. Garcia, MIO)

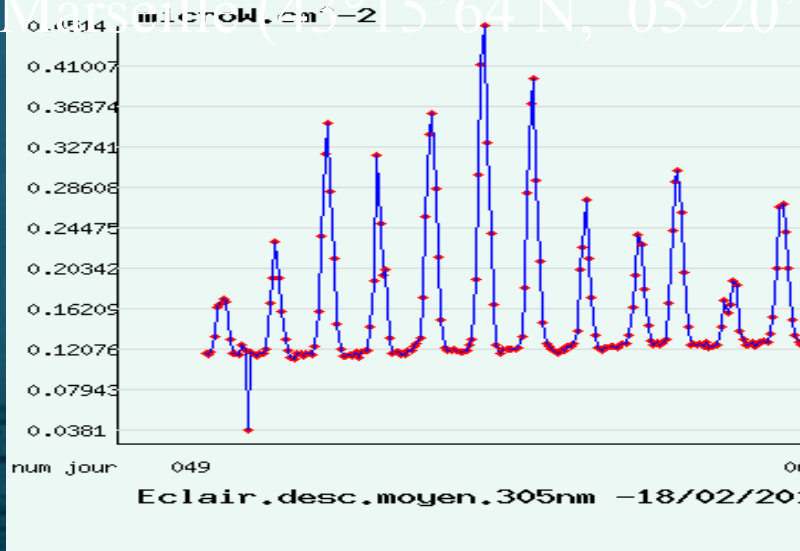
Un capteur additionnel autonome de mesures des Nitrates de type ISUS/MBARI de Satlantic est arrimé sur le corps mort sud par 60 m de profondeur pour l'enregistrement de ce paramètre à haute fréquence (1 mesure par heure).



La ligne SUNMEX (MIO, R. Sempere et B.Charrière)

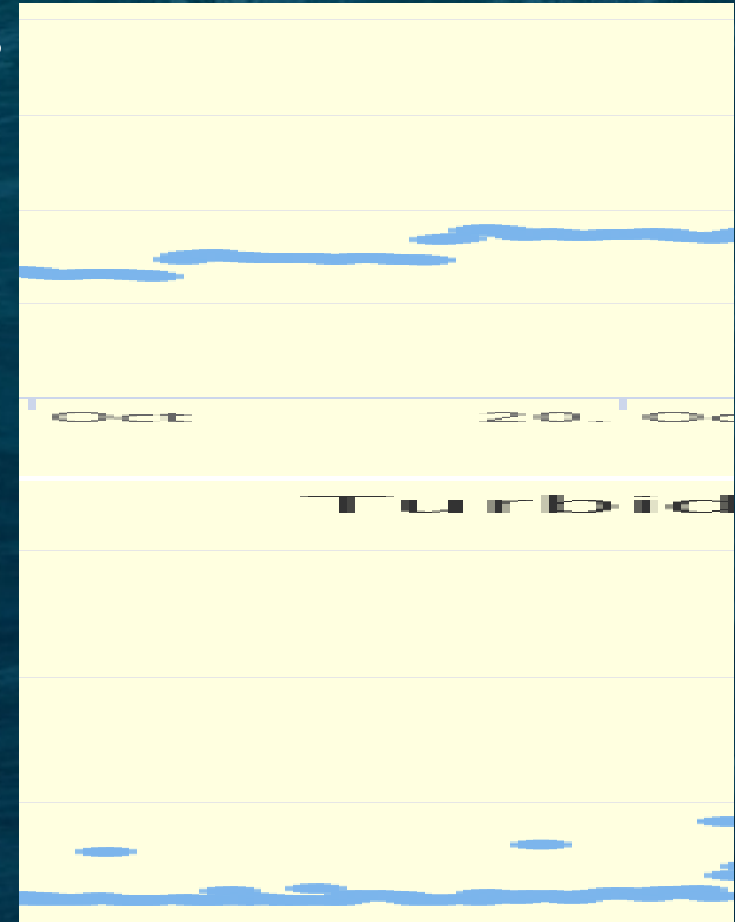
La ligne bio-optique équipée de capteurs radiométriques (Ed et Eu) , biogéochimiques (Chla, CDOM, particules) et physiques (T, S, pression) a été fixée sur une bouée à flotteur immergé (BFI) et déployée en Baie de

Marseille (43°15'64 N, 05°20'01 E) depuis



<- 2014

2020 ->



[https://www.mio.osupytheas.fr/fr/recherche/](https://www.mio.osupytheas.fr/fr/recherche/observation-des-oceans)
[observation-des-oceans](https://www.mio.osupytheas.fr/fr/recherche/observation-des-oceans)

section: Données temps réel de la baie
de Marseille

Paramètres mesurés par la ligne SUNMEX :

* Eclairement atmosphérique à 8 longueurs d'ondes :

305, 325, 340, 380, 412, 443, 495 et 565 nm ($\mu\text{W cm}^{-2} \text{ nm}^{-1}$)

* Dans la colonne d'eau à 2 et 6 m de profondeur

- Ed à 8 longueurs d'ondes : 305, 325, 340, 380, 412, 443, 495 et 565 nm ($\mu\text{W cm}^{-2} \text{ nm}^{-1}$)
- Eu aux même 8 longueurs d'ondes ($\mu\text{W cm}^{-2} \text{ nm}^{-1} \text{ sr}^{-1}$)
- teneur en matière organique dissoute colorée (CDOM) (ppb équivalent quinine sulfate)
- rétrodiffusion des particules à 650 nm (m^{-1})
- teneur en Chlorophylle a ($\mu\text{g l}^{-1}$)
- température ($^{\circ}\text{C}$)
- salinité
- pression (bar)

« Les données radiométriques permettent d'avoir accès à des « AOP's » (propriétés optiques apparentes) tels que les K_d (coefficient d'atténuation diffus de la lumière descendante) ou les « nLW » (normalized water leaving radiance) à 8 longueurs d'ondes tout au long de l'année. La ligne est également équipée d'un inclinomètre qui permet d'éliminer les valeurs d'éclairement lorsque l'inclinaison de la ligne est $>5^{\circ}$ »

-Extrait du site SUNMEX-



Mesurer les IOPs

Transmissometers

(ex BAM, C-Star, C-Rover)

Spectrophotometer

- Multi-spectral absorption and attenuation meter

[+ Fluorometers

- Open path and flow-through fluorometers for measuring Chlorophyll, CDOM, Rhodamine, and Phycoerythrin fluorescence

- Combination fluorometer-turbidity sensor

- Custom three-parameter fluorescence/scattering meter

Water Quality

- Cycle PO4 Meter

- Water Quality Monitor]

Bioluminescence

- Underwater Bioluminescence Assessment Tool

Turbidity and Scattering Meters

- Single-angle backscattering meter
 - Turbidity sensor
 - Three-wavelength backscattering meter
 - Combination chlorophyll fluorometer–turbidity sensor
 - Three-angle, single wavelength VSF meter
 - Three-angle, three-wavelength VSF meter
- + Photosynthetically Active Radiation Sensor
- + Custom three-parameter scattering meter

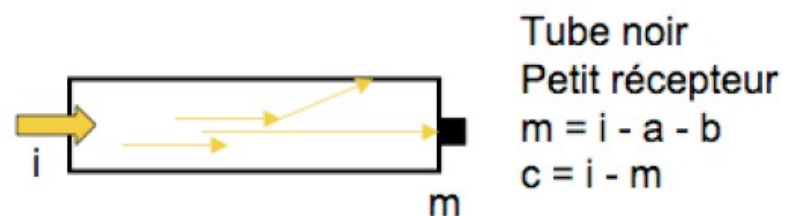
Systems Mini Bio-Optics

Fournisseur WETLabs

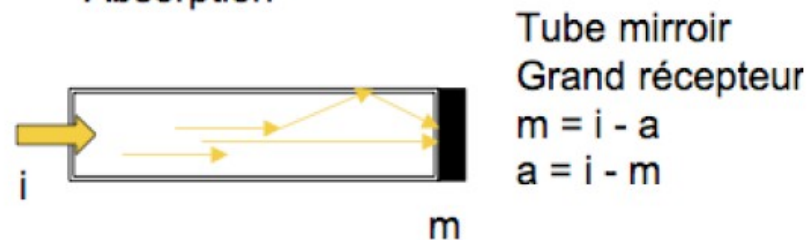
Product	Instrument Description
ac-9	Absorption and Attenuation Meter ; $\lambda = 412, 440, 488, 510, 560, 630, 650, 676, \text{ and } 715 \text{ nm}$
ac-9 Plus	Absorption and Attenuation Meter, expanded data handling capabilities
ac-spectra	Multispectral Absorption and Attenuation Meter ; 80 longueurs d'onde λ ; $\Delta\lambda = 4 \text{ nm}$; de 400 à 730 nm
C-Star	Transmissometer ; $\lambda = 660 \text{ nm}$
C-Rover	Transmissometer built for profilers
DH-4	Data Handler
ECO BB	Single-Angle Scattering Meter ; $\psi = 117^\circ$
ECO BB2F	Combination Scattering Meter and Fluorometer; $\psi = 117^\circ$ at $\lambda = 470, 700 \text{ nm}$ + chlor fluor (425 – 675 nm)
ECO BB3	Three-wavelength Scattering Meter ; $\psi = 117^\circ$ (ou 140°); $\lambda = 470, 532, 660 \text{ nm}$
ECO FL	Open-face Chlorophyll Fluorometer
ECO FLNTU	Combination Chlorophyll Fluorometer and Turbidity Sensor
ECO Pucks™	Miniature ECO for AUVs, gliders, profiling floats
ECO Triplet	Custom three-channel sensor
ECO VSF	Three-angle Backscattering Meter; $\psi = 117^\circ, 125^\circ \text{ et } 140^\circ$
ECO VSF3	Three-angle, Three-wavelength Backscattering Meter $\psi = 117^\circ, 125^\circ \text{ et } 140^\circ$ $\lambda = 450, 530, 650 \text{ nm}$
SAFire	Spectral Fluorescence Meter
WETPak	Battery Pack
WETStar (Chl)	Chlorophyll Fluorometer
WETStar (CDOM)	CDOM Fluorometer



Atténuation



Absorption



* Surestimation de a
 $m = i - a - bb$
 $a + bb = i - m$
 donc correction
 à effectuer

AC 9 « Absorption and attenuation meter » à 9 longueurs d'onde (WETLabs)

* diatomée

WET Labs ac-s - Culture of *Chaetoceros rostratus*.

$$a_{pg} = a - a_w = a_p + a_g$$

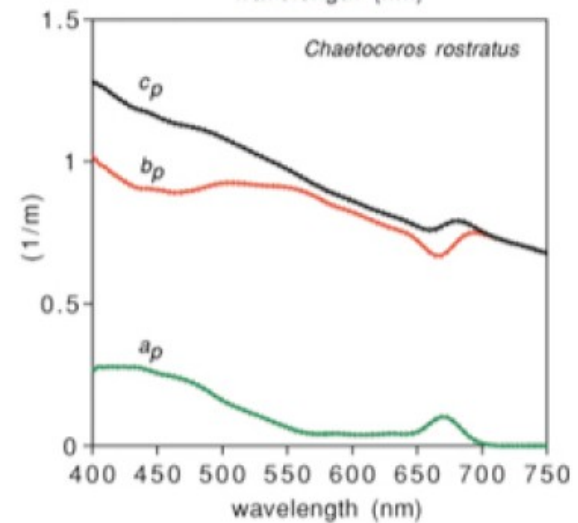
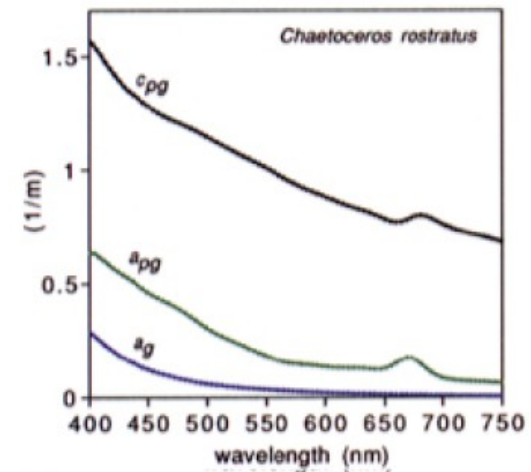
$$c_{pg} = c - c_w$$

(a_g measured by filtering the sample through a 0.2 mm filter).

In the lower figure $a_p = a_{pg} - a_g$

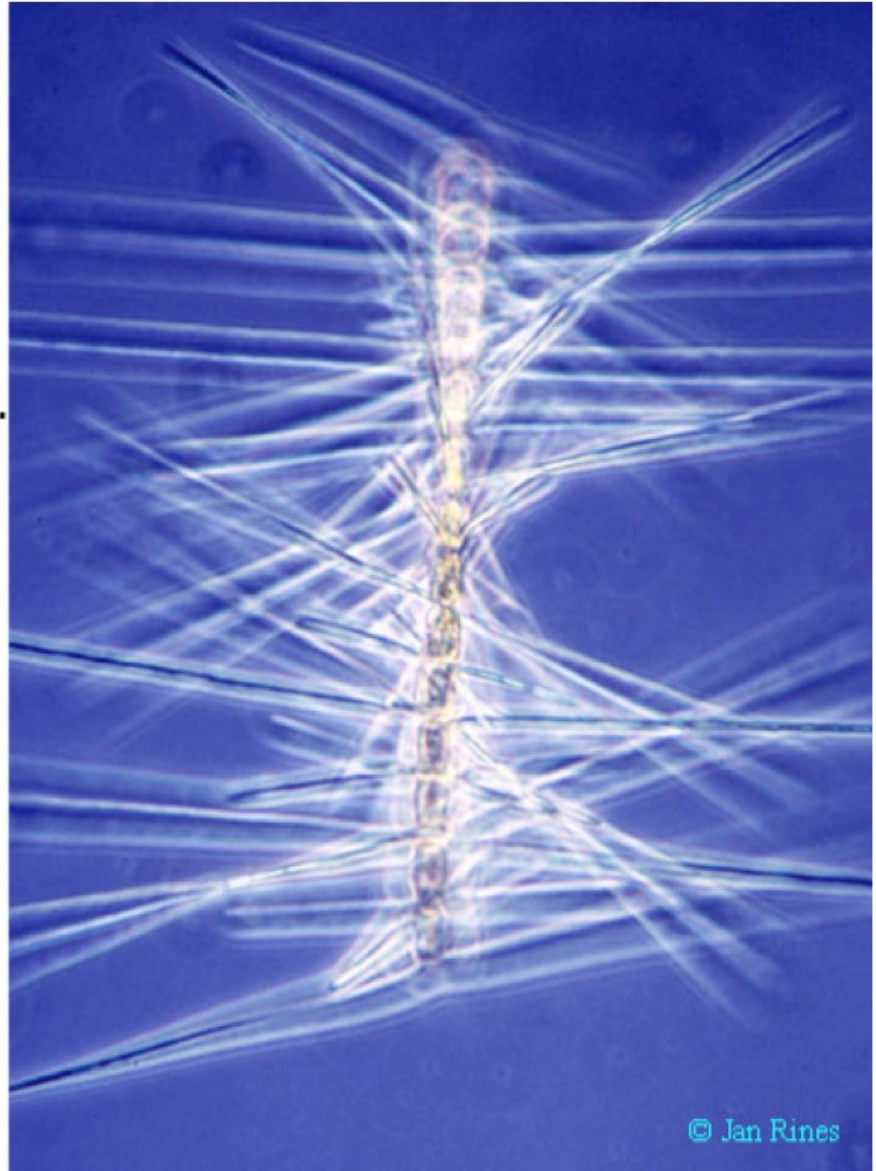
$$b_p = c_{pg} - a_{pg}$$

Hyp: dissolved materials do not scatter.



$$a_p = a_{pg} - a_g ; b_g = 0 ; C_p = c_{pg} - a_g \quad \text{donc } b_p = c_p - a_p = c_{pg} - a_{pg}$$

View photomicrographs
of *Chaetoceros rostratus*.
(courtesy Dr. Jan Rines,
University of Rhode Island).



© Jan Rines

transmissiomètre

source lumineuse collimatée traversant une couche d'eau (peu importe dans quelle direction) l'eau, puis refocalisée sur un détecteur récepteur.

→ transmission à une longueur d'onde spécifique (souvent à 660 nm)
(Tr généralement exprimée en %100)

$$Tr = m/i = I/I_0$$

→ coefficient d'atténuation c exprimé en m^{-1} , lié à la transmission Tr par la relation :

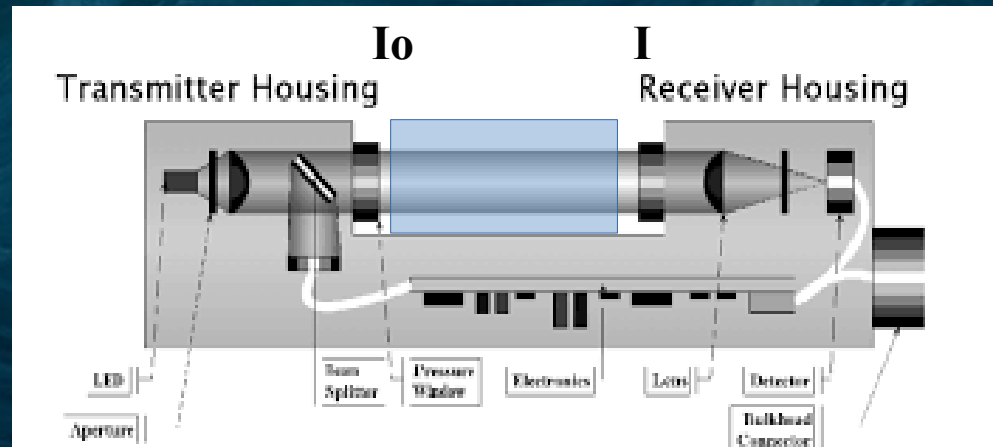
$$Tr = e^{-cr}$$

$$c = -\ln(Tr)/r \quad c(660)$$

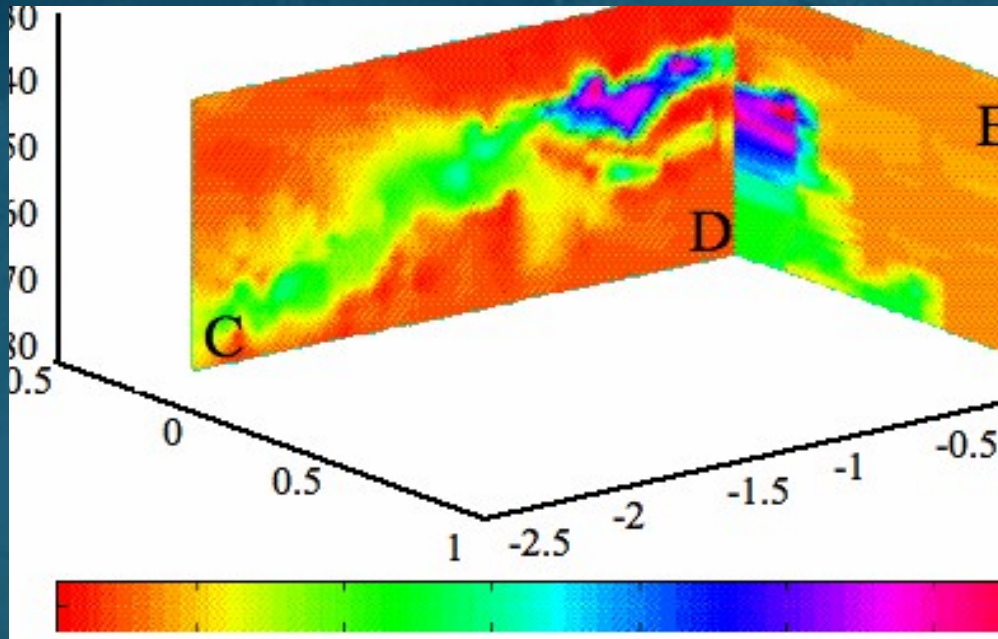
r distance parcourue (10 ou 25 cm)

cr = chemin optique ()

Particules \uparrow Tr \downarrow et $c(660) \uparrow$



Détection d'eaux usées par fluorescence



Beam attenuation c_{660}
Sand Island, HI

Fluorescence du tryptophane $Ex = 228 / Em = 340$ nm
[Petrenko et al., JGR 1997]

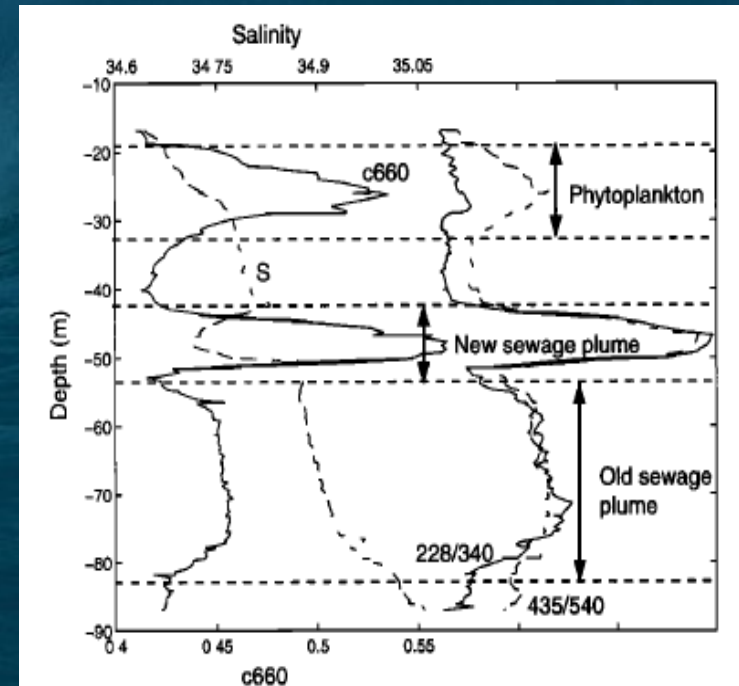
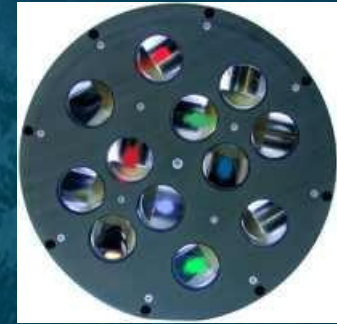
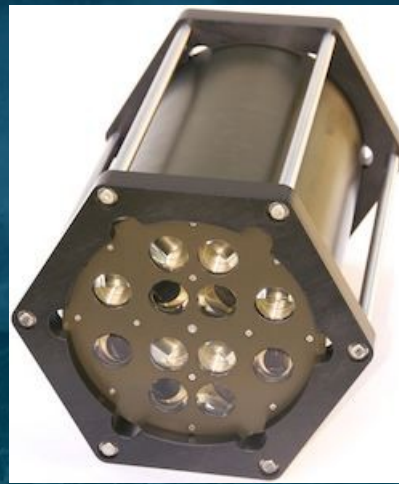


Figure 2. Profiles of salinity, beam attenuation coefficient at 660 nm (c_{660}), and fluorescence, in arbitrary units, for $Ex/Em = 228/340$ nm and $Ex/Em = 435/540$ nm. Data are from the second downcast of towyo 32. Three layers were observed: shallow phytoplankton, new and old sewage plumes.

Fournisseur HOBILabs

<http://www.hobilabs.com>



HYDROSCAT 6

Backscattering ($\beta[140^\circ]$ and bb) at six wavelengths

Standard bb wavelengths: 420, 442, 470, 510, 590, and 700 nm

Other wavelengths available

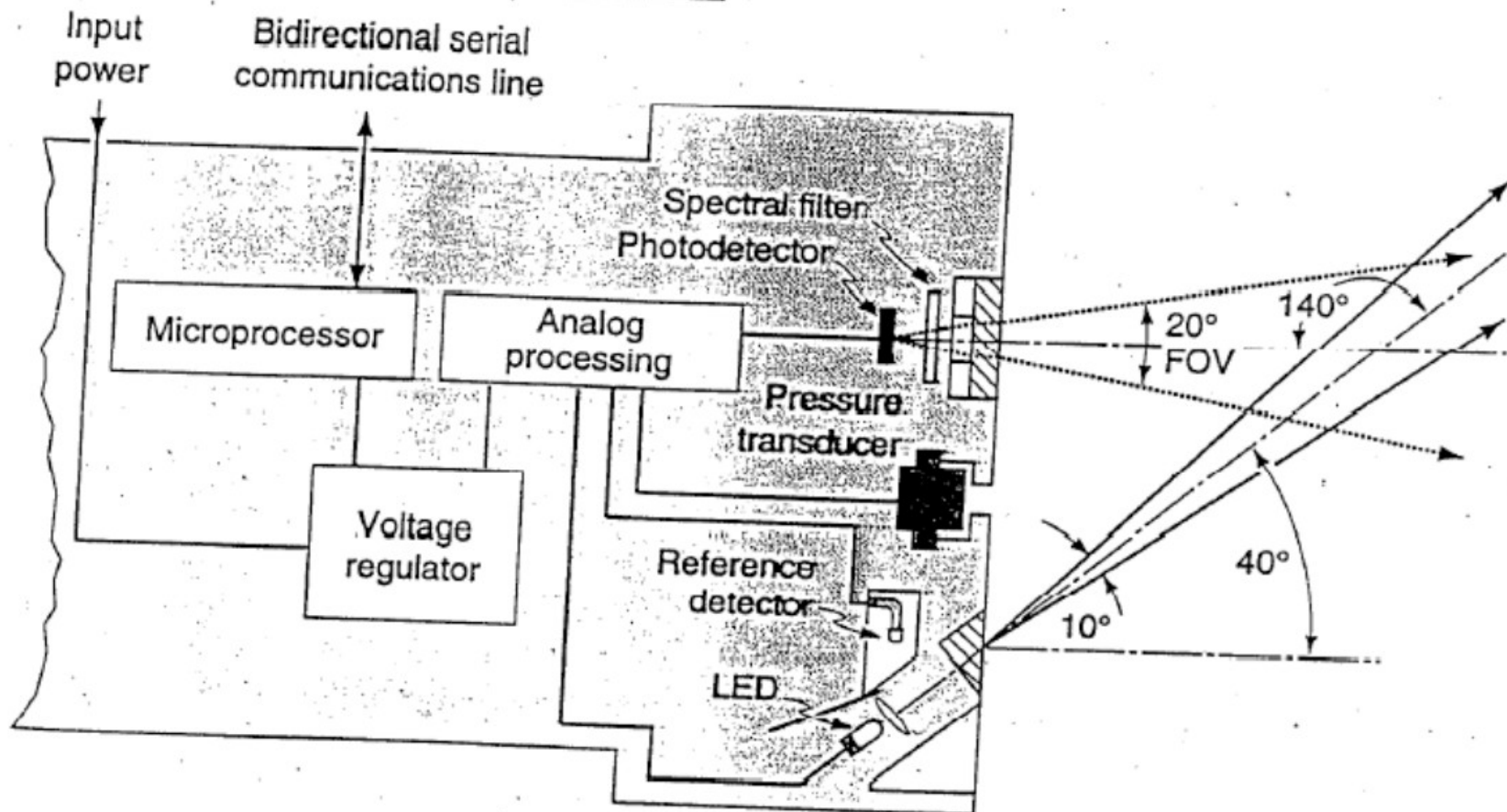
+ Fluorescence at two wavelengths

Standard: 700 nm excited by 442 nm (chlorophyll),

510 nm excited by 420 nm

Depth (330 m standard, 500 m optional)

Narrow-Angle Geometry



HydroScat Backscattering Sensor Family - HOBI Labs - Mozilla Firefox

File Edit View History Bookmarks Tools Help

HydroScat Backscattering Sensor ... +

www.hobilabs.com/cms/index.cfm/37/152/1253/1254.html

☆ hydroscat 6 hobi labs

Most Visited Débuter avec Firefox À la une

HOBI Labs

Hydro-Optics, Biology & Instrumentation Laboratories

Lighting the Way in Aquatic Science

About Us Contact Site Map

Home News Products Research Support

Products> Optical Property Measurement > HydroScat Backscattering Sensor Family

HydroScat Backscattering Sensor Family

Overview Optics Calibration Logging & Control Example Data Determining b_a

HydroScat Optical Backscattering Sensor / Fluorometers

The [HydroScat-2](#), [HydroScat-2 Abyss](#), [HydroScat-4](#) and [HydroScat-6](#) are literally and figuratively the **First Family** of multi-wavelength optical backscattering sensors: not only the **first in the world**, but also preeminent in **performance**.

Measurements

- [Backscattering](#) ($\beta[140^\circ]$ and b_a) at multiple wavelengths
- [Fluorescence](#) (optional on [HydroScat-4](#))
- Depth transducer, standard
- Outstanding [optical performance](#)
- [Calibration](#)—rigorous yet can be performed without elaborate [equipment](#) and techniques

Data Handling and Control

- [Internal data logging](#)
- Long-term autonomous operation
- Real-time data output
- Activate logging by magnetic switch, or software command

Batteries & Power

- Internal rechargeable batteries standard
- External 10 V to 15 V supply capability
- External [battery pack](#) available

Software

- [HydroSoft](#) included standard

Options

- Choice of wavelengths
- High-capacity, nonvolatile memory expansion up to 2 GB
- Several depth ratings
- Integrated anti-fouling shutter support
- Copper anti-fouling face plates
- [Calibration fixture](#)

HydroScat-2

The most economical HydroScat. Measure backscattering at 2 wavelengths, plus fluorescence.

HydroScat-2 Abyss

HydroScat-2 performance at 4 km depth. Measure backscattering at 2 wavelengths, plus fluorescence.

HydroScat-4

Measure backscattering, or a combination of backscattering and fluorescence, at 4 wavelengths.

HydroScat-6

Measure 8 quantities: backscattering at 6 wavelengths, plus 2 fluorescence.

Copyright © 1998-2012 by Hydro-Optics, Biology, & Instrumentation Laboratories All rights reserved.
All specifications subject to change without notice.

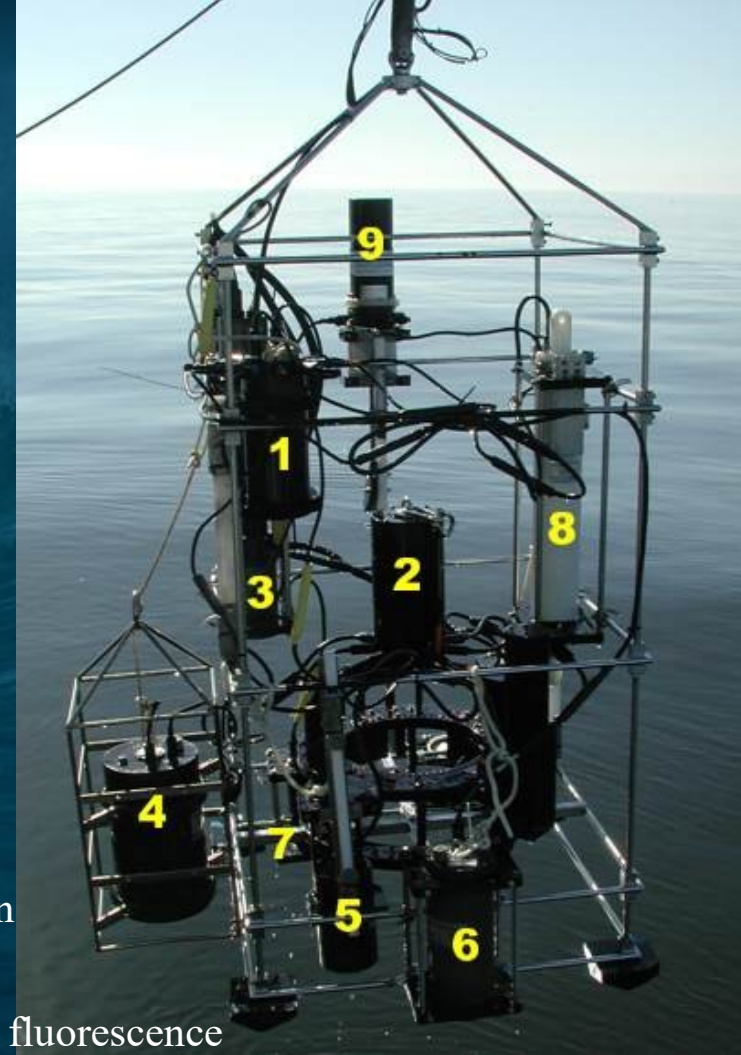
démarrer Re: changemen... 5 OpenOffice... 3 Explorateur ... Espace Numeriq... HydroScat Back... Adobe Acrobat ... FR 15:58

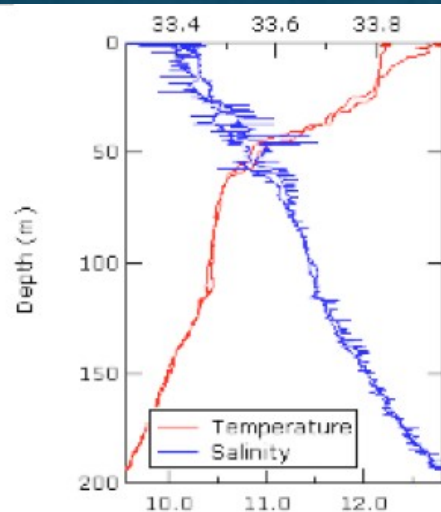
Mesures optiques en mer

HOBI LABS

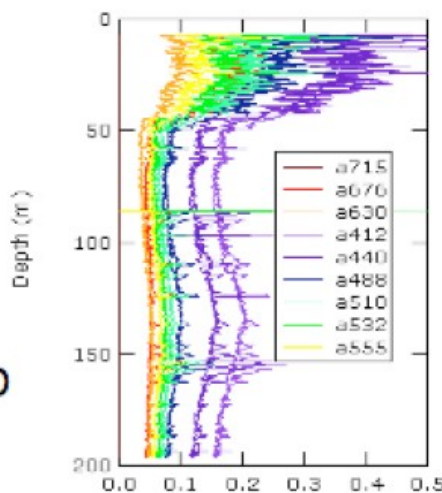
HydroProfiler

#	Instrument	Measurement(s)
•1	HydroDAS	Controller
•2	HydroBeta	volume scattering function
•3	WET Labs AC9	absorption, attenuation
•4	HydroScat-6	backscattering, fluorescence
•5	a-Beta	backscattering, attenuation, absorption
•6	HydroScat-4	backscattering
•7	HydroScat-2 (back side of profiler)	backscattering, fluorescence
•8	Seabird SBE-19	conductivity, temperature
•9	Biospherical PRR-600	downwelling irradiance (separate upwelling radiance head on bottom rear)
•10	c-Beta (back side of profiler, not visible)	backscattering, beam attenuation

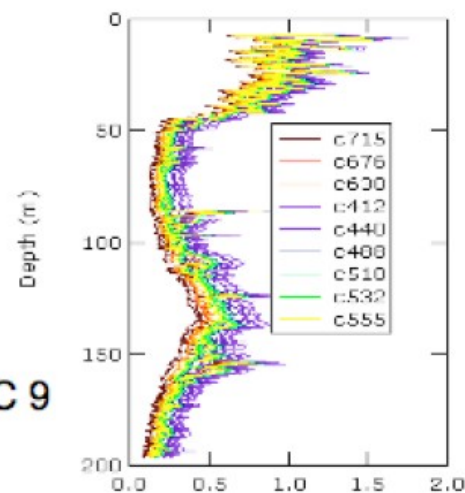




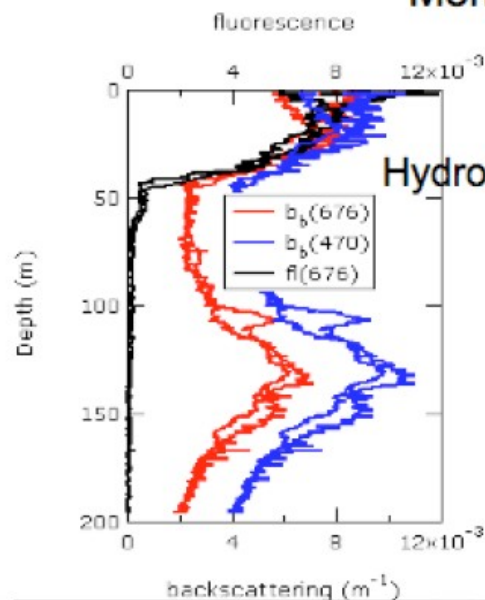
CTD



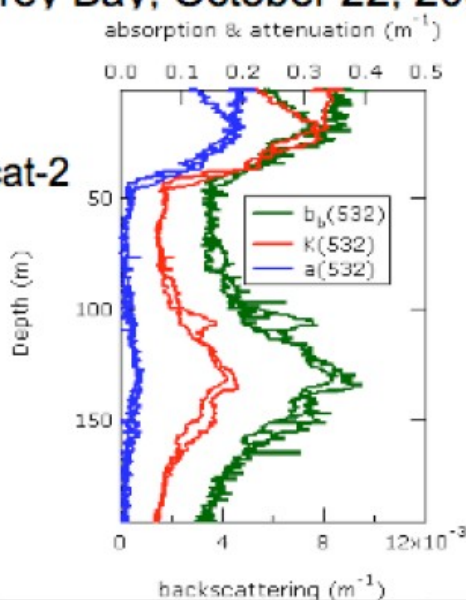
AC 9



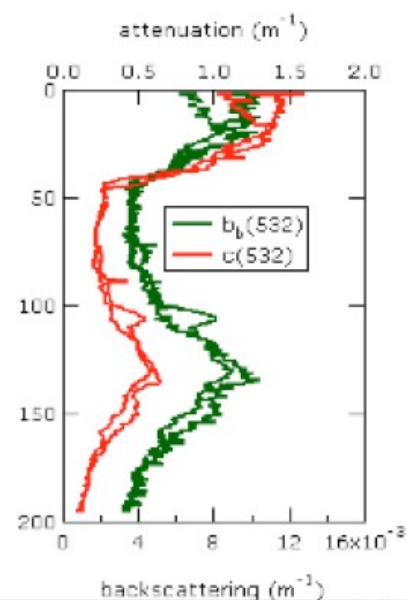
Monterey Bay, October 22, 2003



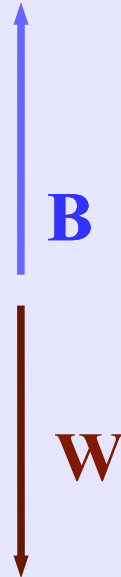
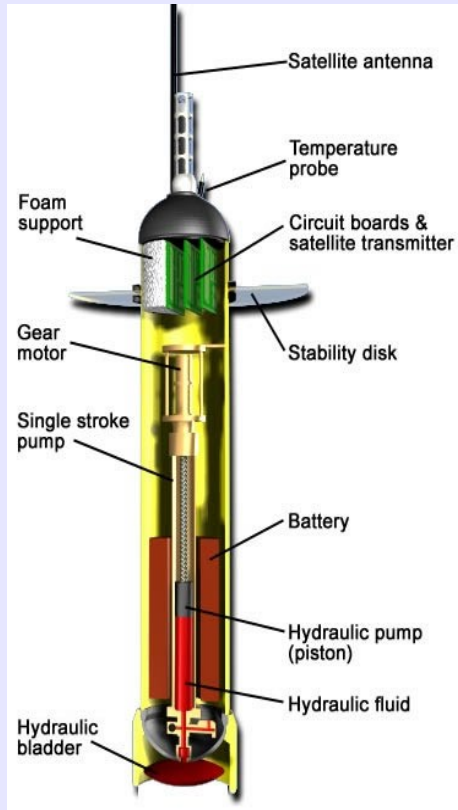
HydroScat-2



a-Beta
c-Beta

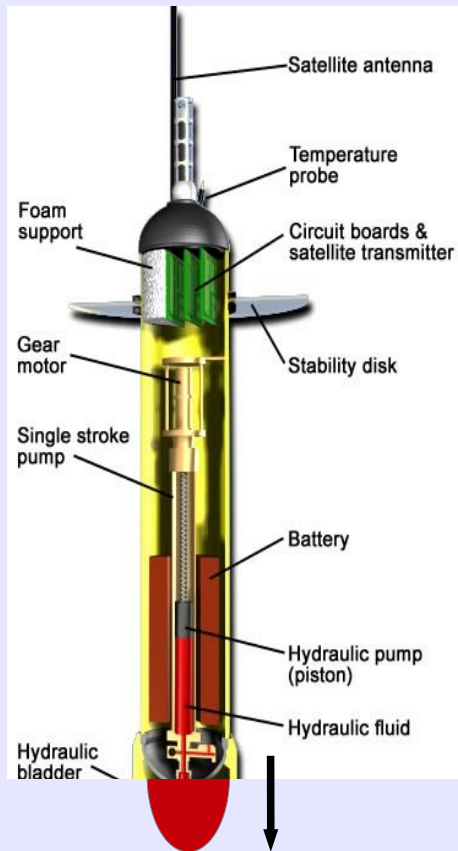


Argo – basic system



Parking depth :
Equilibrium between
weight W and buoyancy force B

Argo – basic system

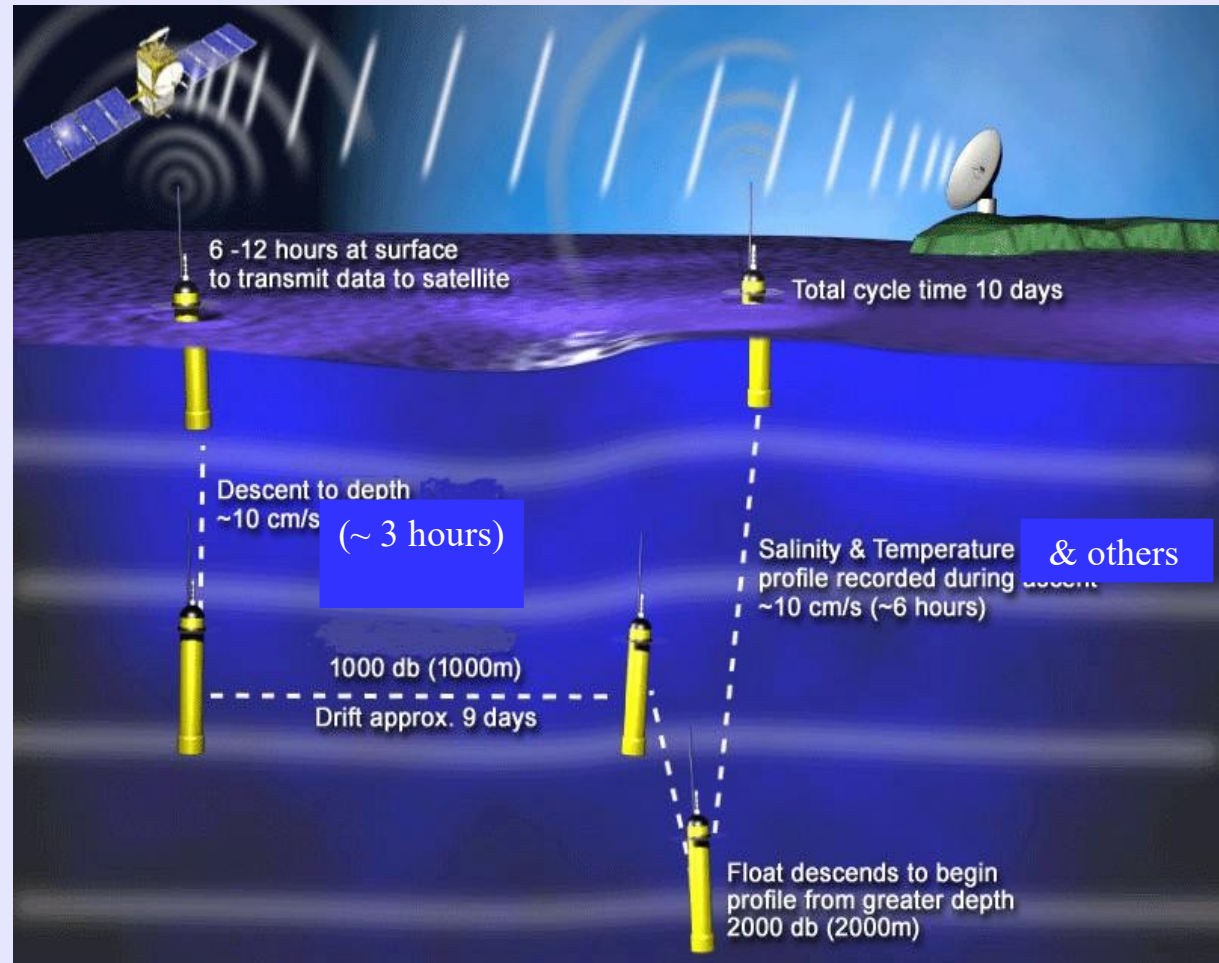


Fluid pumped
in external bladder

Volume increases

Increase of the buoyancy force (but weight remains constant)

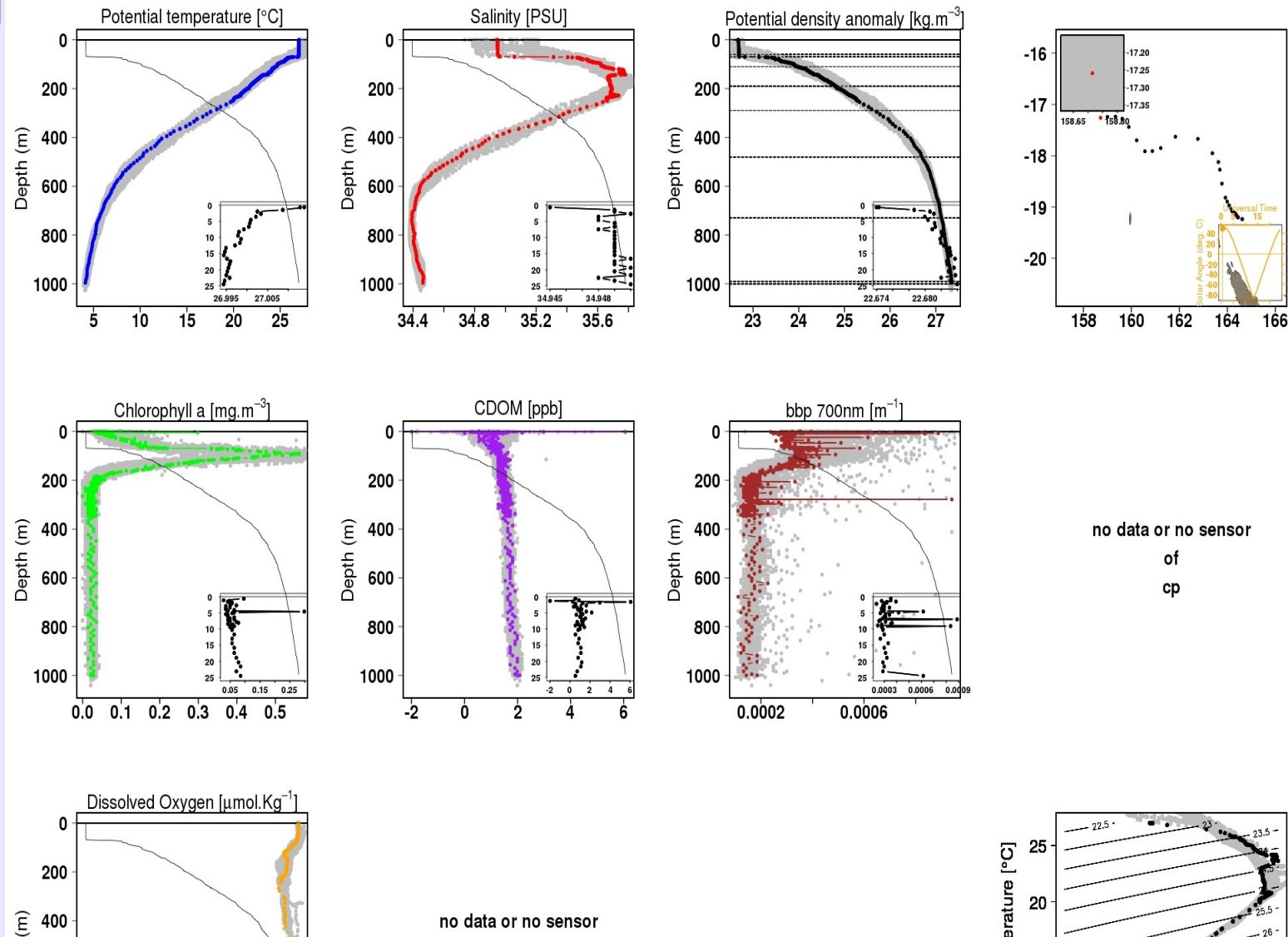
Disruption of the equilibrium => the float rises



BGC- ARGO (BioGeoChemical)

Ascent / 28 May 2015 00:37 UT / lovbio075b_026_00

Jpeg created on Thu May 28 08:41:27 2015 with data processed on Thu May 28 03:42:19 2015 (Lon:158.72deg. Lat:-17.26deg.)

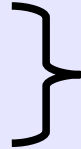


Pressure
T
S
Chlor a
CDOM
b_{bp} 700 nm
DO (A and B)
Ed 380 nm
Ed 410 nm
Ed 490 nm
PAR

(adapted from <http://www.oao.obs-vlfr.fr/bioargo/>)

Measured parameters Derived parameters :

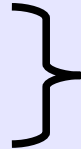
Pressure
T
S



Theta, CT, sigma, TS diagram-s, MLD

CDOM

Chlor
 b_{bp} 700 nm



$b_p = f(b_{bp}, Chl)$ (Twardowski et al., 2001)
 $POC = g(b_p)$ (Loisel and Stramski, 2002)

DO

Ed 380 nm
Ed 410 nm
Ed 490 nm
PAR



Downwelling irradiance \rightarrow K_d at these 3 wavelengths

K_{par}

With optics or Rrs, possibilities to obtain phytoplankton communities...

Work and collaborations with colleagues.



Pour mesurer les particules

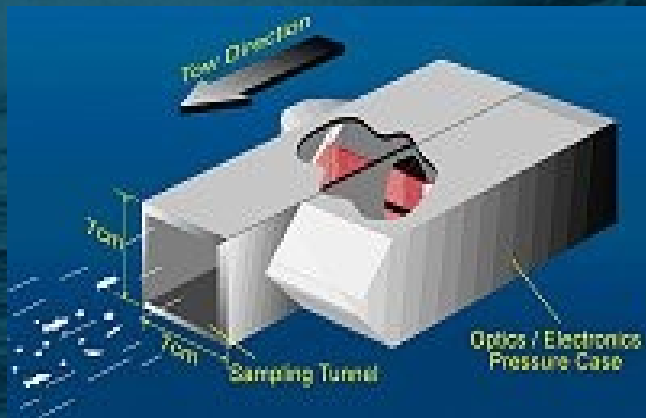
LOPC Laser Optical Particle Counter

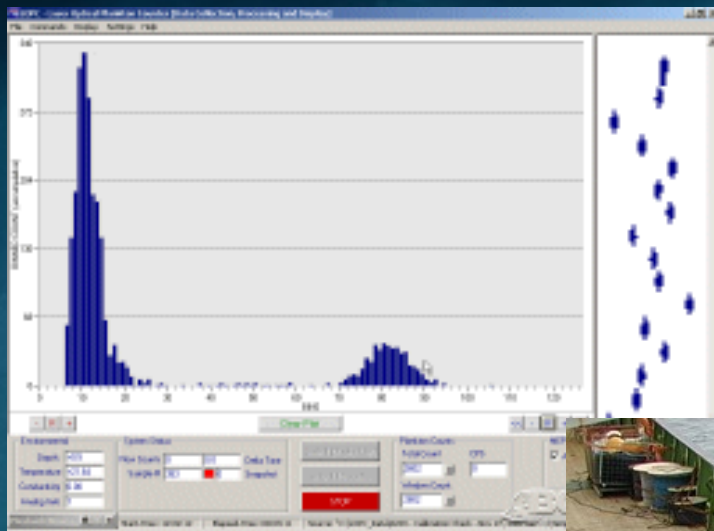
Resolution ranges from 100um to 35000um.

Particles from 100um – 1500um (single element plankton) are binned and appended to a histogram

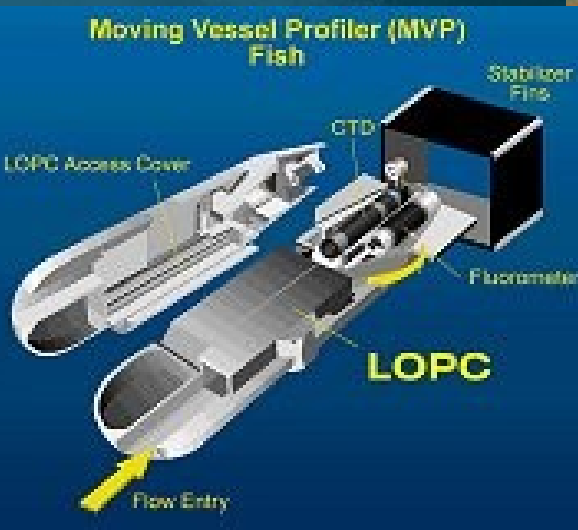
Particles from 1500um – 35000um (multi-element plankton) have their shape outline displayed in real time.

(Standard Rolls-Royce LOPC model)





plankton $>1\text{mm}$ and $\leq 40\text{ mm}$
The LOPC can operate in high
particle concentrations up to $\sim < 10^6/\text{m}^3$
Speed MVP up to 12 knots

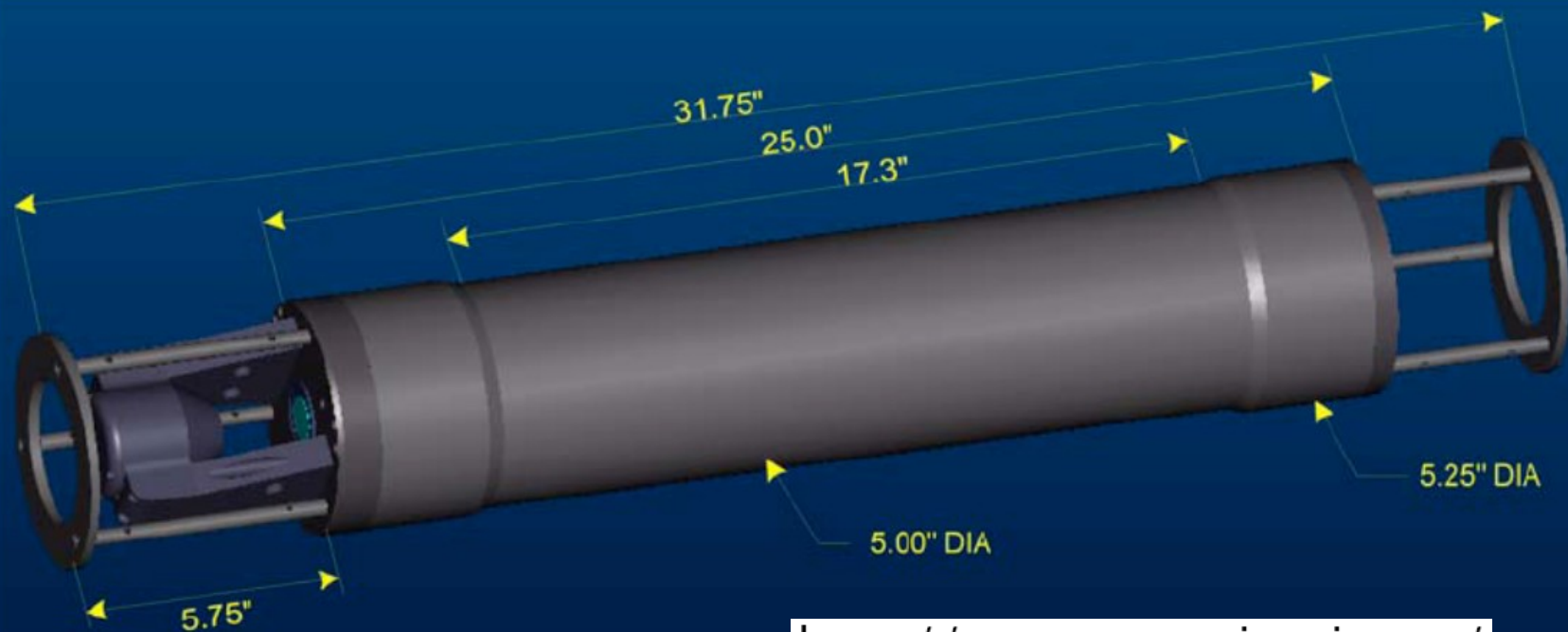


LISST = Laser In-Situ Scattering and Transmissometry

Particle size range: $1.25\ \mu\text{m}$ – $250\ \mu\text{m}$ ou $2.5 - 500\ \mu\text{m}$

Principle : At the heart of the instrument is a collimated laser diode and a specially constructed annular ring detector.

Scattering at 32 angles is the primary information that is recorded. This primary measurement is mathematically inverted to get the size distribution, and also scaled to obtain the volume scattering function (VSF). The size distribution is presented as concentration (micro-l/l) in each of 32 log-spaced size bins. Optical transmission, water depth and temperature are recorded as supporting measurements.





Moving Vessel Profiler with LISST – LOPC



Towing speed:
6 – 12 knots

Profile depth:
400 – 800 m

Cytométrie en flux

Mesure (-métrie) des propriétés optiques de cellules (cyto-) transportées par un liquide vecteur (flux) jusqu'à une source d'excitation lumineuse (souvent un laser).

- Lumière (laser ou lampe à arc) diffusée par les particules (cellules)
 - Fluorescence(s) naturelle(s) ou induite(s) émise par les particules (cellules)
 - Flux de particules monodisperse
 - Analyse multivariée des particules (cellules)
 - Mise en évidence de sous-populations
-
- 1er instrument dédié à l'étude des microorganismes aquatiques
→ construit en 1983

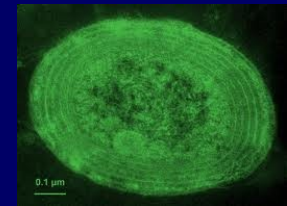
Importantes découvertes réalisées par cytométrie en flux

- *Prochlorococcus* (cyanobactérie)

= le plus petit procaryote* photoautotrophe et le plus abondant sur la planète

Chisholm, 1988, Nature 334

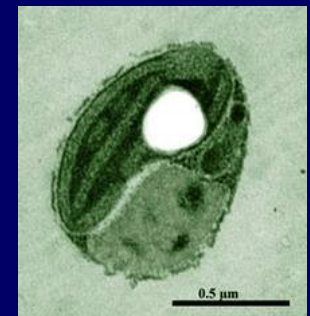
* pas de noyau (« bactéries », archées et eubactéries)



- *Ostreococcus tauri* (Chlorophyta, Prasinophyceae)

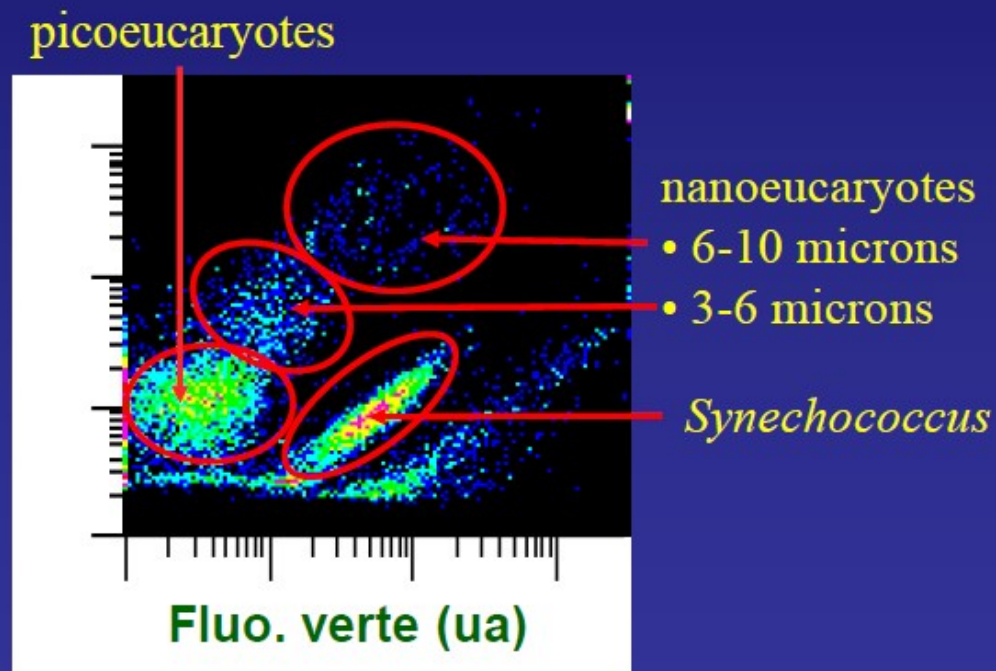
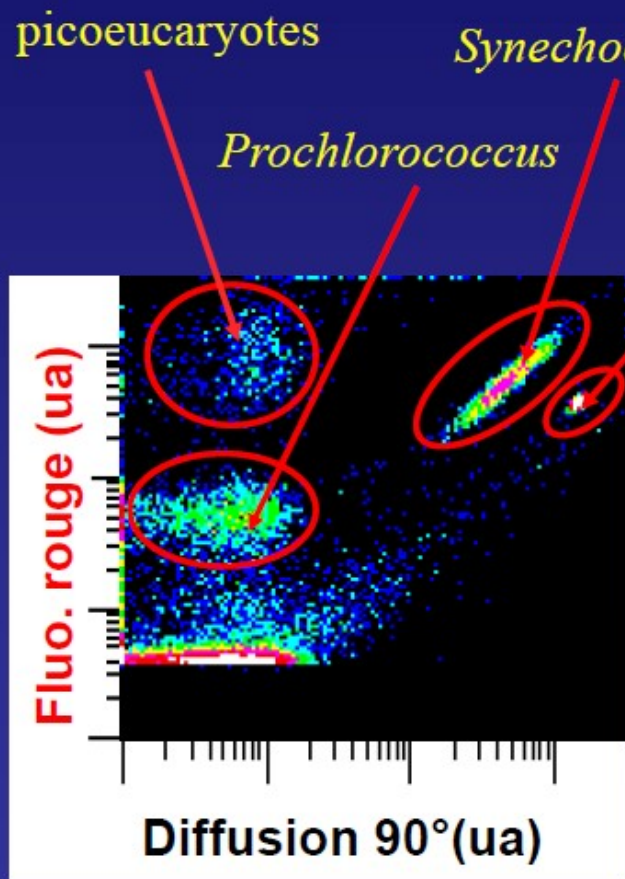
= le plus petit eucaryote unicellulaire connu a ce jour
(découvert dans l'étang de Thau, France)

Courties *et al*, 1998, J Phycol 34

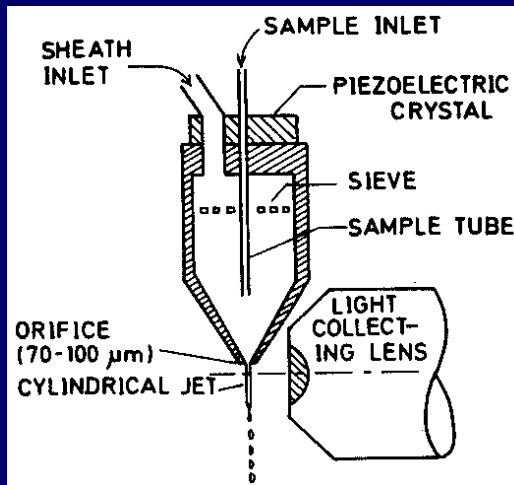


Courtesy, Gregori 2018]

Les données produites par cytométrie



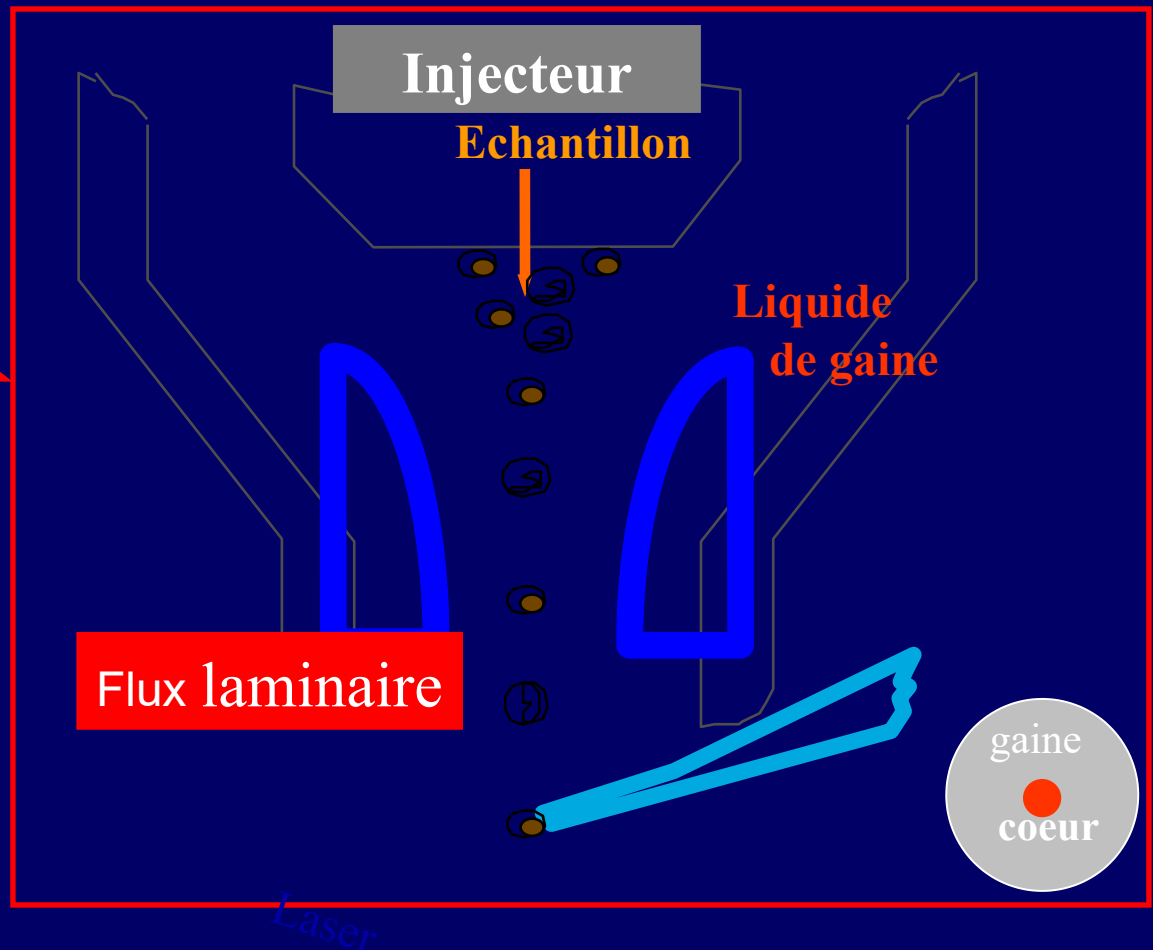
Principe de focalisation hydrodynamique par un liquide vecteur (liquide de gaine)



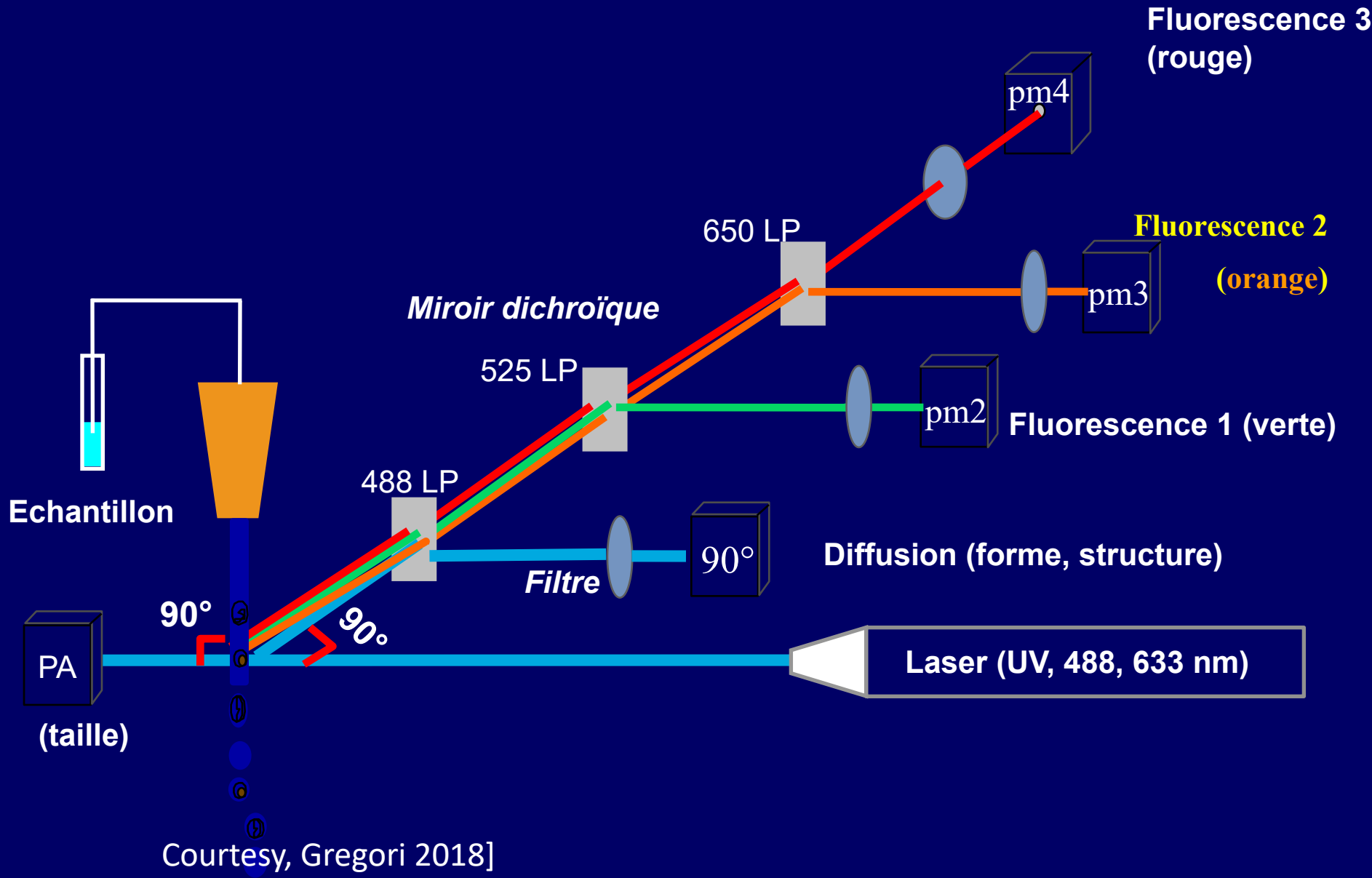
Chambre de flux

- Séparation
- Alignement des particules

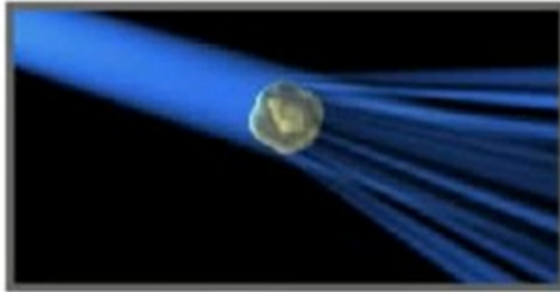
Courtesy, Gregori 2018]



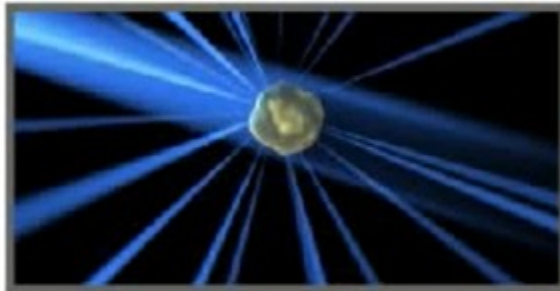
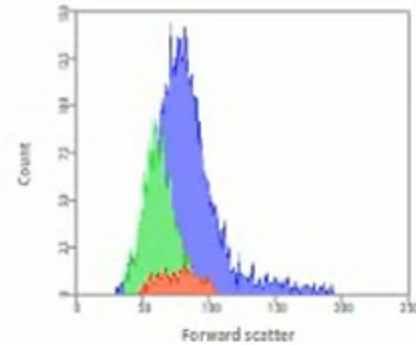
Principe de la cytométrie en flux



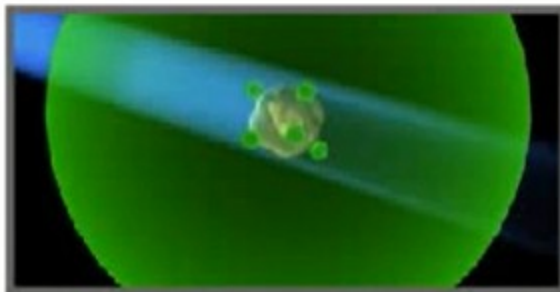
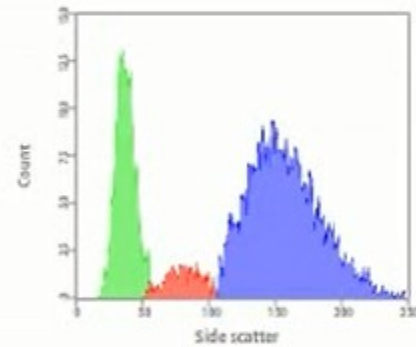
Données de cytométrie



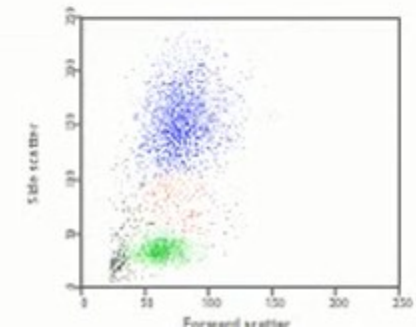
Forward scatter



Side scatter



Fluorescence



Courtesy,
Gregori 2018]

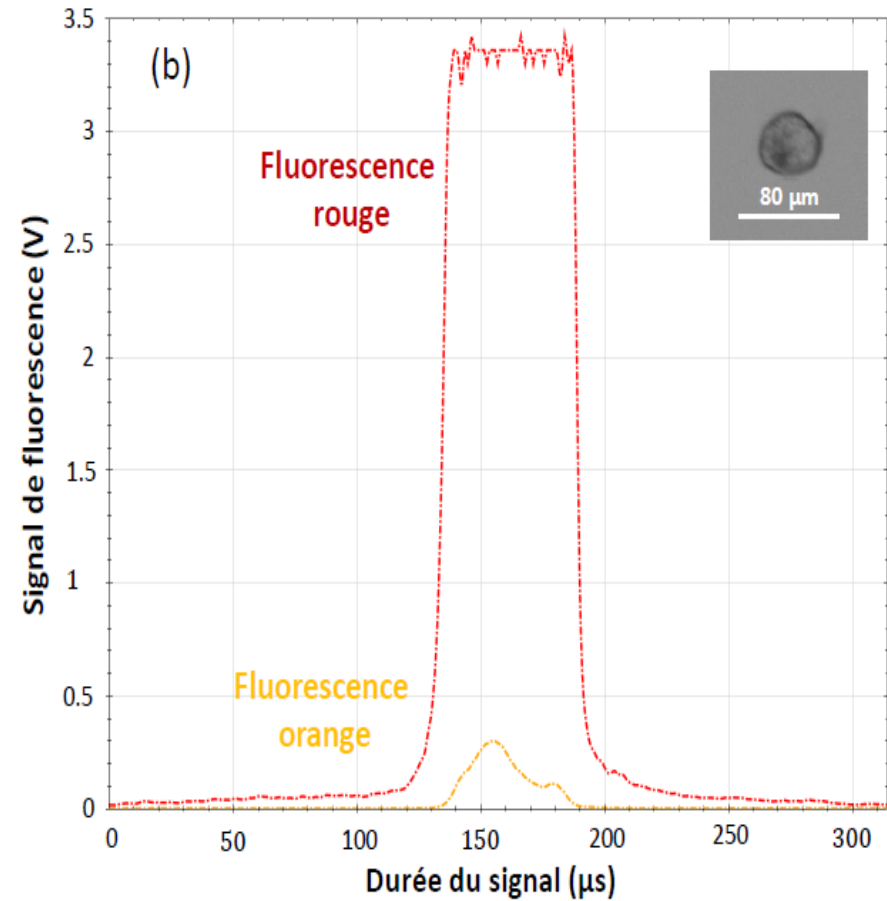
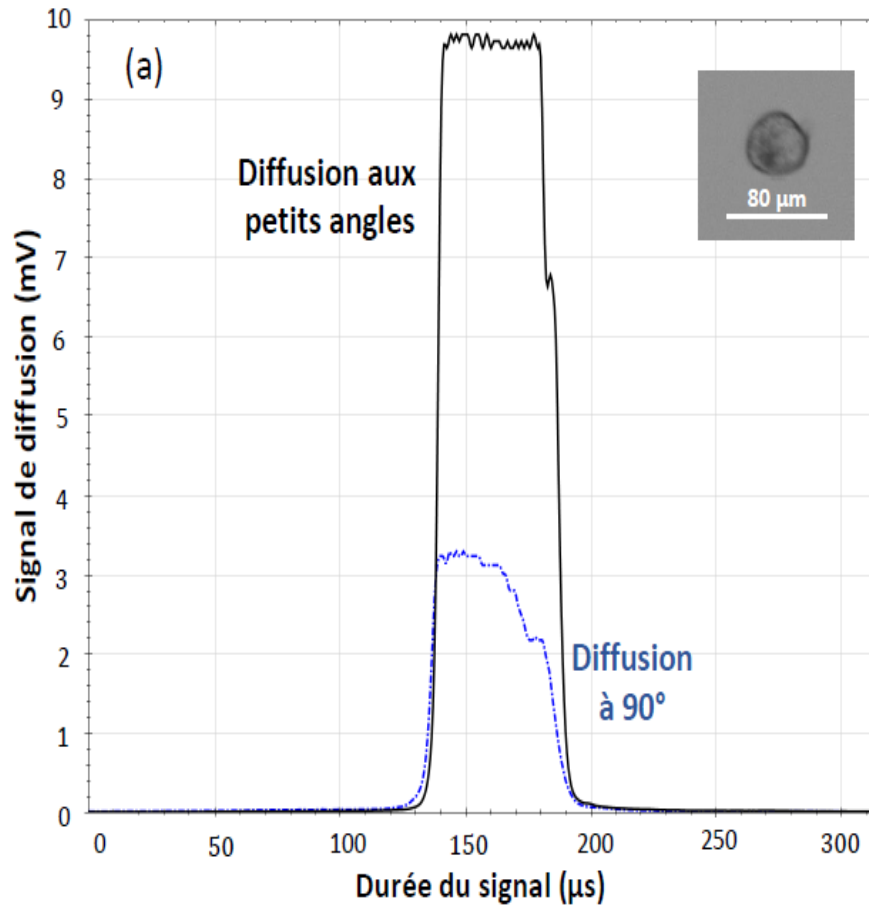
Résultat d'analyse d'UNE particule micro-phytoplanctonique d'UN échantillon d'eau de mer :

Diffusion aux petits angles : proxy de la taille de la particule.

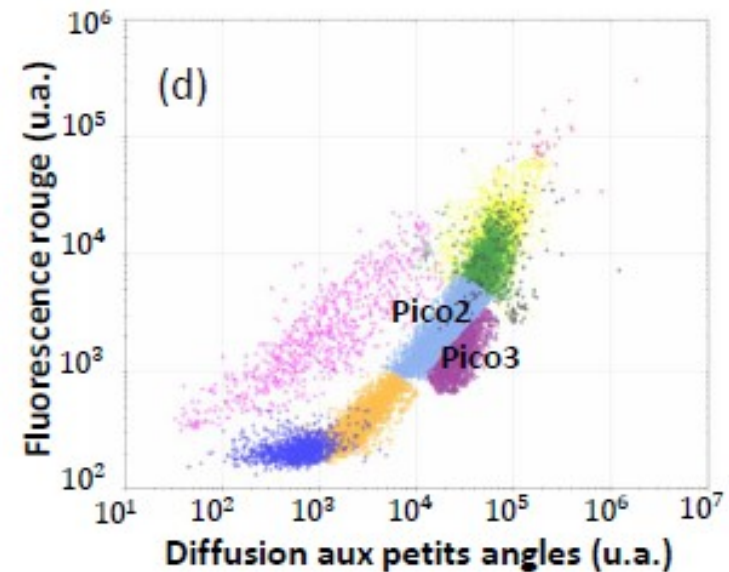
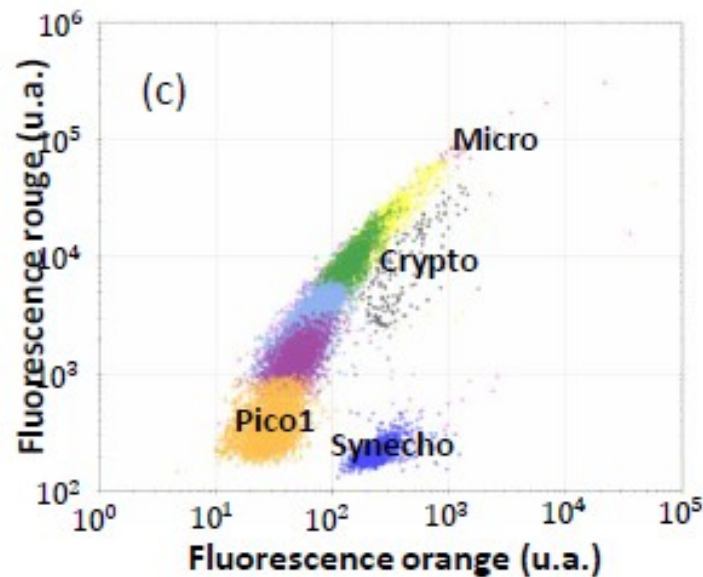
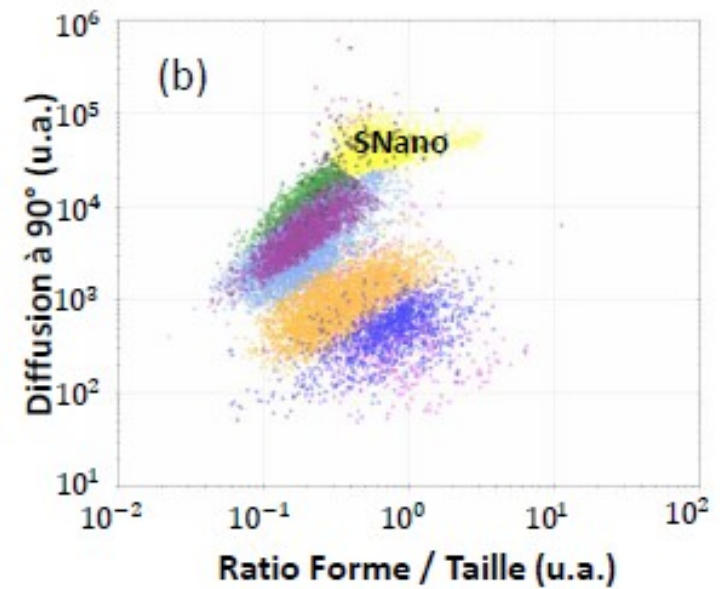
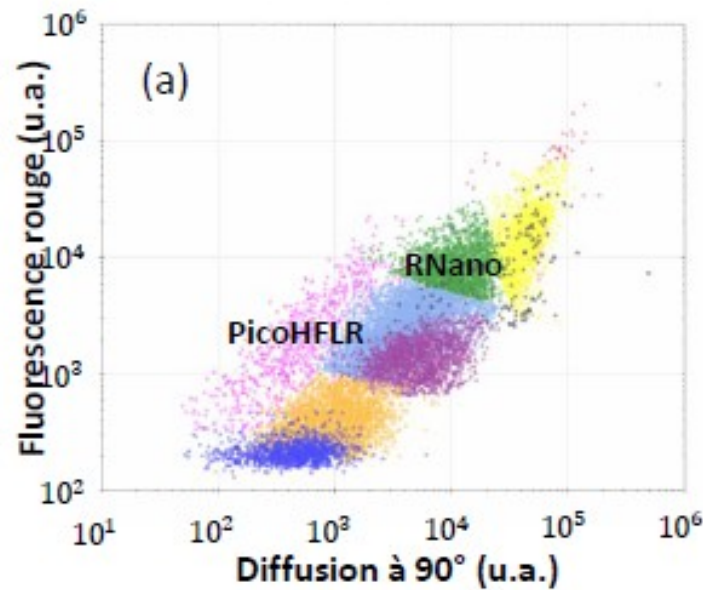
Diffusion à 90° : proxy de la granularité/forme de la particule.

Fluorescence rouge : liée à l'excitation de la chlorophylle.

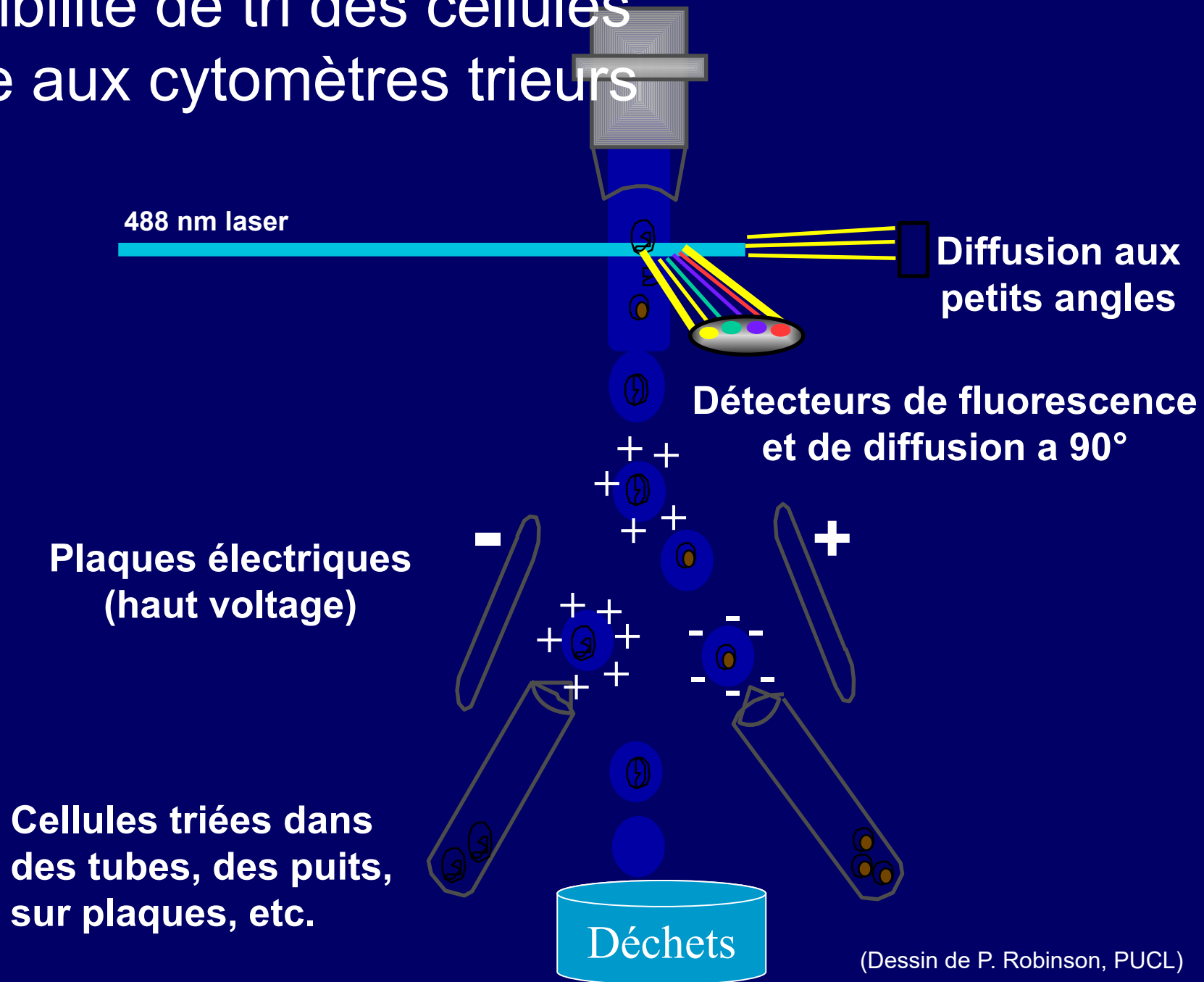
Fluorescence orange : liée à l'excitation de la phycoérythrine.



Représentation des mêmes particules d'UN échantillon dans 4 cytogrammes différents :



Possibilité de tri des cellules grâce aux cytomètres trieurs



Cytosub (Cytobuoy) : un cytomètre en flux dédié à l'analyse autonome et *in situ* du phytoplancton.



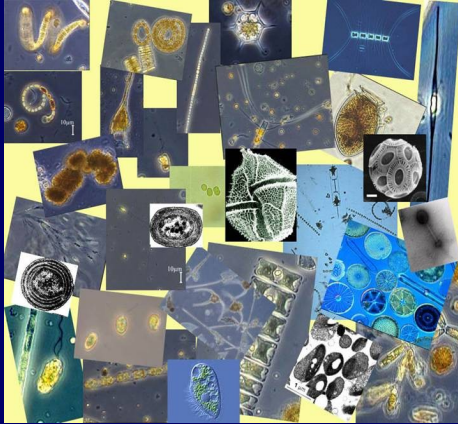
- Analyse *in situ* jusqu'à 200 m. de profondeur
- Fréquence d'échantillonnage maximale toutes les 10 min.
- Durée d'immersion possible de plusieurs semaines

(G. Gregori,
M. Thyssen, MIO)

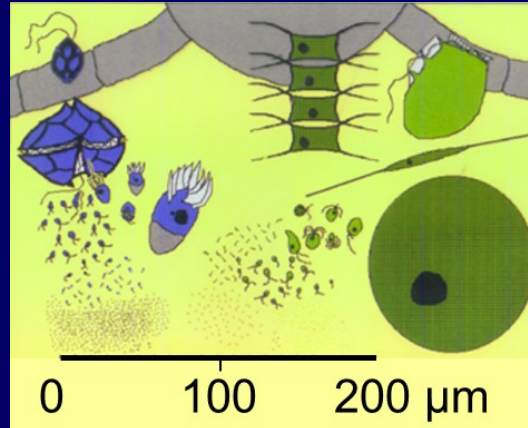
Difficultés et outils

Difficultés:

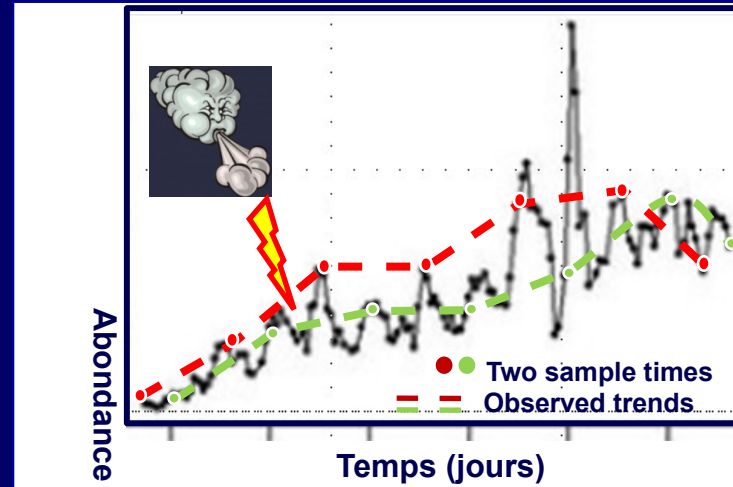
Diversité



Grande gamme de taille

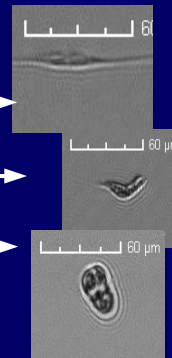
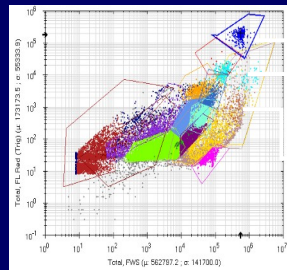
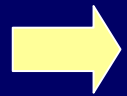
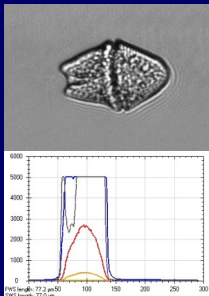


Dynamique



Outils:

Cytométrie en flux automatisée avec prise d'images



Analyse à l'échelle individuelle de la structure des communautés

Bouée



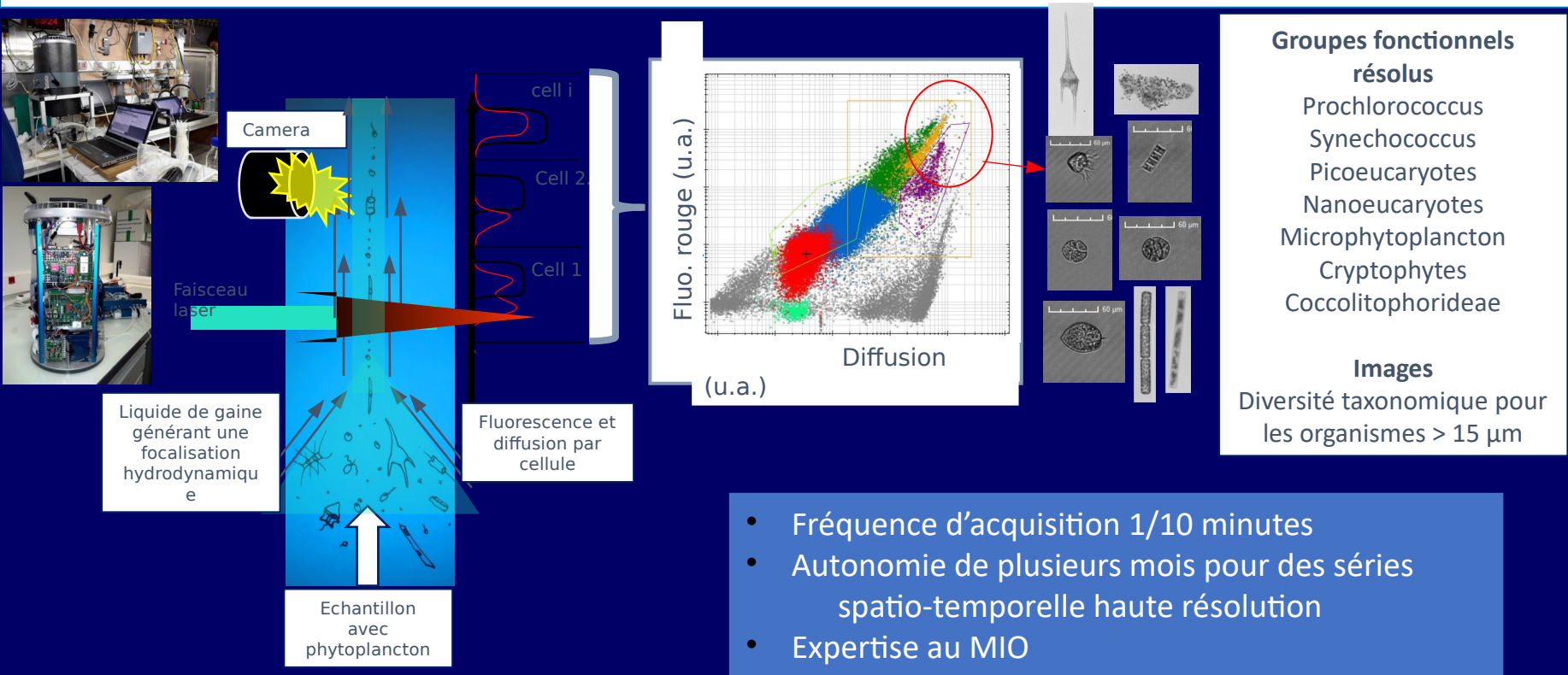
Navires d'opportunité



Navires scientifiques



La cytométrie en flux automatisée permet une **observation fine** des différents phytoplanctons cellule par cellule. Cela permet de **calibrer les observations satellites**, de mener à bien des **études théoriques** pour expliquer/améliorer les signaux utilisés en couleur de l'eau



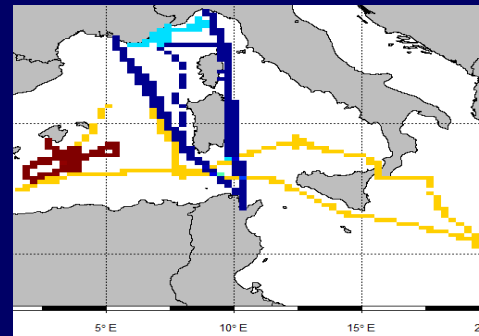
(Thyssen et al., 2015; Duforet et al. 2015; Moutier et al., 2016, 2017)

Courtesy, Thyssen 2020]

Le couplage avec les propriétés optiques de l'eau et PHYSAT

Application en Méditerranée=

>2500 échantillons de cytométrie en flux collectés entre 2015 et 2020 lors des campagnes à la mer.



OSCAHR
FUMSECK
PEACETIME
CHROME
preBIOSWOT

Labellisation des signaux de couleur de l'eau via PHYSAT (détection des dominances et assemblages) (S. Alvain, AH. Rêve)

Tosca CYTOSAT

Modèle théorique. Estimation de la biomasse et influence de la morphologie des cellules de phytoplancton (L. Duforet)

- Meilleure caractérisation:
- De la composition du phytoplancton
 - de ses rôles dans les cycles océaniques (carbone notamment)
- Applicable à l'échelle du globe
-Intégration des processus de croissances dans les données
-Données attendue par les modèles biogéochimique
- Liens avec les ressources (chaîne alimentaires).

Expériences couplées dans le cadre de BIOSWOT



Pour mesurer les sels nutritifs

Capteurs de Nutriments (commercialisés)

= > 2 principales technologies:

- **Optique** (ex: **In Situ Ultraviolet Spectrophotometre** pour nitrates): mesure du spectre d'absorption mais problème de consommation d'énergie et de sensibilité (LD = 0.5 μM) et non disponible pour tous les nutriments
- **Analyse chimique** = Méthodes d'autoanalyse standard; = la plus performante à l'heure actuelle (LD ~ 0.05 μM); durée de déploiement de plusieurs mois (> 4 mois); = sur différents types de plateformes autonomes (mouillage, AUV le subchem de Wetlabs)
Mais problème = instrumentation complexe : dispositifs **lourds** (environ 10 – 30 kg, **encombrants** 0.5 m³) ; **chers** (entre 10 et 100 k€) ; maintenance technique lourde.

- **Analyseur de nutriment multiparamètres**



EcoLAB (EnviroTech)



**SubChemPak Analyzer
(Subchem Syst./WetLabs)**



**NPA (Systea)
(nutrient probe
analyzer)**

- **Analyseur de nutriment mono-paramétrique**



9600 Nitrate Monitor (Ysi)



Cycle-PO4 (Wetlabs)

A partir de mesures de flotteurs PROVIO

Estimation des nutriments :

- Latitude
- Longitude
- Temps
- Pression
- Température
- Salinité
- Oxygène

CANYON (Sauzede et al. 2017)

Réseaux de neurone =
procédures de régressions
multiples non linéaires

Matière inorganique NO_3^- et PO_4^{3-}

(diag. A. Fumenia)

Updaté Bittig et al., 2018

Version Canyon- Med (Marine Fourrier et al., 2020, 2023)

Dans le WTSP

- Proposition d'un nouveau proxy optique de la MOP entre 0 et 150 m bien adapté aux régions oligotrophes :
 $PON^{opt} = 1280 \times b_{bp} - 0,38$
- Augmentation de PON^{opt} d'un facteur 2 à 5 en période estivale stratifiée
- En absence d'apport vertical de NO_3^- , les augmentations de PON^{opt} reflètent un apport de N via la fixation de N_2

Fumenia, A., A. Petrenko, H. Loisel, K. Djaoudi, A. de Verneil and T. Moutin (2020),
Optical proxy for particulate organic nitrogen from BGC-Argo floats , Optics Express,
doi:10.1364/OE.395648

(Relation ci-dessus $R^2=0.87$)

Mais travail à explorer plus car travail sur 28 profiles

Très peu de données dans zones oligotrophes du Pacifique Tropical Sud Ouest

Grand apport des flotteurs BGC-Argo)

(MOP = Matière Organique Particulaire; PON = Particulate Organic Nitrogen)

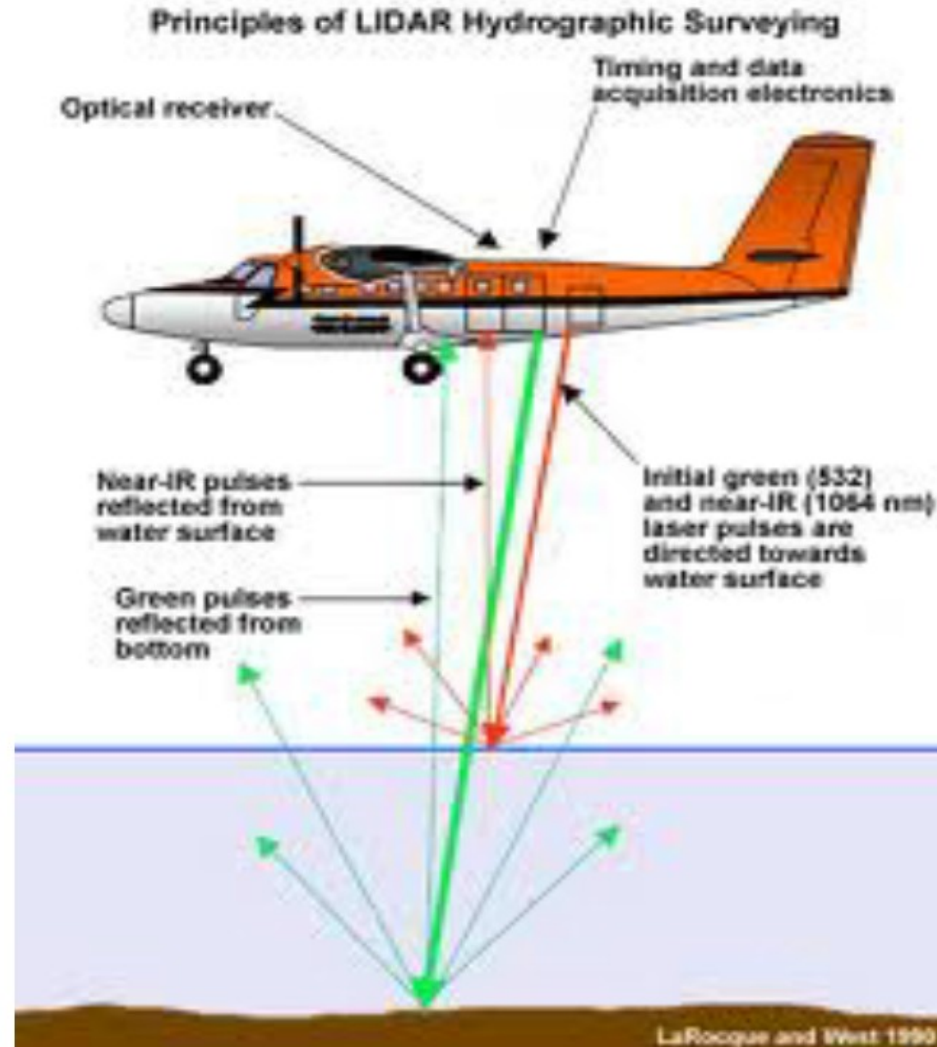
Le LIDAR (détection active) (Light Detection And Ranging)

Utilité:

Bathymétrie et type de fond.

Poisson (sardine).

Distribution et type de particules.



Peut aussi détecter de la fluorescence – Lidar à fluorescence)

LIDAR Instrument actif

~Laser and Radar

Avantages:

- Actif donc fonctionne de nuit (détection migration nycthémérale)
- Traverse couverture nuageuse
- Détection de zones rarement explorées; ex poles (pas sous nadir des satellites)

More details than you want to know:

<https://en.wikipedia.org/wiki/Lidar>

Site de vulgarisation de M. Behrenfeld

https://www.scientia.global/professor-michael-behrenfeld-advancing-satellite-technology-to-monitor-ocean-phytoplankton/?doing_wp_cron=1605025154.6465411186218261718750

MJ Behrenfeld, Y Hu, CA Hostetler, G Dall'Olmo, SD Rodier, JW Hair, CR Trepte, Space-based lidar measurements of global ocean carbon stocks, Geophysical Research Letters, 2013, 40, 4355–4360.

NASA Langley Research Centre more sophisticated lidar technique: high-spectral resolution lidar (HSRL). HSRL adds an additional detector system to independently separate scattering and absorbing components in the water.