

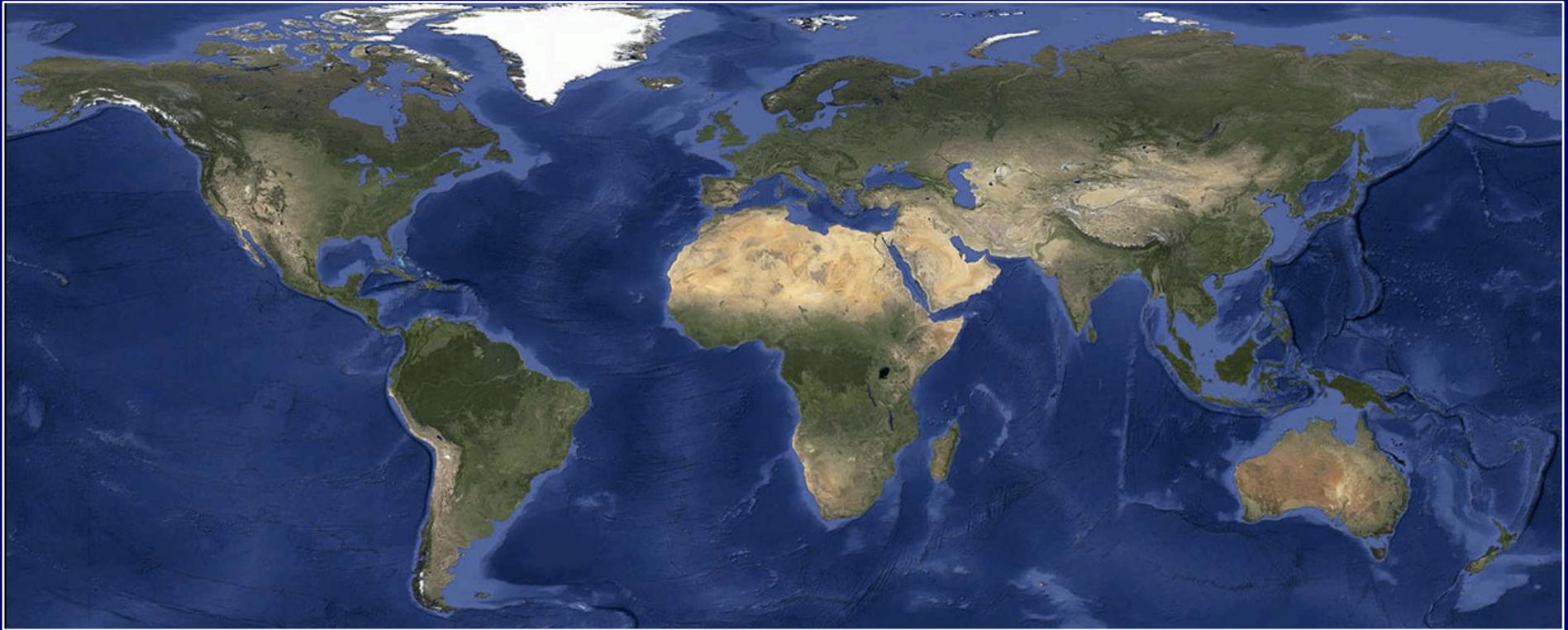
Les micro-organismes marins turbulents sont sous haute surveillance : de la cellule au satellite

Stéphanie BARRILLON, Gérald GREGORI, Melilotus THYSSEN

Université d'Aix-Marseille
Institut Méditerranéen d'Océanographie MIO
Campus de Luminy
<https://www.mio.osupytheas.fr/>



Importance de l'Océan

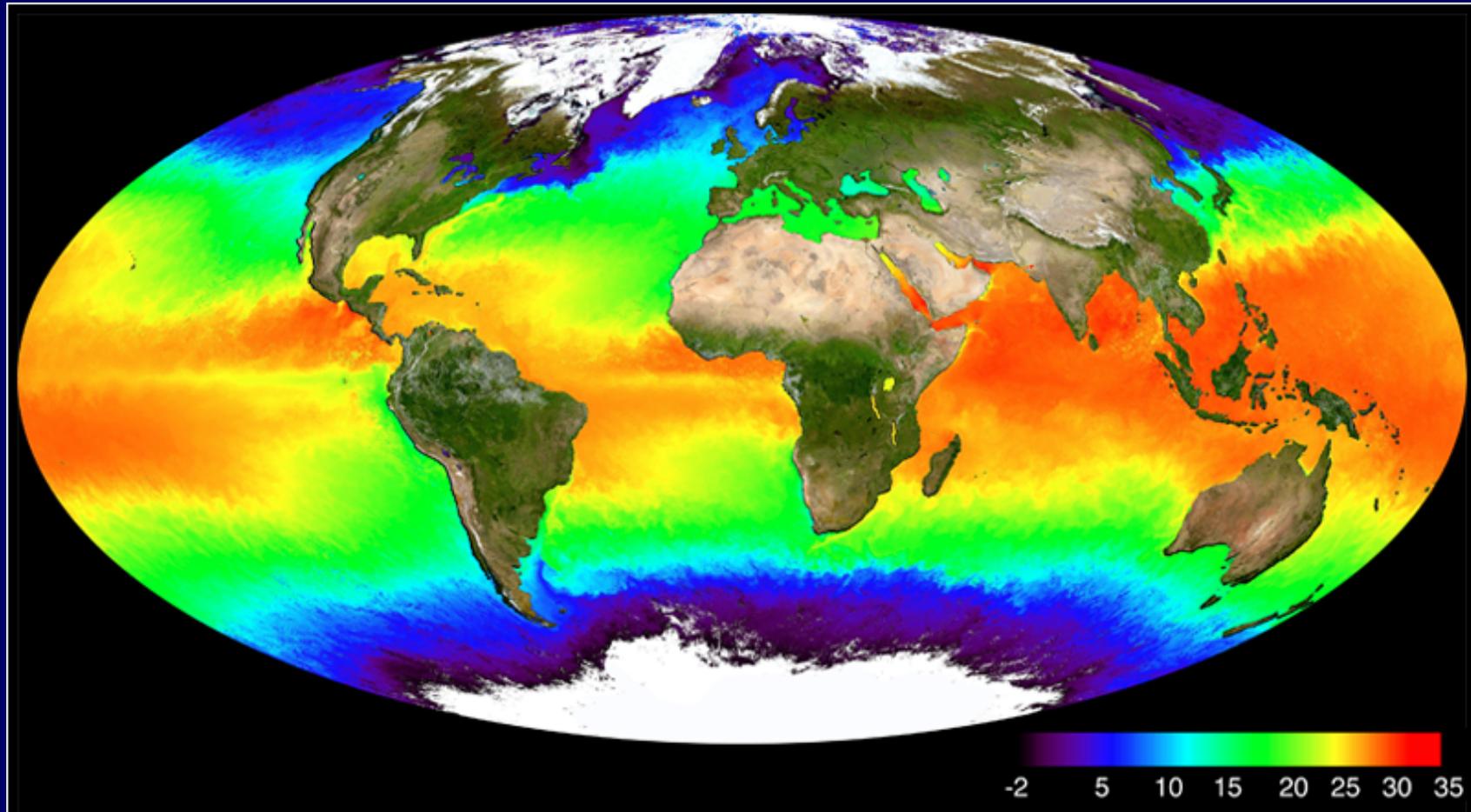


**Hydrosphère → couvre >70% d'une planète
nommée « Terre »**

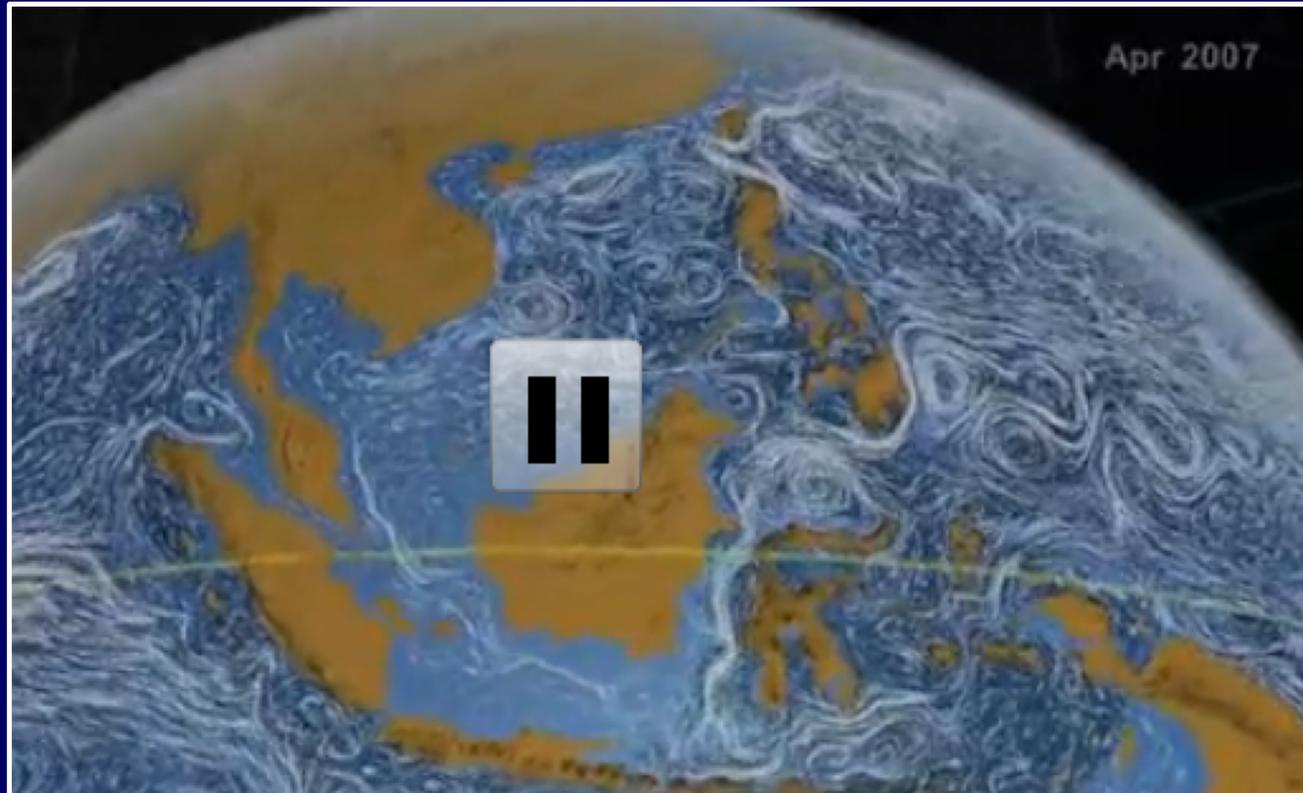
L'Océan en quelques chiffres

- Sur Terre : 5 océans recouvrent 71% de la surface du globe
- 360 millions de km²
- 97% de l'eau disponible sur Terre (3% d'eau terrestre; vapeur d'eau atmosphérique = une part infime)
- Profondeur moyenne : 3800 mètres (zone éclairée : 150 m)
- Profondeur maximum atteinte par l'homme : 10 923 m (Fosse des Mariannes dans l'océan Nord Pacifique)
- 300 fois la masse de l'atmosphère
- 1 300 fois sa capacité de stockage de chaleur

Les températures de l'Océan (°C)

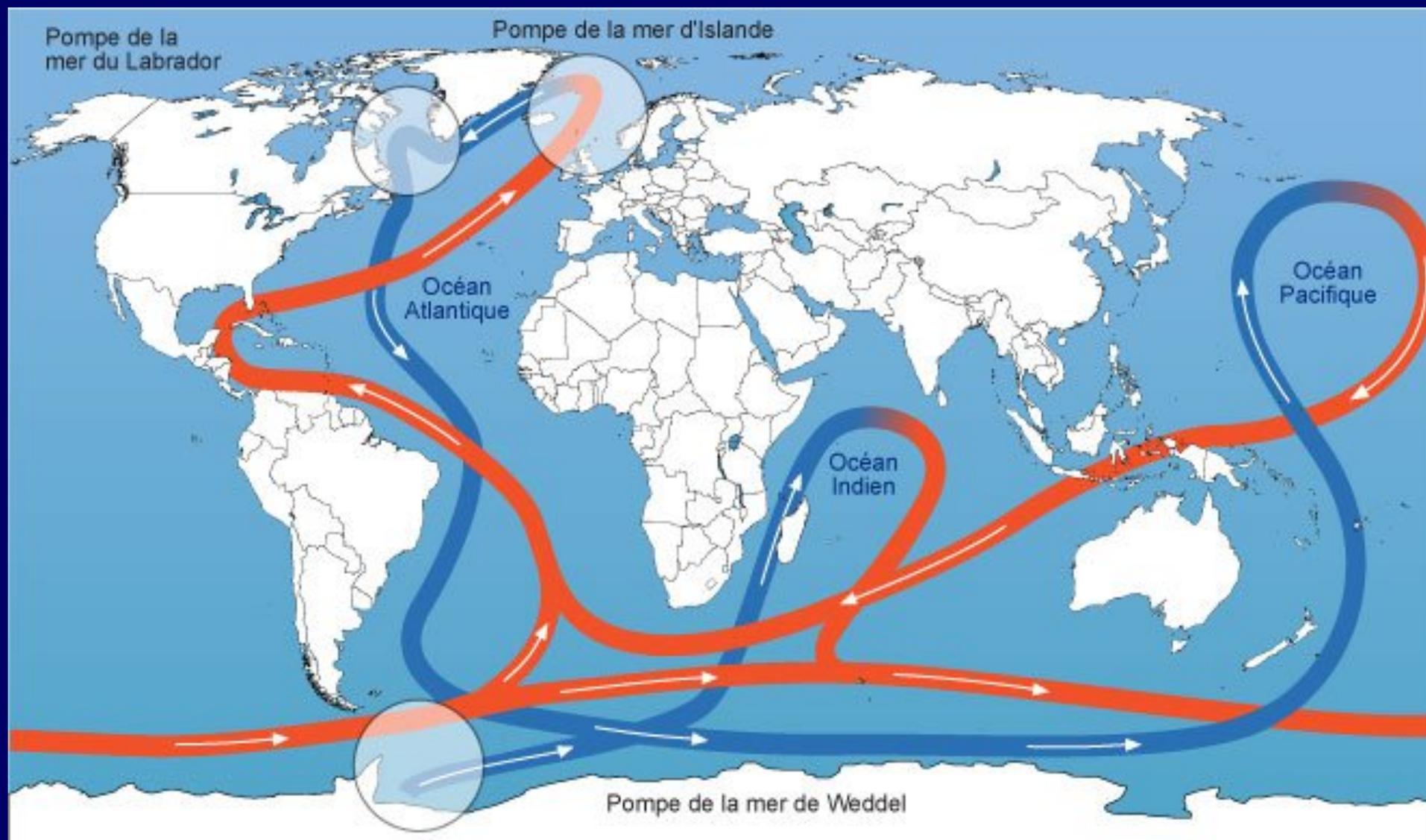


Un Océan dynamique

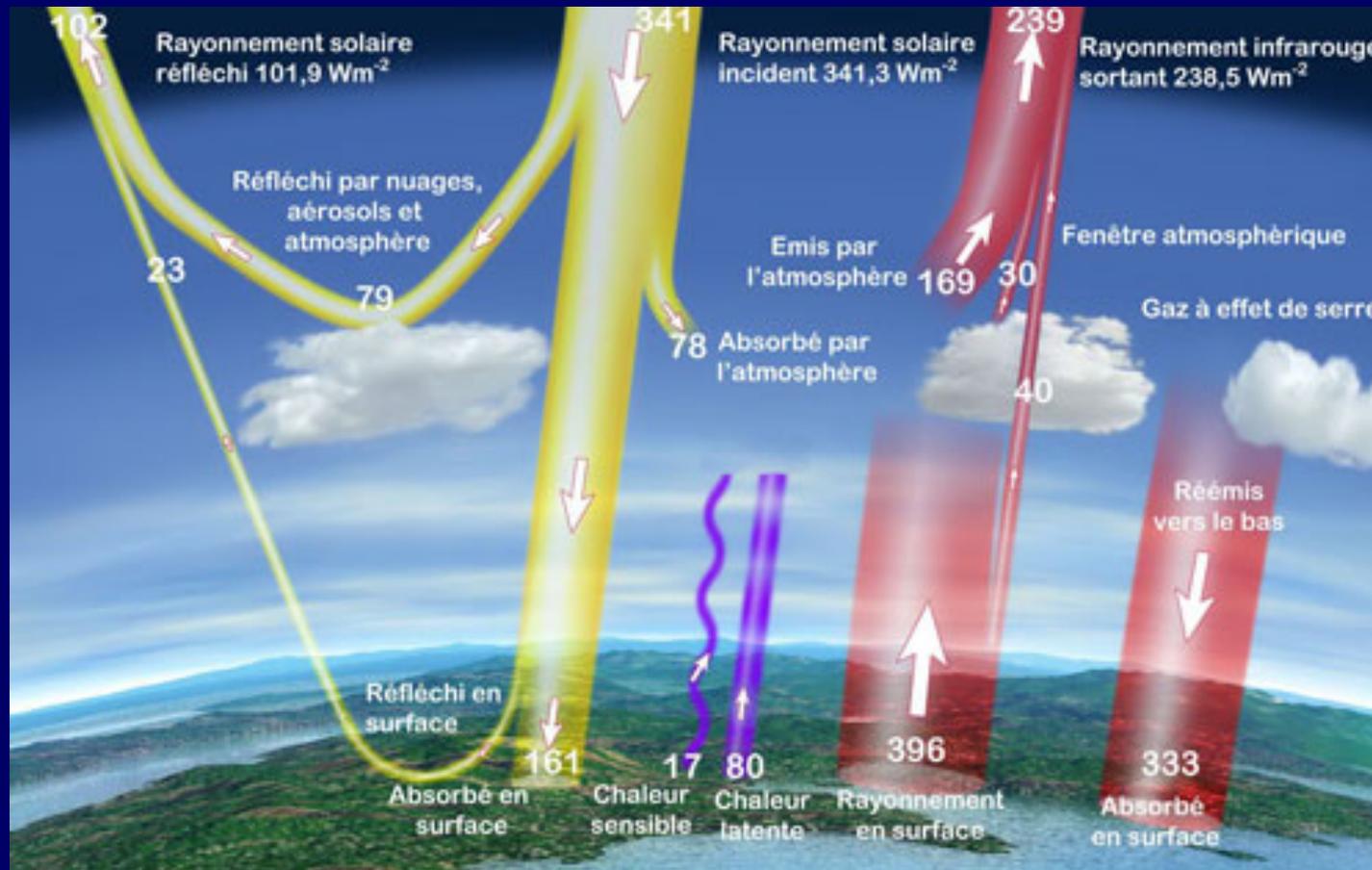


**Animation des courants de surface entre Juin 2005 et
Décembre 2007 (NASA)**

La grande circulation générale → Régulation du climat



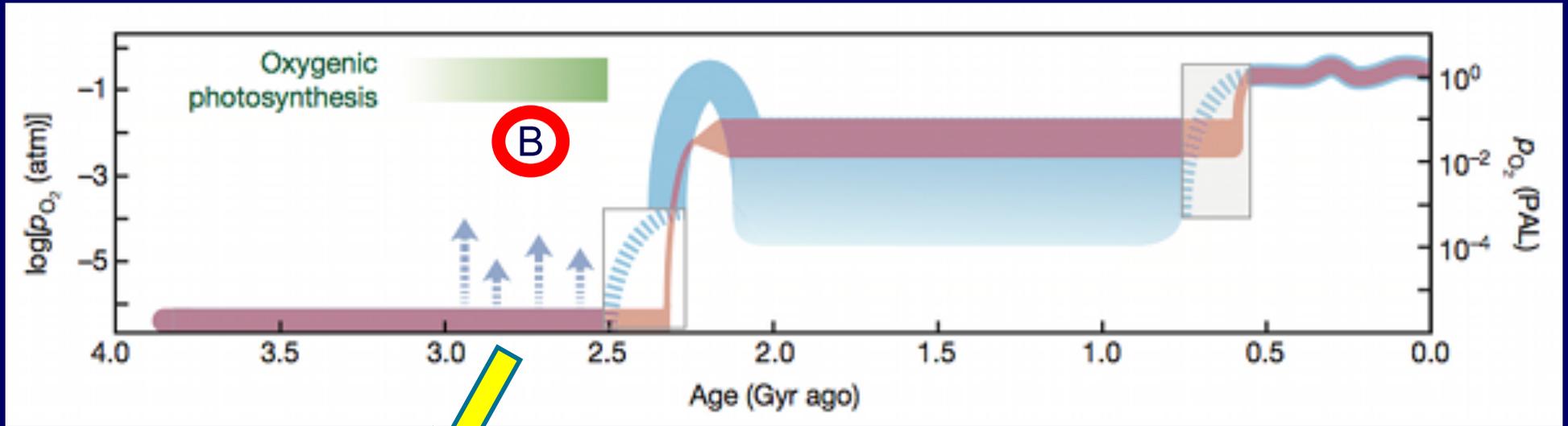
L'effet de serre



Les gaz à effet de serre (vapeur d'eau, gaz carbonique, méthane...) sont pratiquement transparents au rayonnement solaire (longueur d'onde du visible) et opaques au rayonnement infrarouge émis par la Terre. La chaleur est piégée.

© Météo-France/François Poulain

Evolution de l'oxygène dans l'atmosphère



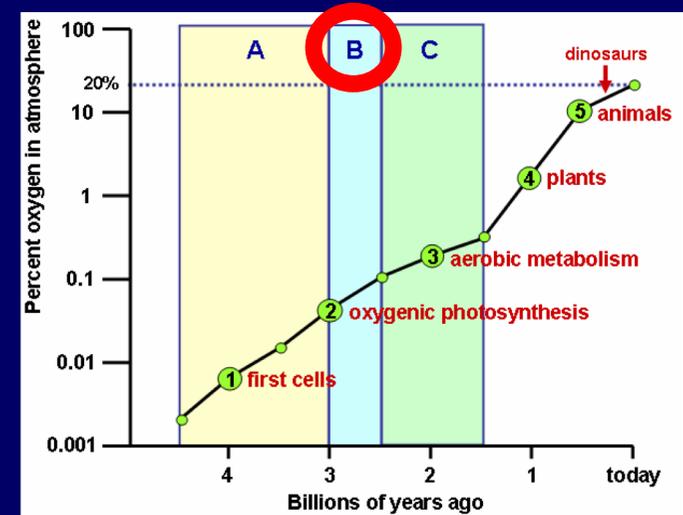
Oxydation de la lithosphère marine



B

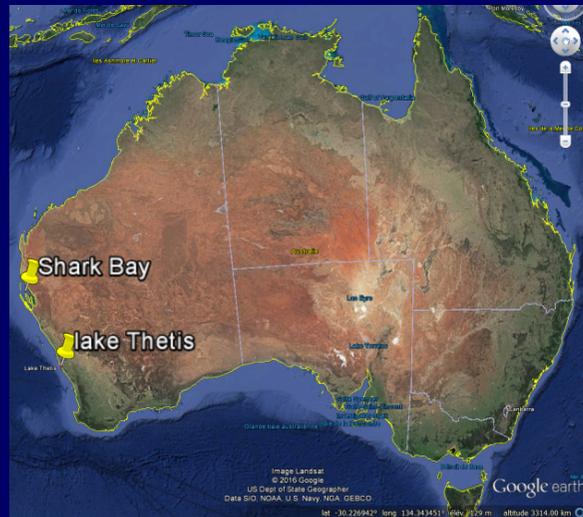
Fer rubanés (USA).

Oxydation de l'eau de mer → précipitation de oxyde de fer



Origine de l'O₂ : les *Stromatolithes*

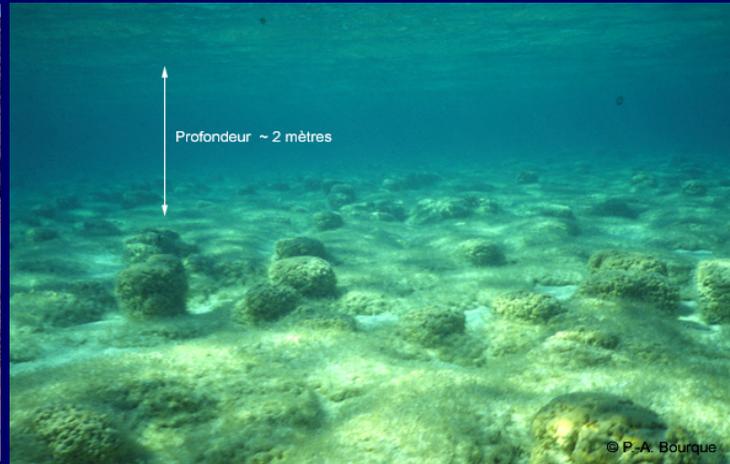
Stromatolithes à Sharkbay (Australie)



Stromatolithes dans le lac Thetis Australie occidentale



Stromatolithes : Bacteria, Archea, Cyanobacteria Carbonate de calcium



Stromatolithes :

Rôle dans la physiologie biogéoplanétaire et de la biosphère, grâce à l'absorption et l'inertage du CO_2 , conjointement au calcium.

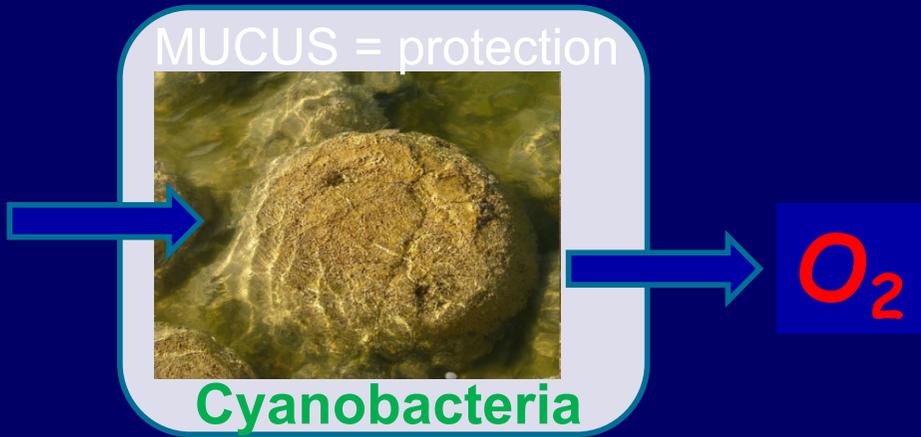
Régulation de la température et du CO_2 → *vie aérobie sur terre possible* ... mais vie anaérobie très fortement réduite !!!

UV



Régulation de l'effet de serre !!!

CO_2



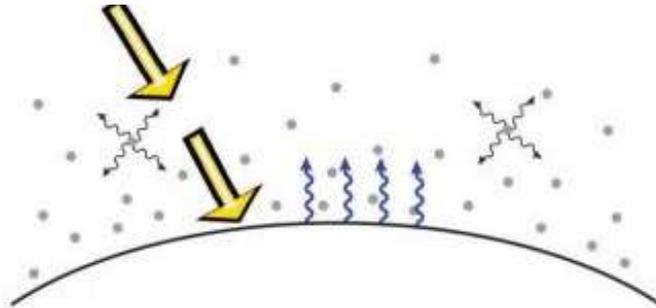
- pH eau de mer
- CO_2 Atmosphérique
- O_2 Atmosphérique & Ozone
- UV "terrestre"



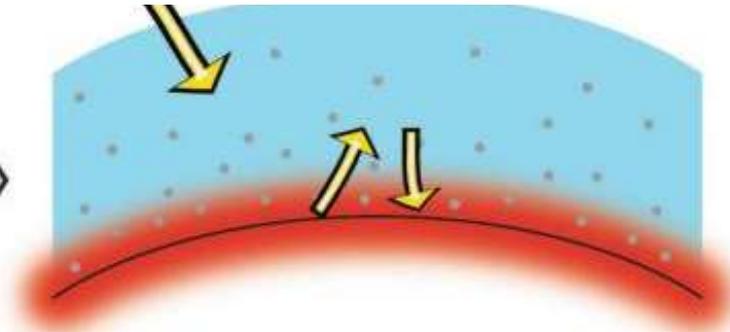
La terre est un organisme vivant

Changements globaux : Effet de la variation d'oxygène atmosphérique sur le climat terrestre

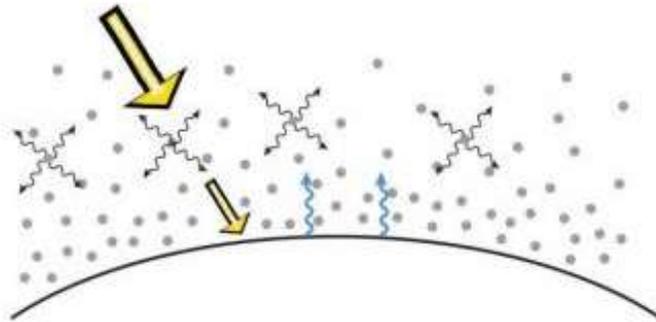
Faible concentration en O_2 atmosphérique
Moins de dispersion, plus de radiation solaire



Plus grande humidité, plus de gaz à effet de serre, climat plus chaud



Forte concentration en O_2 atmosphérique
Plus de dispersion, moins de radiation solaire



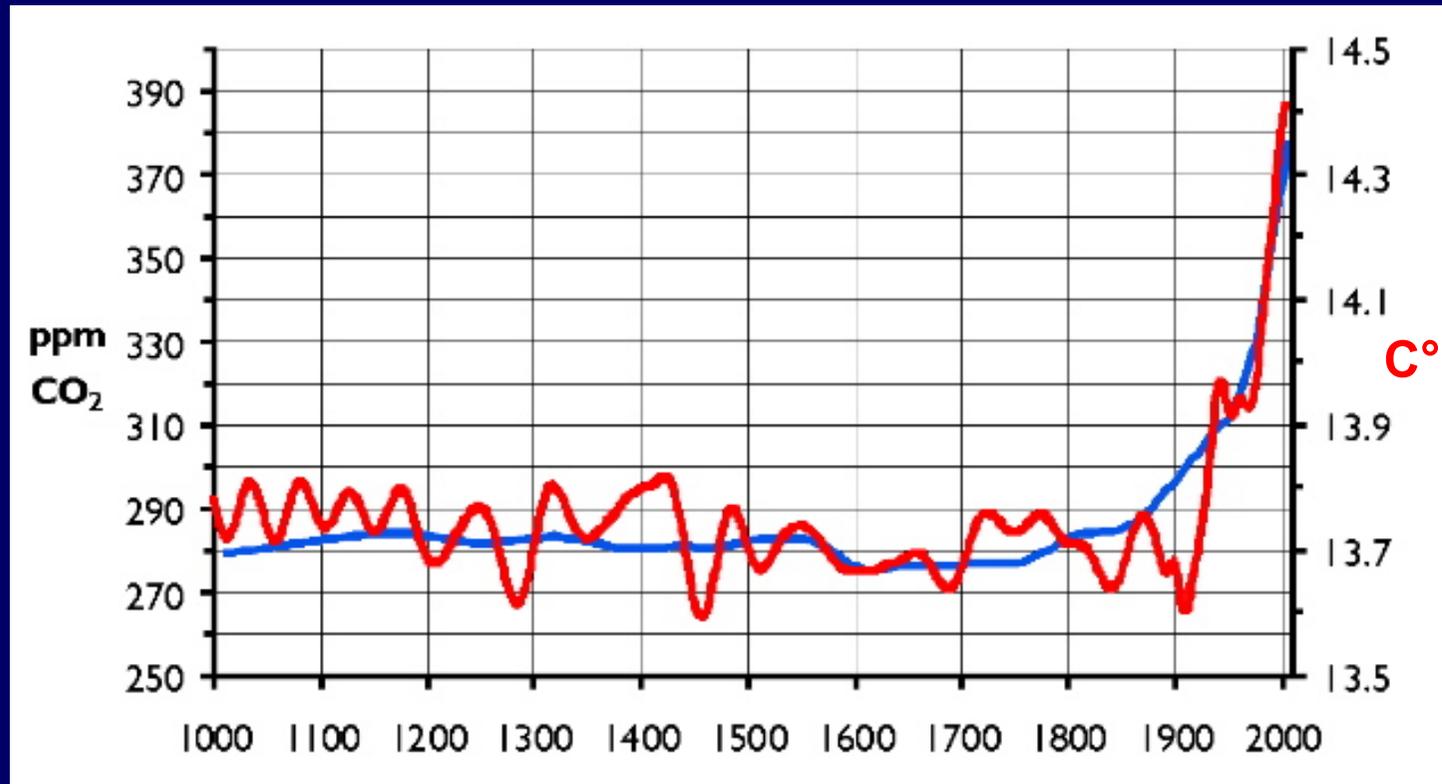
Equilibre à forte concentration en O_2
Faible humidité moins de gaz à effet de serre, climat plus froid



Stabilisation du climat

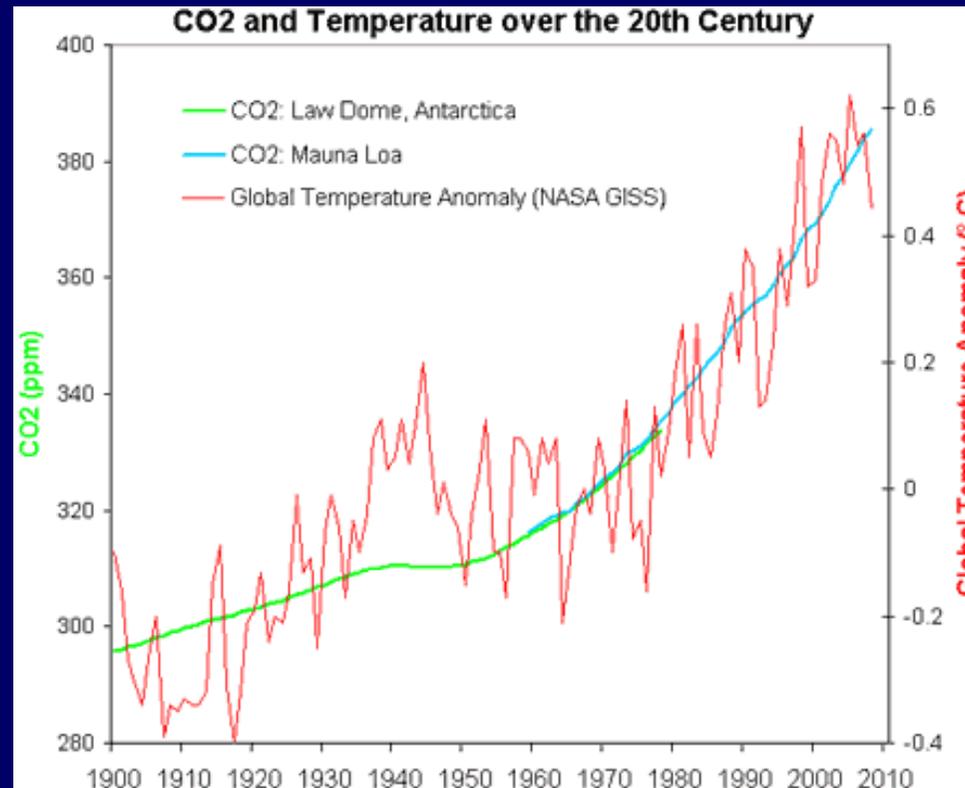
Poulsen et al. Science 348, 2015

Augmentation des gaz à effet de serre



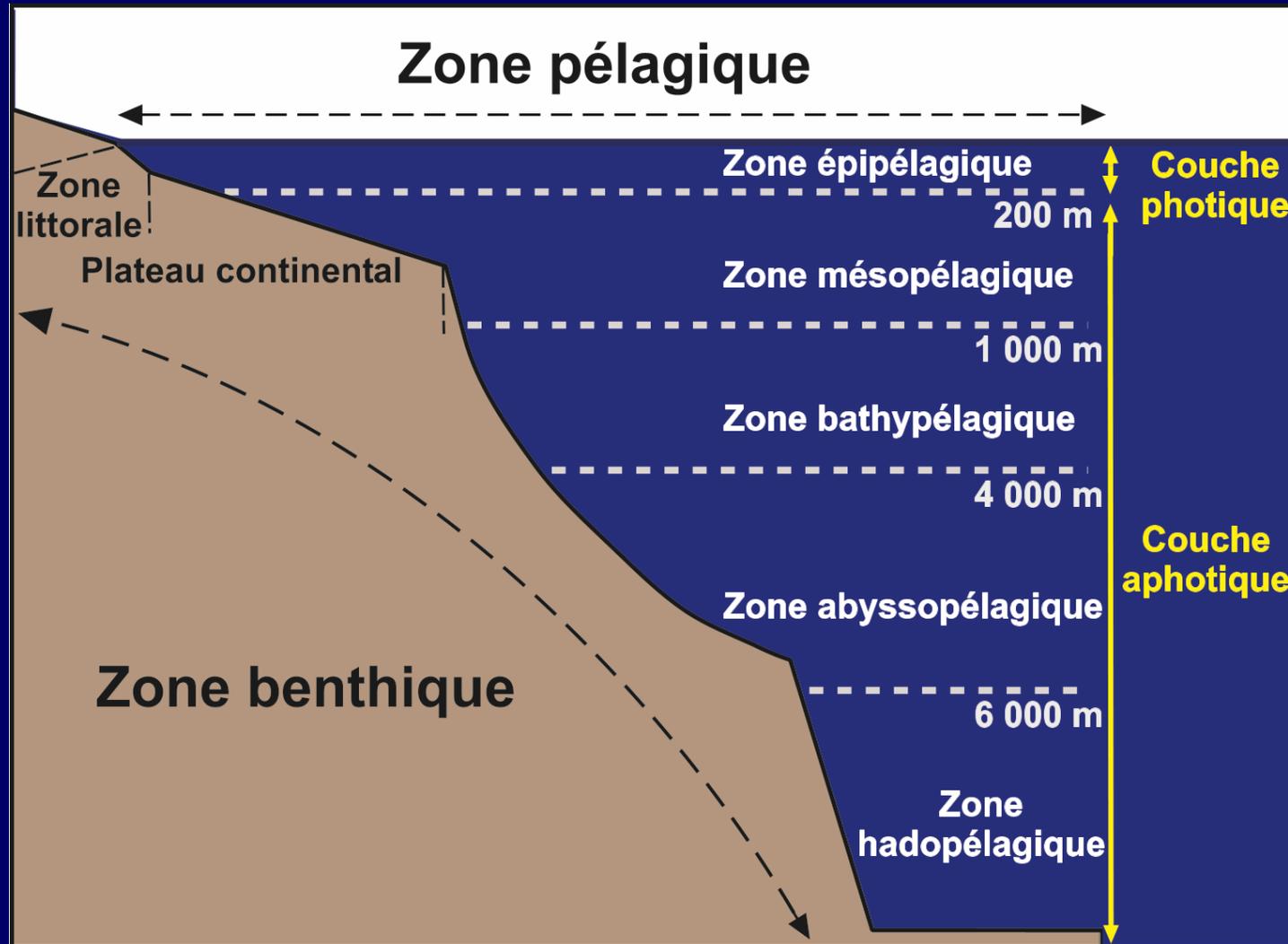
Corrélation mais pas forcément une causalité !!!!

Augmentation des gaz à effet de serre



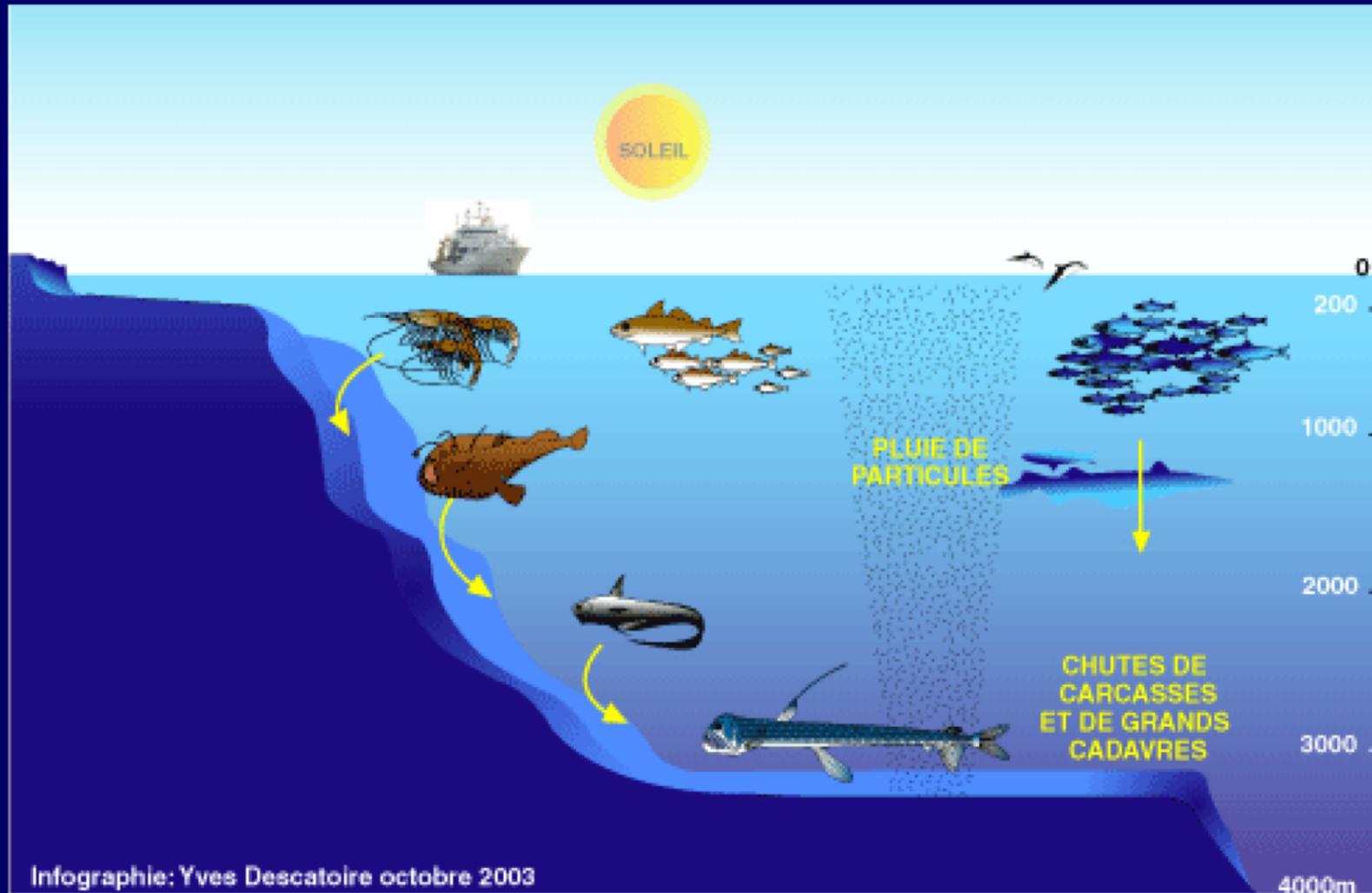
Depuis 40 ans, la température de la Terre est contrôlée par une multitude de facteurs, incluant une variabilité interne, mais l'impact du CO2 devient clairement dominant depuis environ 35 ans.

Les subdivisions de l'Océan



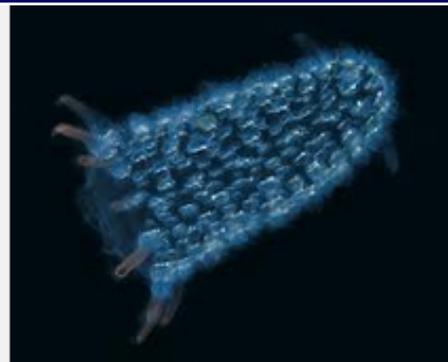
Zone côtière = environ 2% de la surface des océans

La vie est partout dans l'Océan

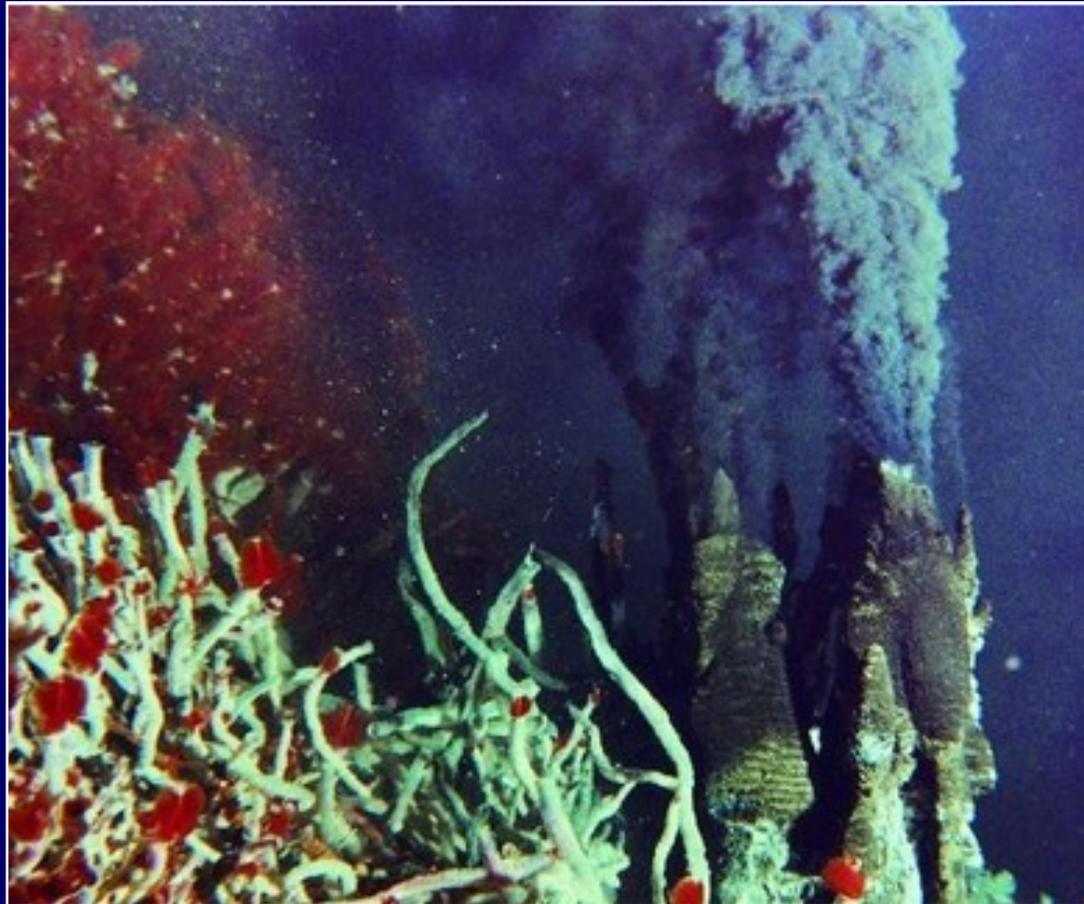


Source : IFREMER

La vie sous toutes ses formes

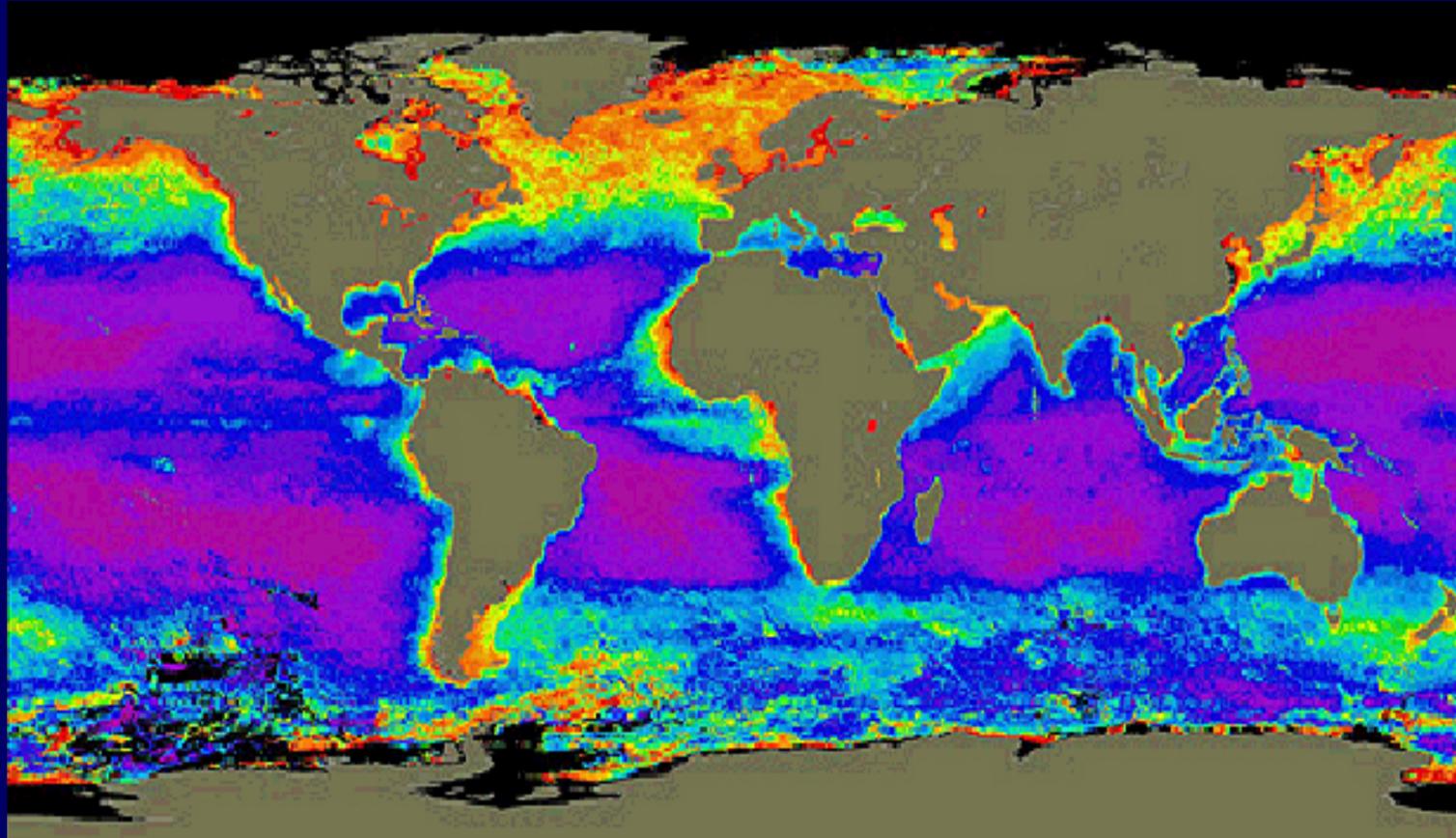


La vie en conditions « extrêmes » (pour l'homme)



Profondeur : 3 000 m (300 Kg/cm²)
T° eau : 407 °C (max : 464°C)

Importance des organismes marins

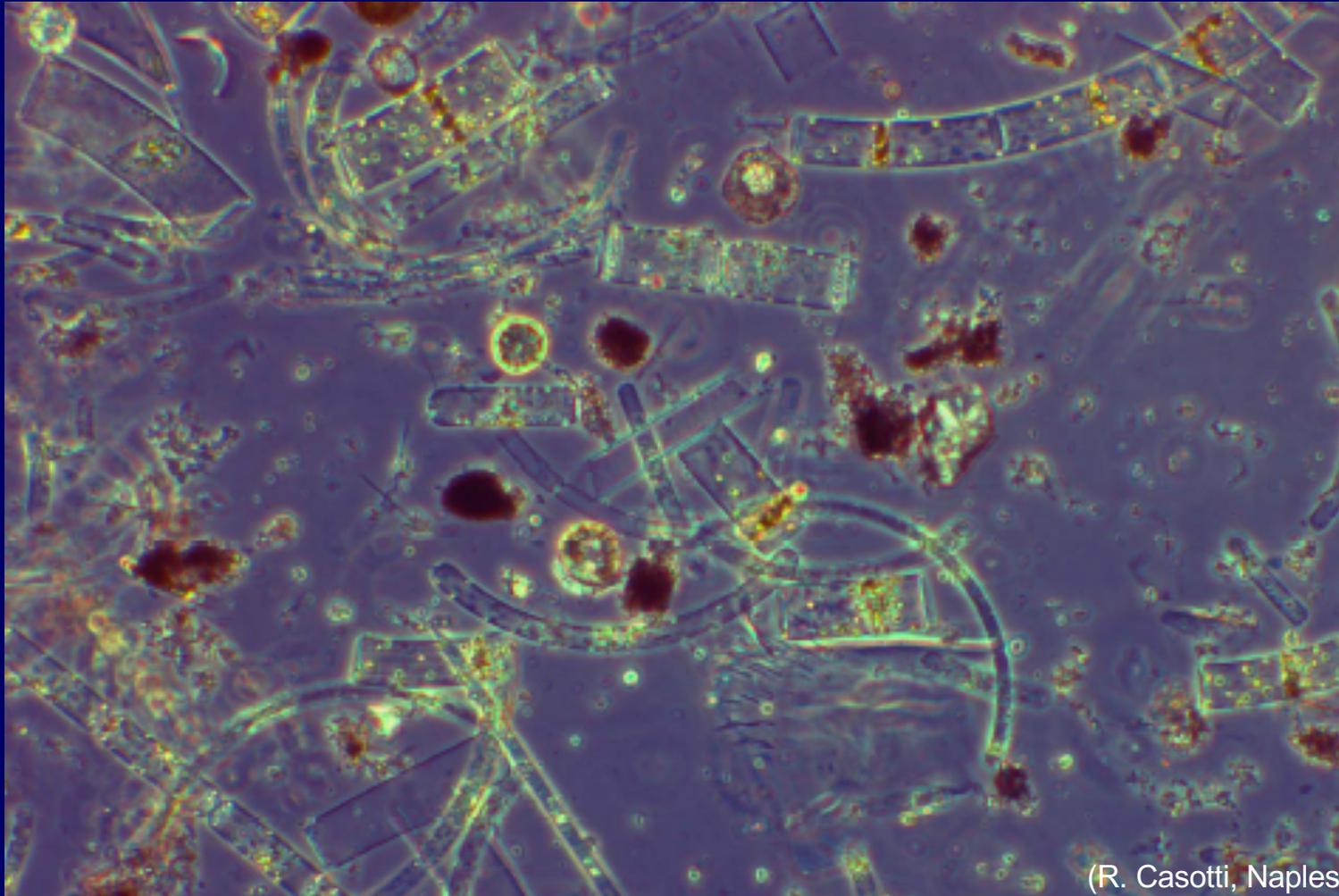


chlorophylle
($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$)



SEAWIF (NASA)

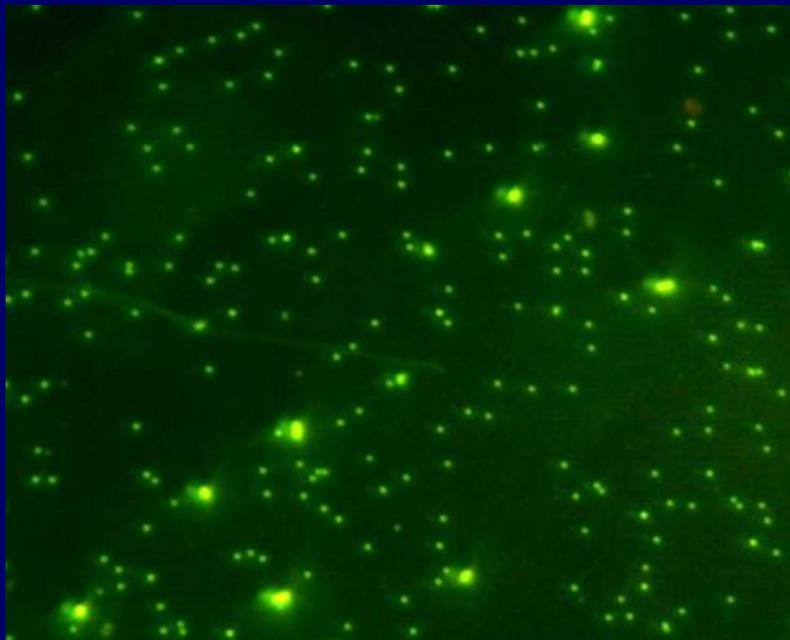
A quoi ça ressemble???



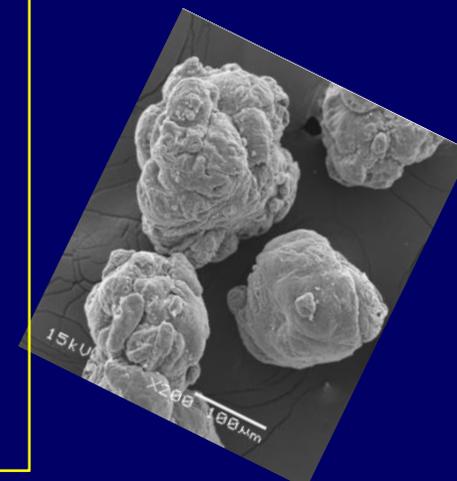
(R. Casotti, Naples)

Echantillon de Méditerranée, de surface

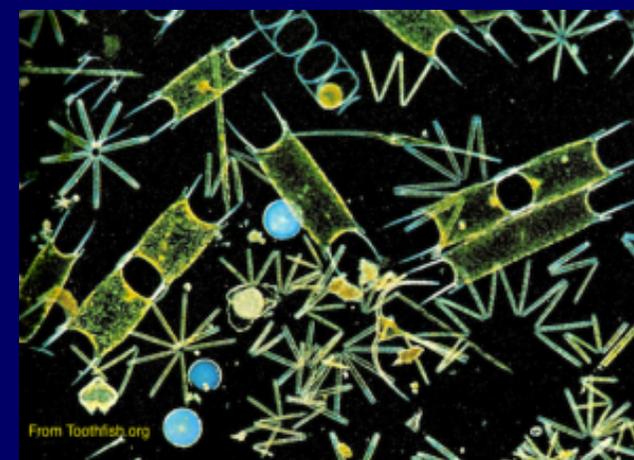
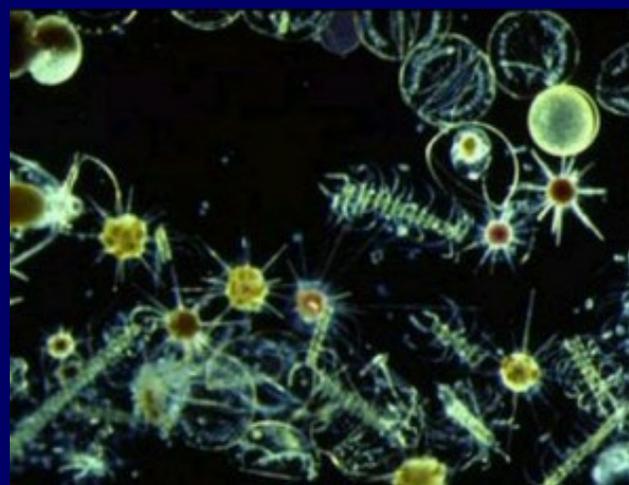
La nébuleuse du plancton !!!



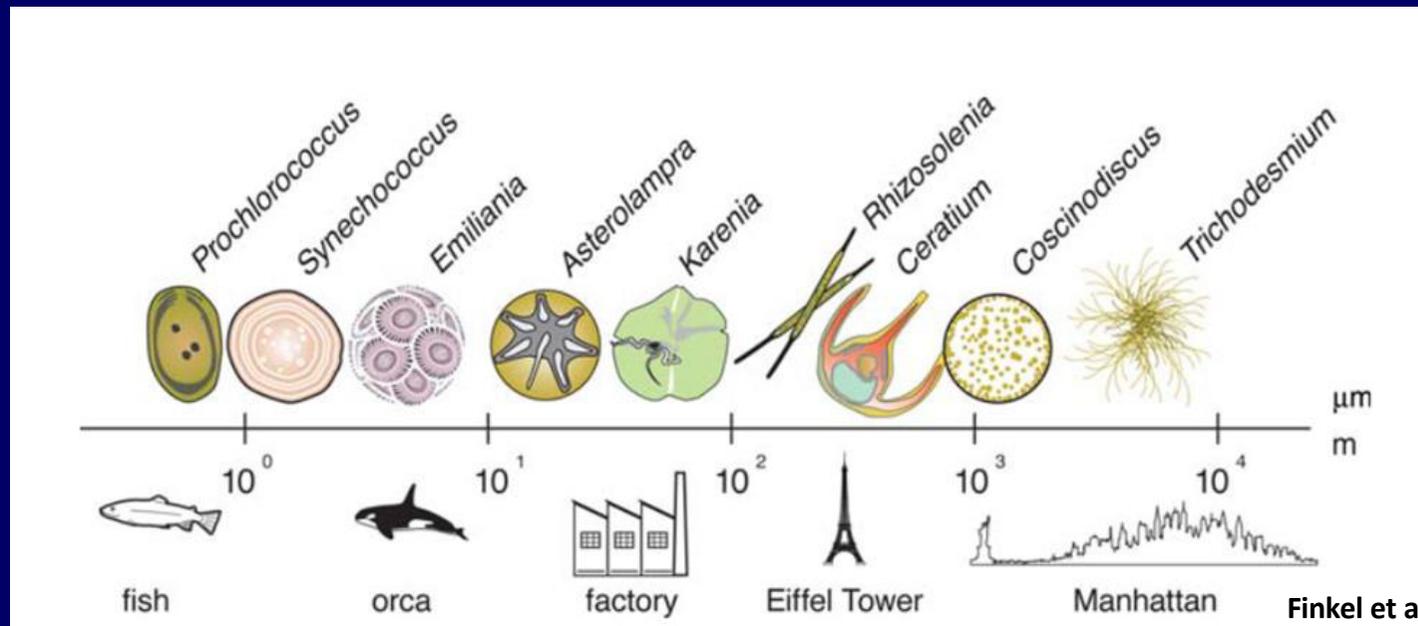
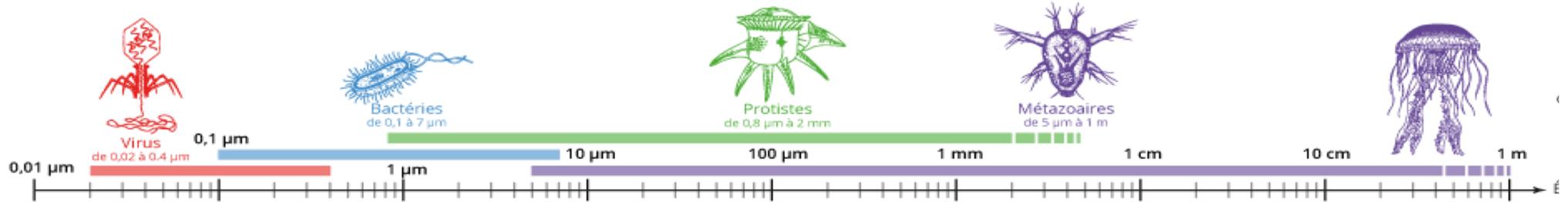
(photo. P. Bornet)



Particule submicroscopique de PVC



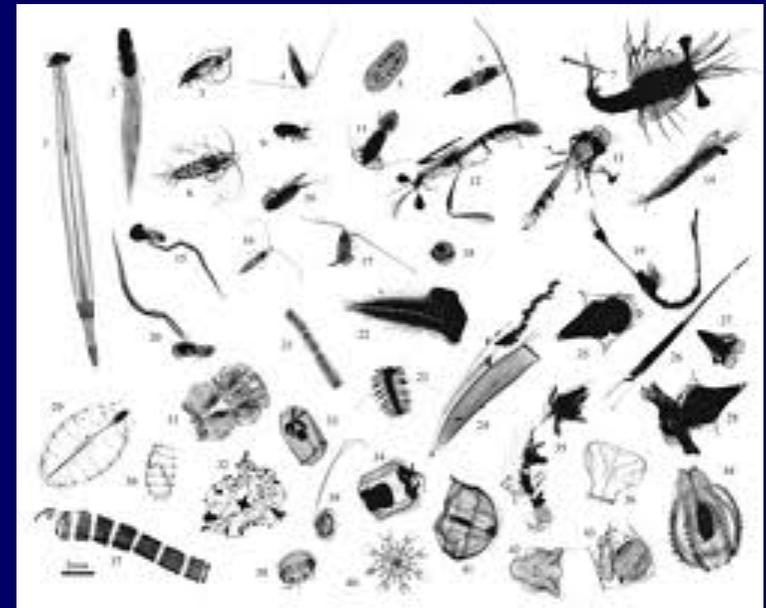
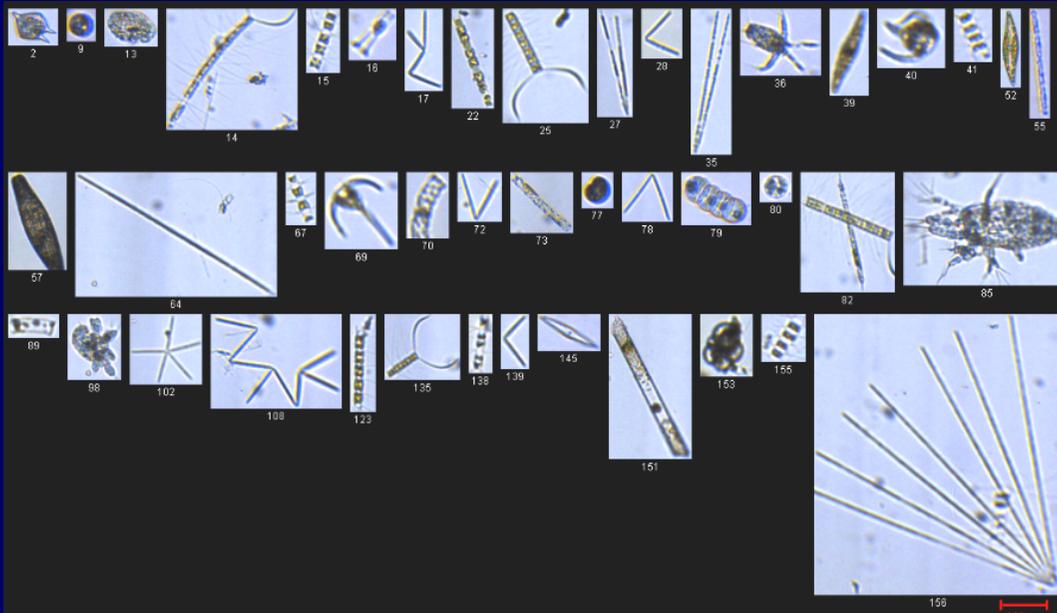
Les microorganismes varient en taille et en abondances sur des échelles gigantesques



Les méthodes de concentration pour les plus gros ($10\ \mu\text{m}$ à $10000\ \mu\text{m}$) et les moins abondants

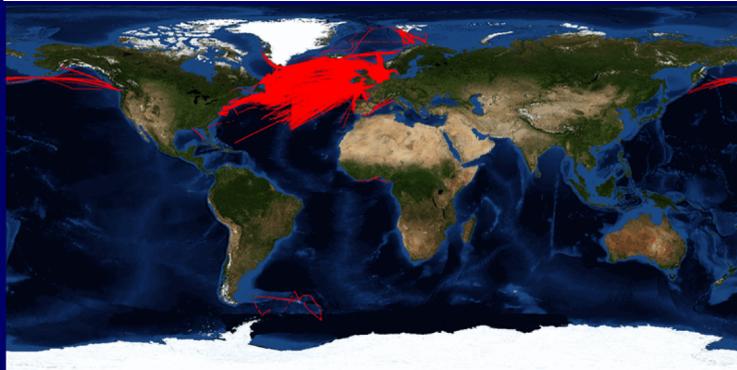


Une identification et une quantification par microscopie manuelle ou automatique



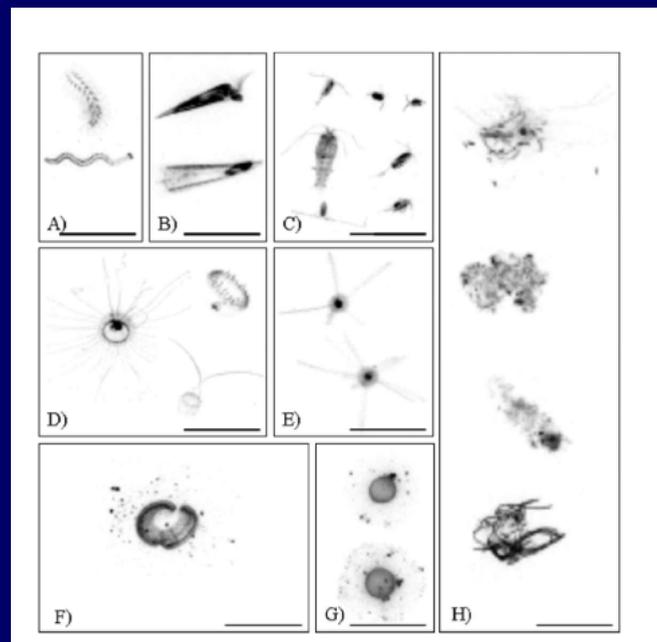
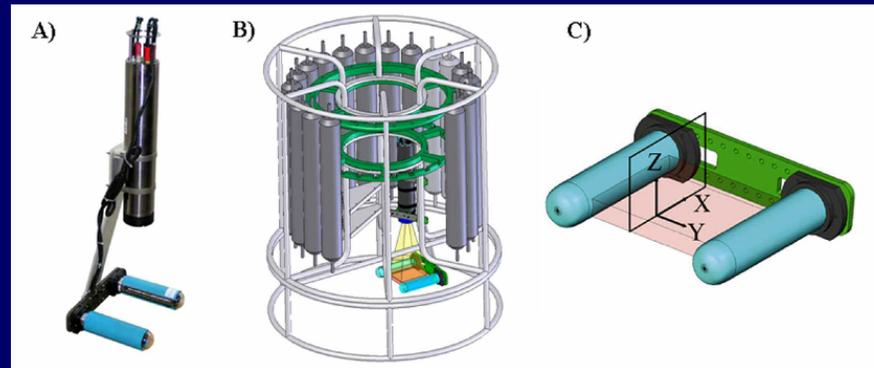
Des mesures automatisées *IN SITU* = *pour analyser plusieurs m³*

Continuous Plankton Recorder



Ser Aliston Hardy 1931

Underwater Video Profiler



Picheral et al. 2010

Pour le plus petit, $< 10 \mu\text{m}$, invisible à l'œil nu qui représente pourtant la principale biomasse dans les océans ouverts ?

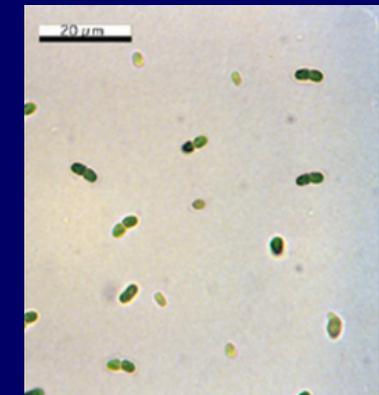
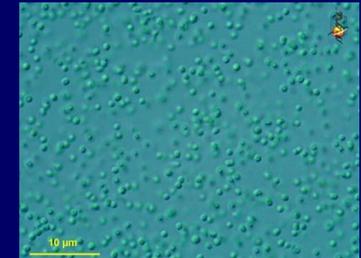
Pour comprendre un système il faut en étudier sa plus petite composante, et à la fréquence de sa plus fine dynamique

- Ces organismes sont unicellulaires, la plus petite unité d'observation est la cellule

Mais il y en a plusieurs millions par ml !

- Elles se divisent une à plusieurs fois par jours, la plus petite unité d'observation est l'heure

Mais personne ne fera ce travail de prélèvement sur plusieurs journées ??



L'océan est un milieu marin souvent hostile à l'homme.



**L'automatisation et l'autonomisation
=
une solution pour l'océanographie**

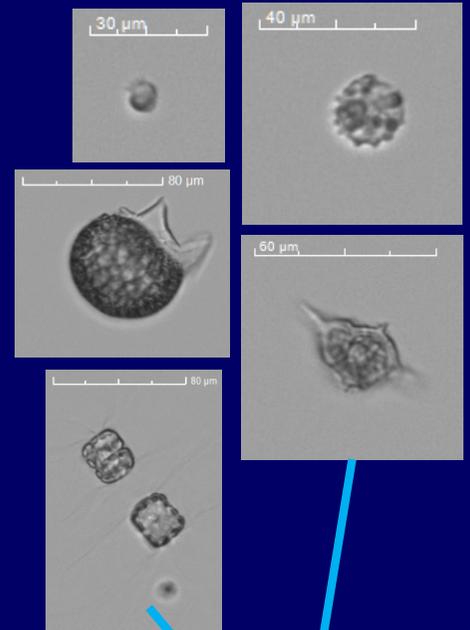
La cytométrie en flux = une technologie dédiée au microorganismes marins, issue de la recherche médicale



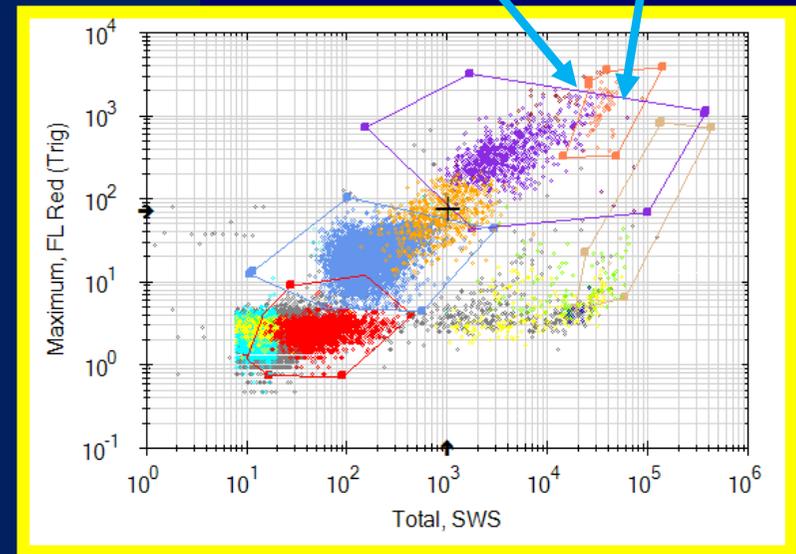
Camera

Faisceau Laser

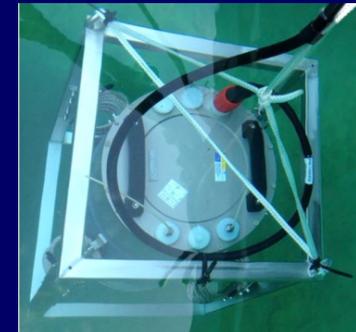
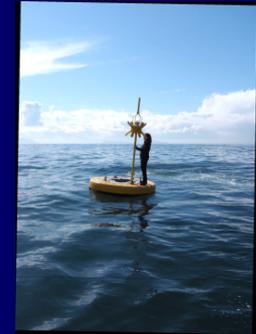
Profil optique par cellule



CytoBuoy
flow cytometry solutions



Une installation sur des plateformes de recherche, des bouées, et des navires d'opportunités



Et une résolution jamais égalée de la dynamique des cellules

frontiers in
MICROBIOLOGY

ORIGINAL RESEARCH ARTICLE
published: 12 August 2014
doi: 10.3389/fmicb.2014.00387

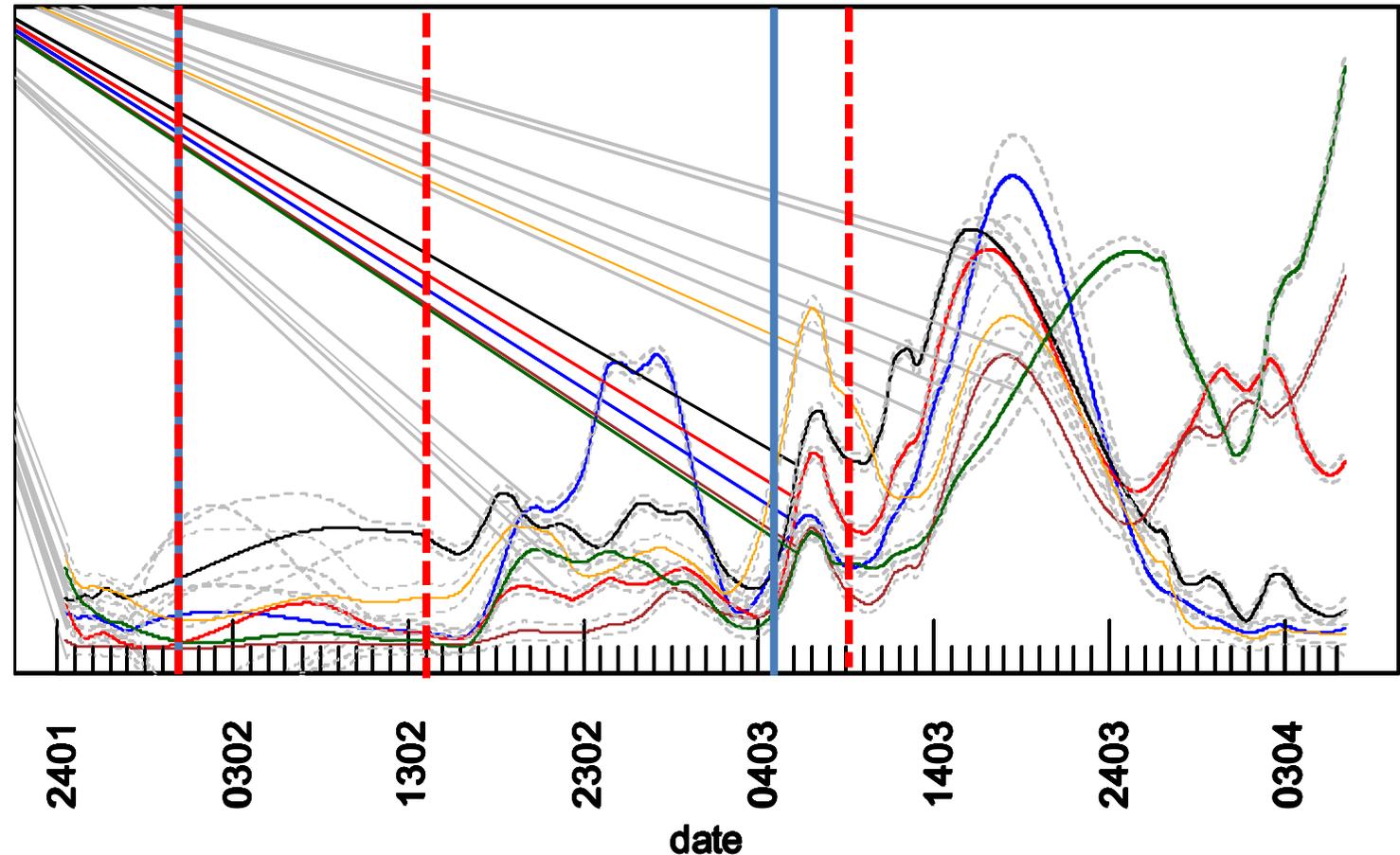


Onset of the spring bloom in the northwestern Mediterranean Sea: influence of environmental pulse events on the *in situ* hourly-scale dynamics of the phytoplankton community structure

Melilotus Thyssen^{1*}, Gerald J. Grégori¹, Jean-Michel Gironi^{2,3}, Maria Luiza Pedrotti^{2,3}, Laure Mousseau^{2,3}, Luis F. Artigas⁴, Sophie Marro^{2,3}, Nicole Garcia¹, Ornella Passafiume^{2,3} and Michel J. Denis¹

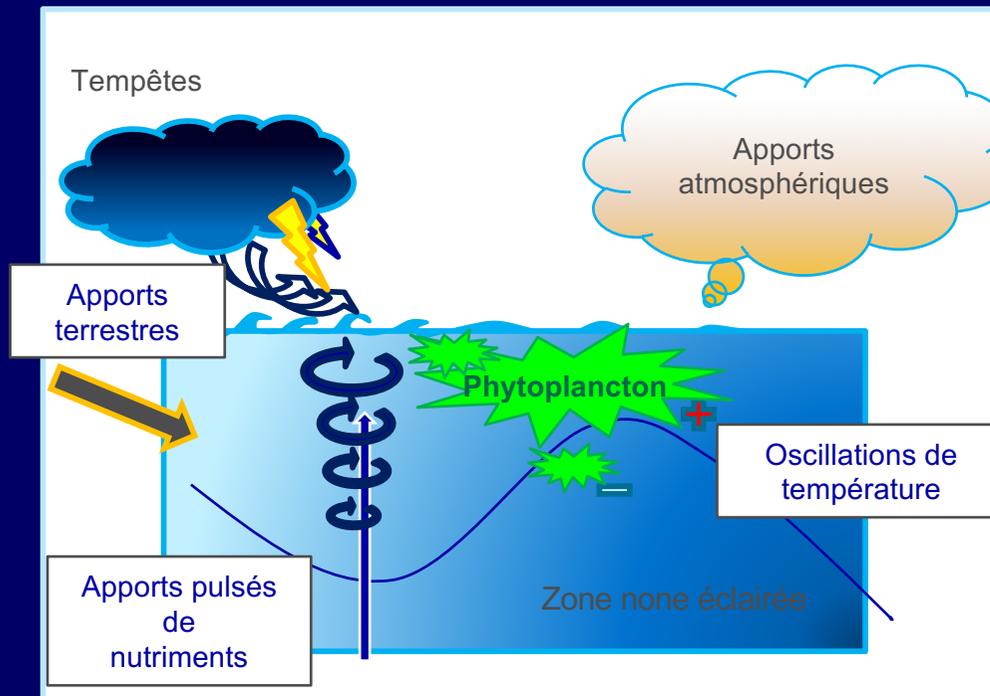
— Pluie
- - - Pic de Nitrates (μM)

- *Synechococcus*
- Picoeukaryotes
- Coccolithophores
- Cryptophytes
- Nanophytoplankton
- Microphytoplankton

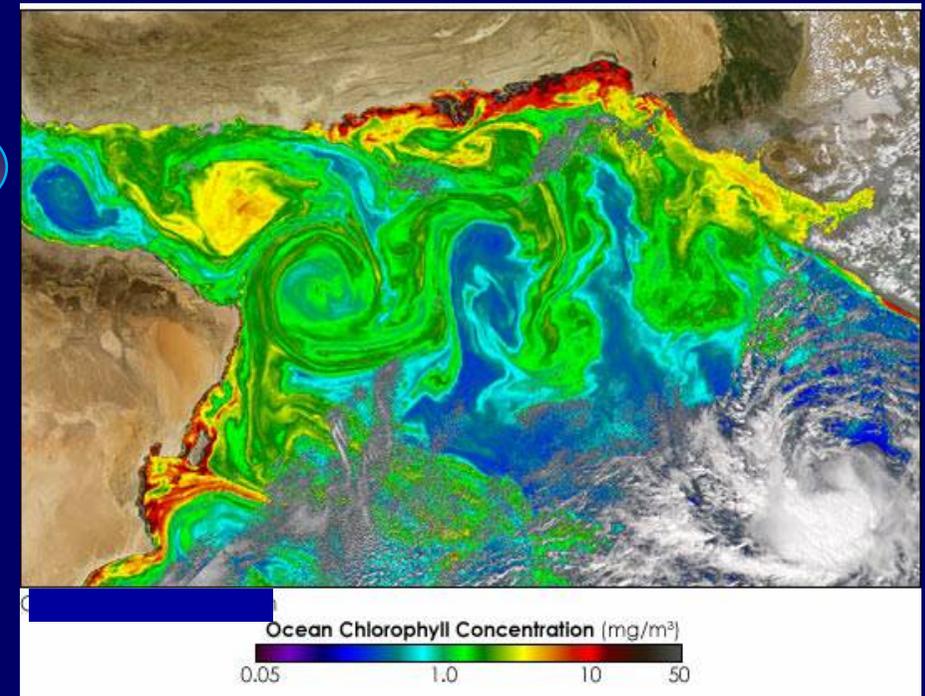


De l'échelle de la cellule à l'échelle des bassins = une organisation physique qui contrôle la distribution biologique ?

Milieu marin impulsif



Hydrodynamisme qui provoque un patchiness

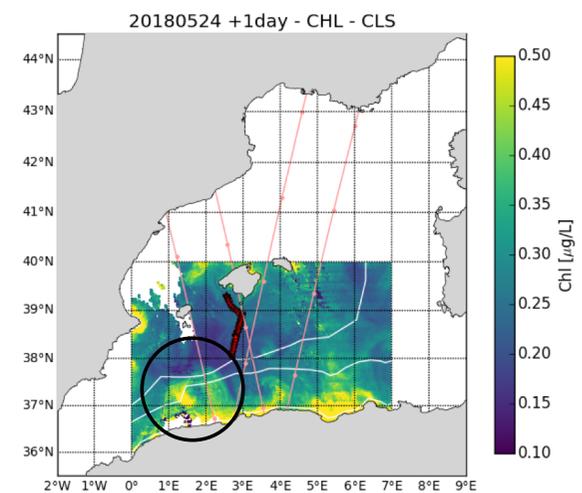
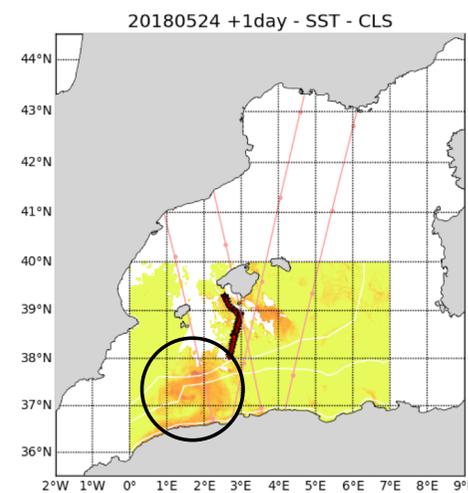
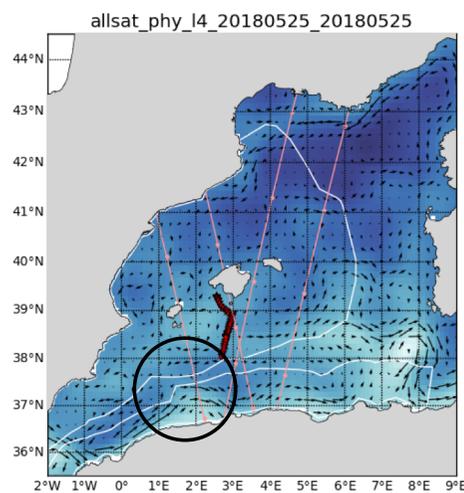


La dynamique physique et la biologie, associées pour la vie

Courants de surface

Température de surface

Chlorophylle de surface

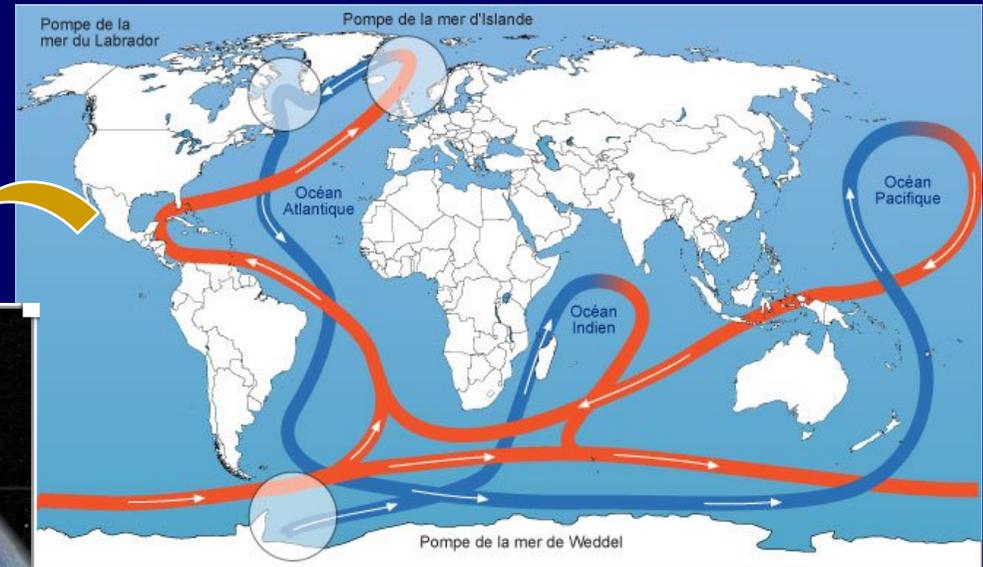
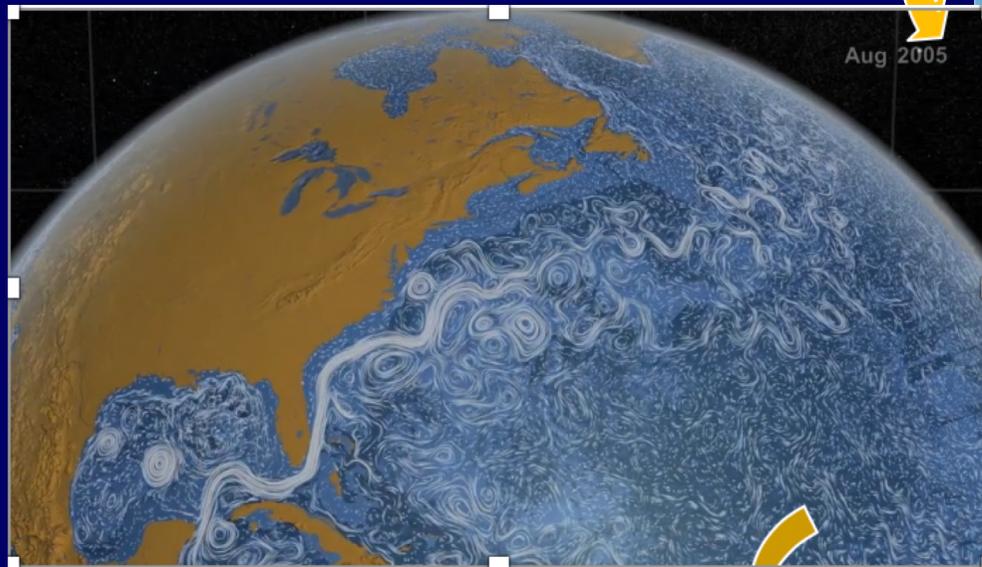


(données satellite)

- La dynamique (les courants) influencent la distribution biologique :
- . Apport de nutriments
 - . Barrières pour les prédateurs, ...

Vertige des échelles

- Niveau mondial



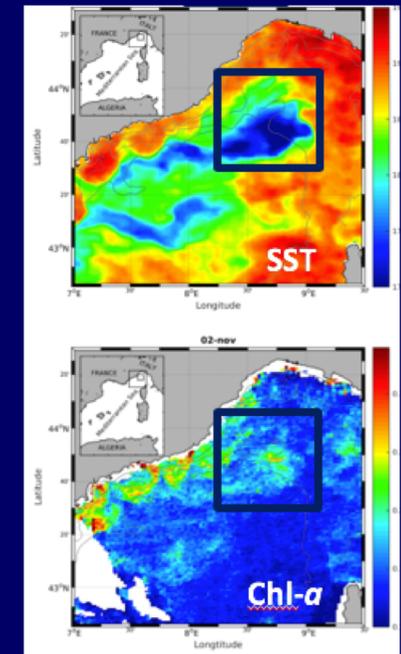
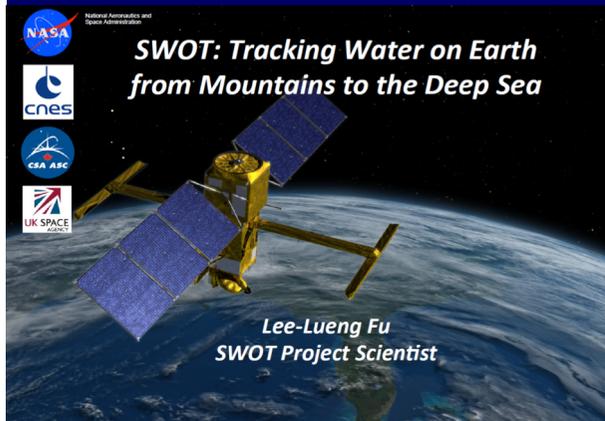
- Moyennes échelles
- Fines échelles

- Turbulence



Mesures de physique

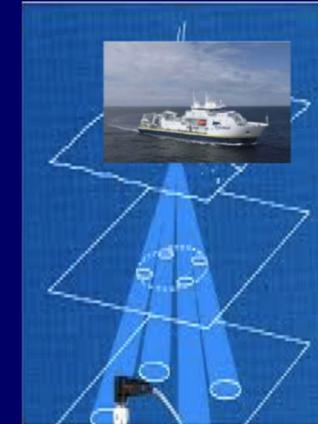
- Objets d'étude
 - Quoi ? → Courants, température, salinité, fluorescence, ...
 - Comment ? → Satellites, *in situ*, modèles



Mesures de physique

■ *In situ*

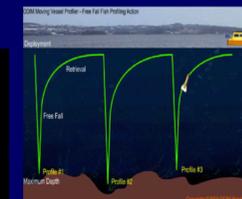
- Campagne en mer → navire océanographique
- Rosette avec détecteurs (conductivité, température, profondeur, etc) et bouteilles (prélèvements)
- Instruments de mesure de courant (ondes sonores, effet Doppler)



- Instruments libres en mer (profileurs, mouillage)

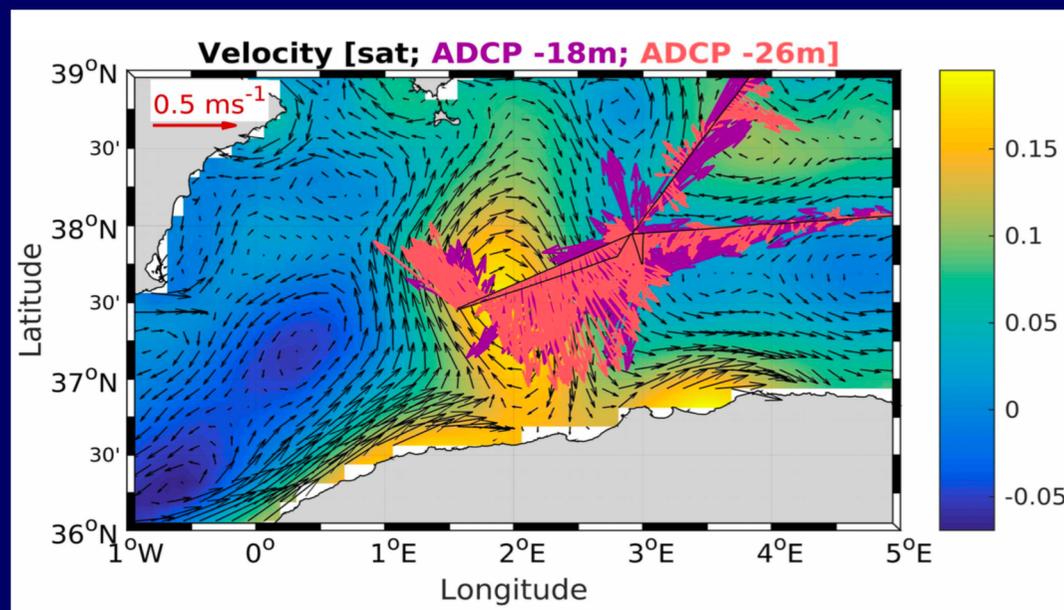
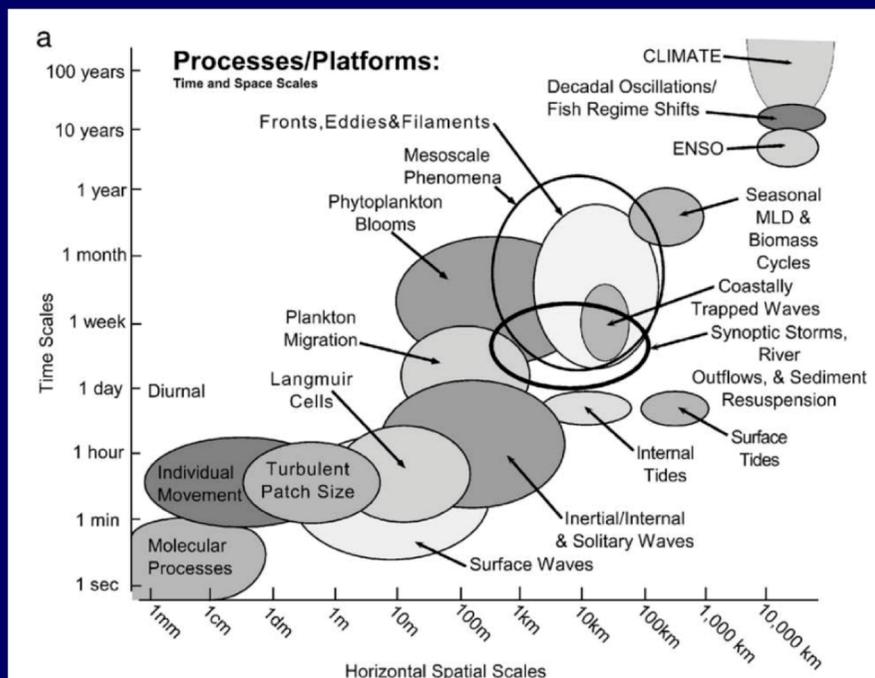


- *Gliders* (planneurs sous marins)



Mesures *in situ* petites échelles

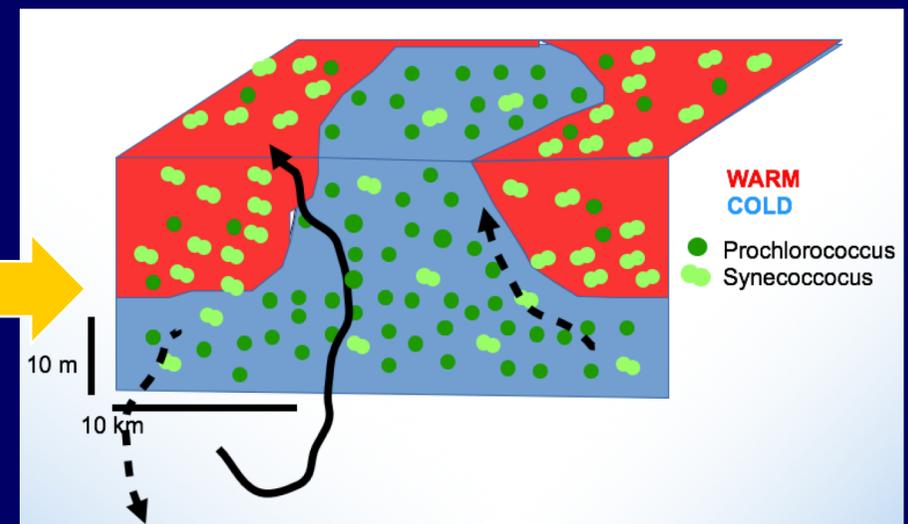
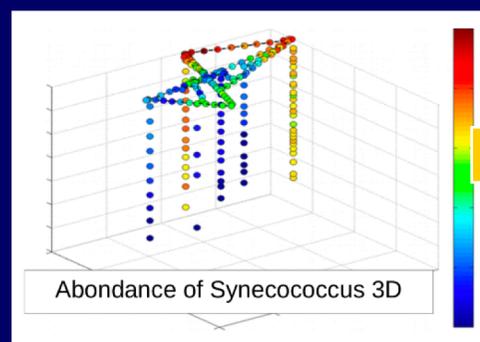
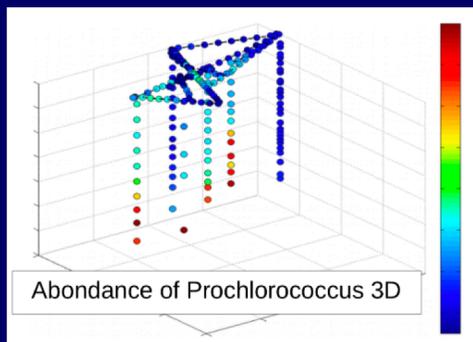
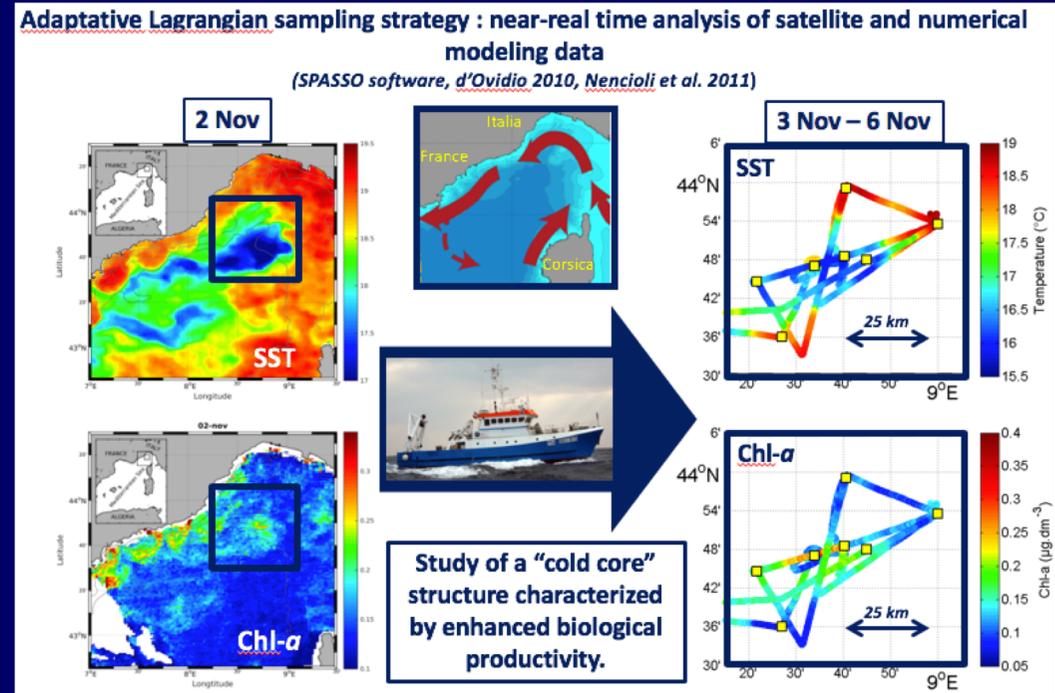
- Petites échelles (0.1 à 100 km) → éphémères (jours à mois)



- Comme pour micro-organismes :
Petits → dynamique très rapide
- Difficultés mesures *in situ* → stratégies adaptatives (satellite)

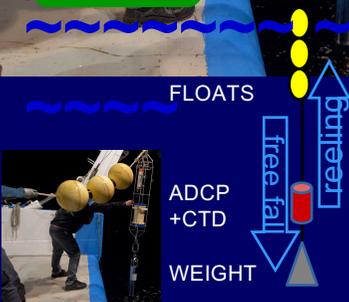
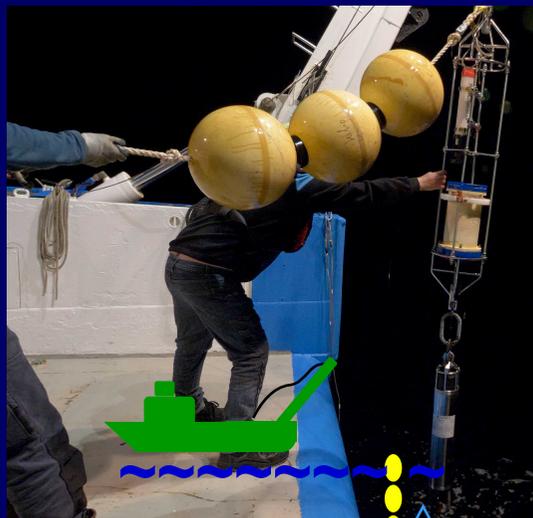
Mesures *in situ* petites échelles : phys/bio

- Structure cyclonique → mesures **physiques + biologiques**
 - **cytomètre** : échantillonnage à la même résolution que les analyses physiques
 - mise en évidence corrélation **petite échelle / distribution du phytoplancton**



Vers la verticale

- Les courants sont en 4D
 - Importance des vitesses verticales sur les transferts verticaux (sels nutritifs, pompe à Carbone, ...)
 - Vitesses verticales bien plus petites que horizontales
- Mesure in situ → challenge
 - Méthodes innovantes pour essayer de les mesurer (ADCP, Profileurs, Gliders, ...)



Un traceur original des mouvements verticaux

- Micro-particules artificielles et biodégradables
 - pour reproduire exportation carbone dans le colonne d'eau – taille du phytoplancton
 - Injection, suivi, pompage → cytomètre

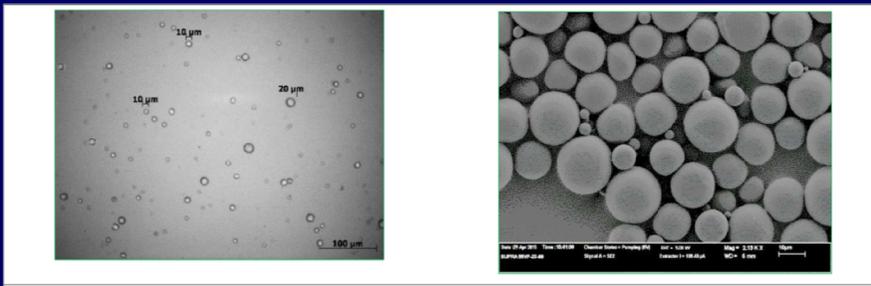
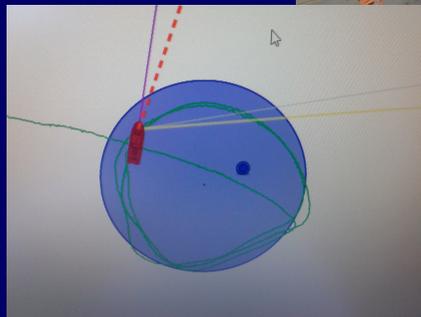
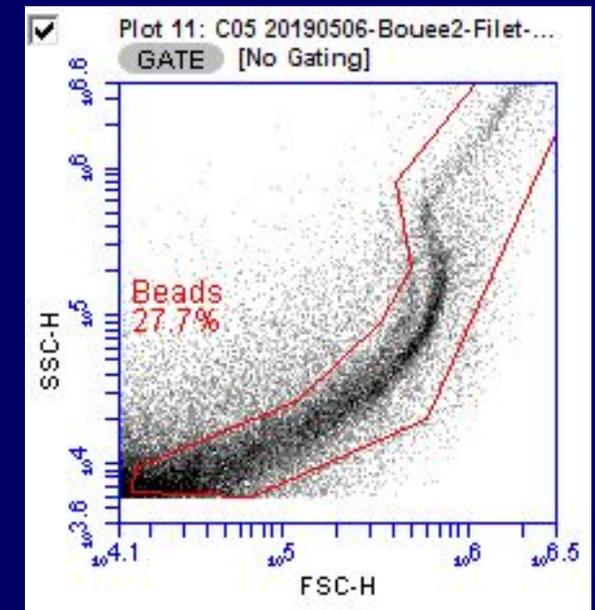
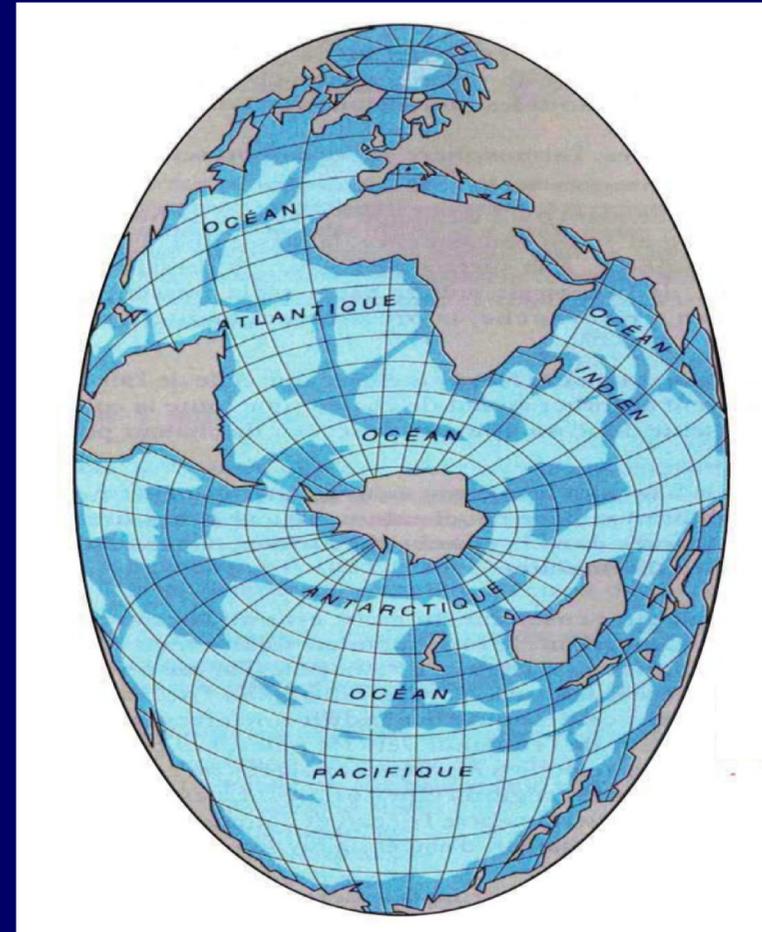


Figure 3. Images of the micro-particles ta

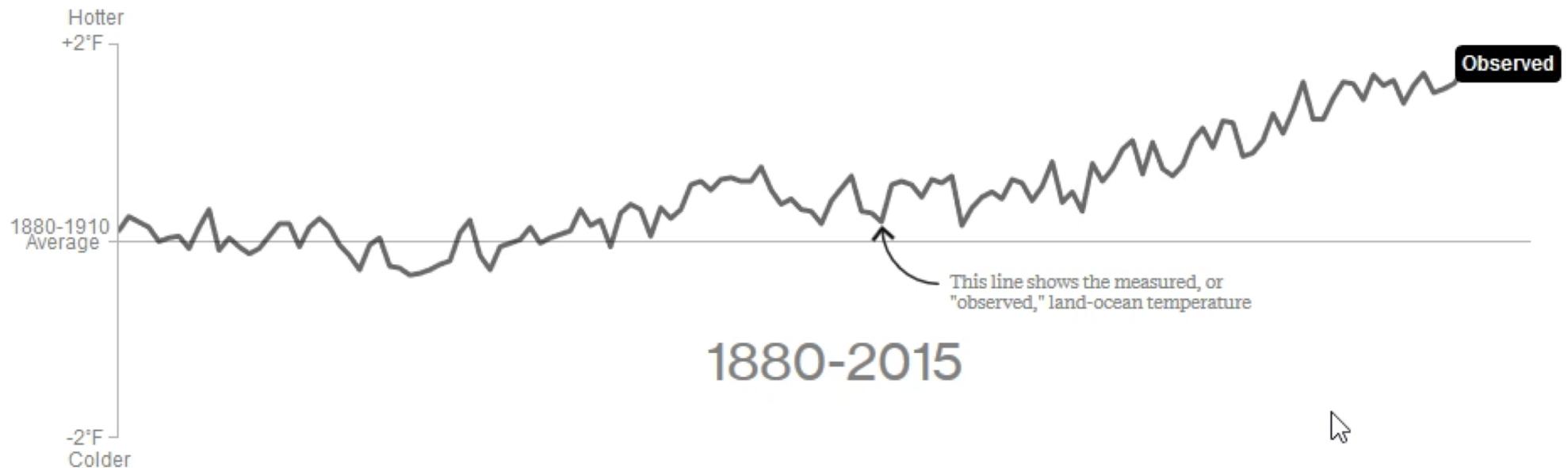


Conclusion

- Le monde marin est unique, complexe et extrêmement sensible au changement climatique.
- Pour l'étudier, toutes les disciplines sont nécessaires et s'entremêlent. La physique et la bio sont intimement liées.
- Pour le comprendre, il faut considérer l'océan à toutes ses échelles et toutes ses dimensions.



Augmentation des gaz à effet de serre



Source : NASA, IPCC

Depuis 40 ans, la température de la Terre est contrôlée par une multitude de facteurs, incluant une variabilité interne, mais l'impact du CO₂ devient clairement dominant depuis environ 35 ans.