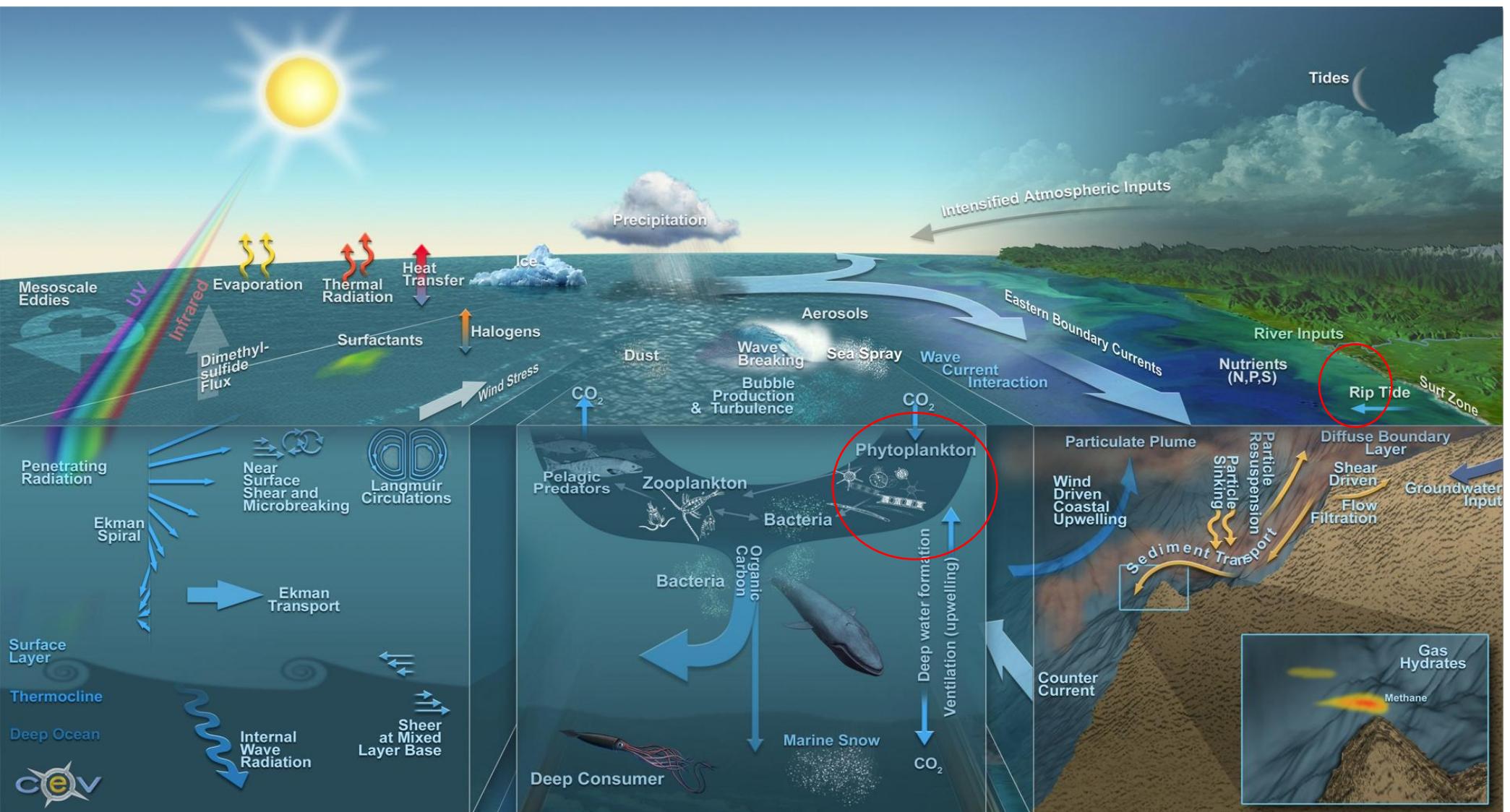


# La diversité du phytoplancton par images satellites: le point de vue de l'in situ

Melilotus Thyssen

Chercheuse CNRS MIO





## Mon parcours

**.2004-2008** PhD Marseille : La dynamique du **phytoplancton** par une approche in situ. Les débuts de la cytométrie en flux automatisée en France

**.2008-2009** PostDoc ISMER Rimouski Quebec

Etude des effets d'augmentation de T° et des UV sur la communauté microbienne (Ushuaia/Pointe au Père)

**2009** baby time

**.2010-2012** PostDoc LOG Wimereux France

Premier couplage algorithme couleur de l'eau et cytométrie en flux automatisée

**.2012-** Chercheur CNRS MIO:

**La dynamique structurelle des groupes fonctionnels du phytoplancton à petite échelle de temps et d'espace:**

**Effet des événements impulsionnels, cycles cellulaires, suivis saisonniers**

**Bio-regionalisation, niches écologiques, soutien au calibrage de la couleur de l'eau, cycle du carbone**

# Moyens pour répondre à la question

## Séries temporelles en un point fixe

- Etude en milieu contrôlé (mesocosmes)
- Série temporelle haute fréquence (pompage continu, bouée connectée)



© Lars-Eric Heimburger-Boavida



# Moyens pour répondre à la question

## Cartographie spatio-temporelle sur navires

- Ponctuelles et opportunistes (navires oceanographiques)
- Régulière



## Lignes de Ferries (Manche, Méditerranée)

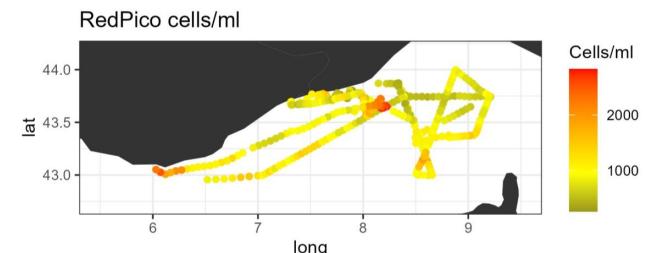
Rotation TAAF sur le Marion Dufresne (projet MAPIO-Ocean Austral+Sud Indien)



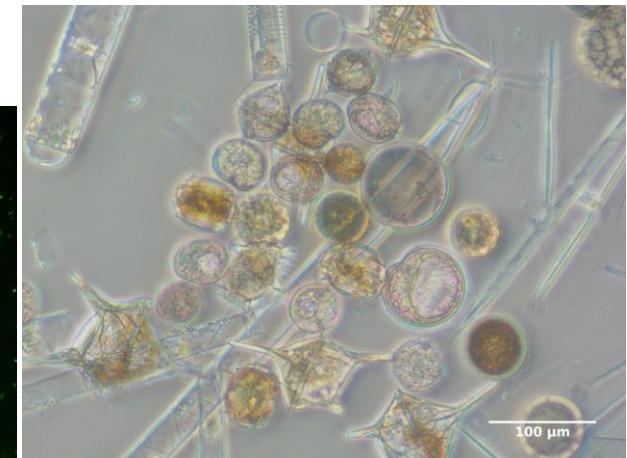
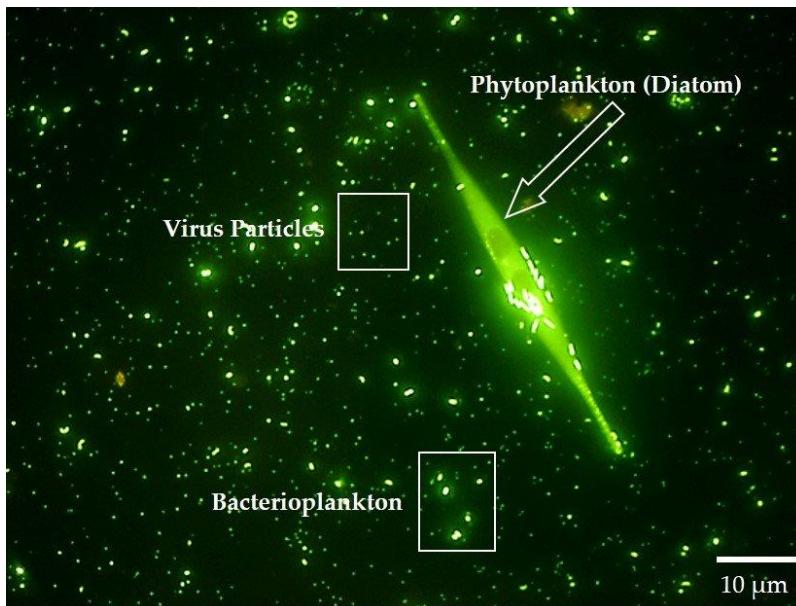
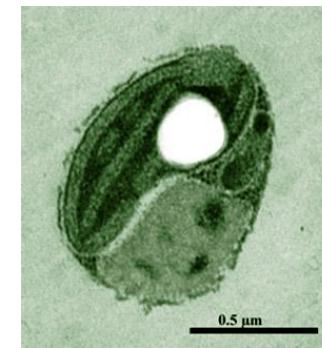
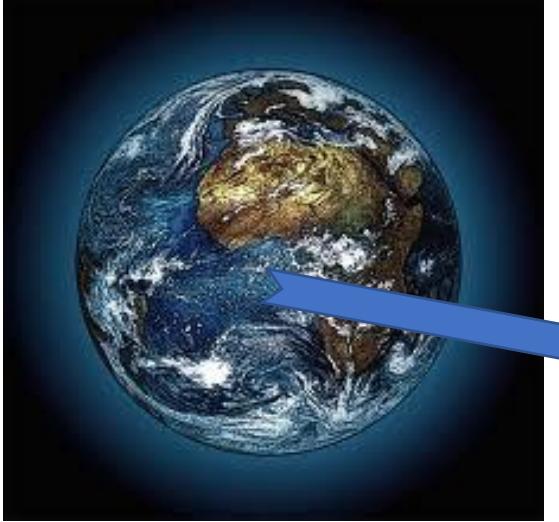
Campagnes régulières d'observation MOOSE-GE  
(Méditerranée)



## Traitement du signal, séries temporelles, statistiques



Partage à la communauté : Crédit des procédures de  
bancarisation des données en suivant les procédures FAIR



Dans 1 mL d'eau de mer, on peut trouver:

- $1 \ 10^9$  virus
  - $1 \ 10^6$  procaryotes heterotrophes (bacteria/archaea)
  - $1 \ 10^4$  procaryotes autotrophes
  - $1 \ 10^3$  eucaryotes autotrophes
- } **phytoplankton**

## LE PHYTOPLANCTON

**Organismes unicellulaires procaryotes ou eucaryotes, photosynthétiques et/ou mixotrophes, flottant et/ou nageant dans la zone éclairée de l'océan, et/ou pas.**

.Procaryotes ou eucaryotes: **poliphylétique (> 15000 sp)**

.Photosynthétiques: **du minéral vers l'organique**

**=> précurseur de la pompe biologique**

.Parfois mixotrophes :

**heterotrophe et photoautotrophe : court circuite la pompe**

.Flottant et/ou nageant :

**les flagelles permettent d'aller à des vitesses de nage de 0,1 à 1,4 mm s<sup>-1</sup>.**

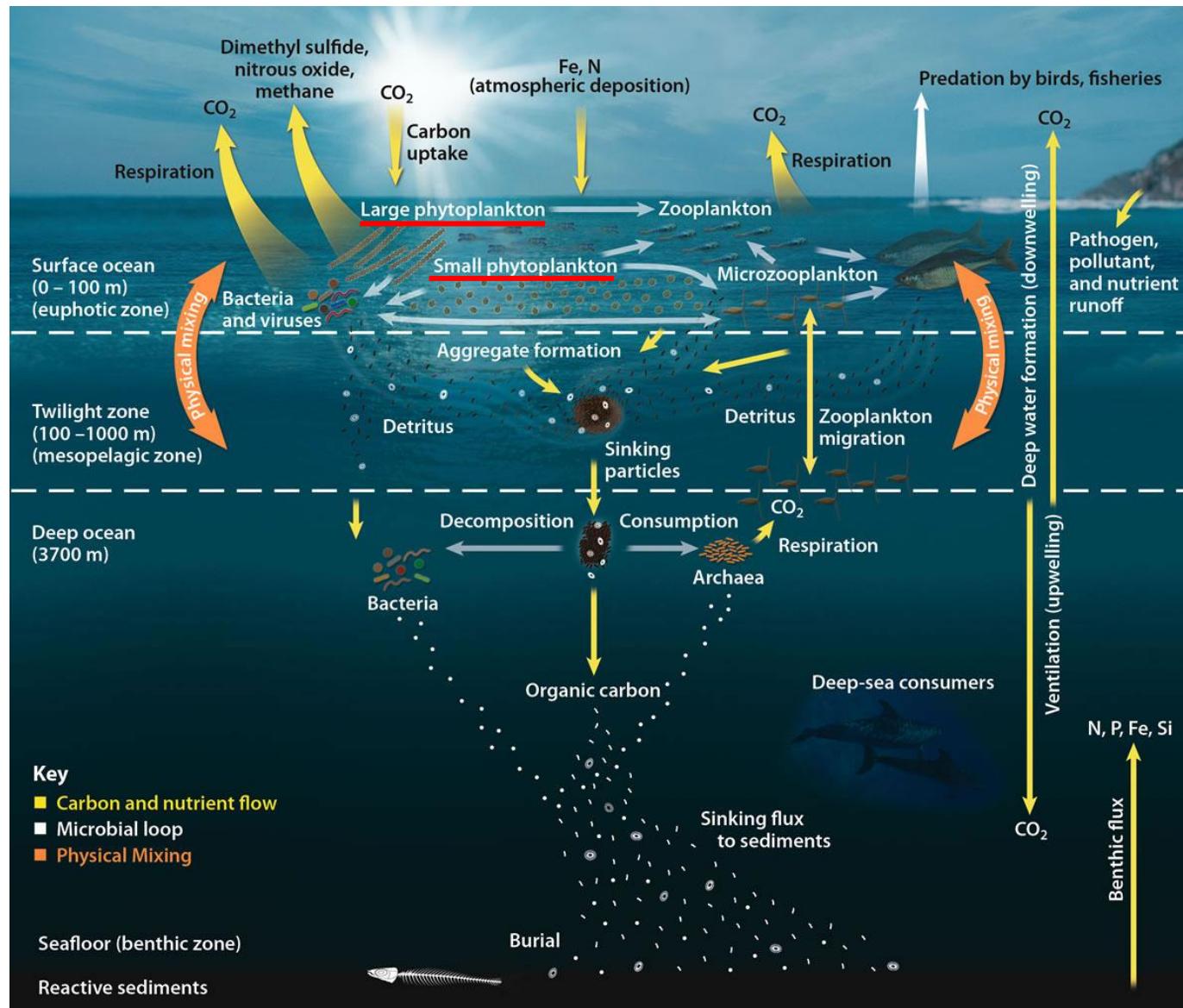
**Adaptation contre la prédation ou la sédimentation.**

.Dans la zone éclairée et/ou pas :

**l'advection, principale cause de l'éloignement à la lumière.**

Le rôle du phytoplancton sur terre : 0,06% de la biomasse photosynthétique terrestre  
MAIS ~50% de l'oxygène produit

La pompe biologique du carbone démarre avec le carbone fixé par la photosynthèse :  
c'est 200 ppm de carbone en moins dans l'atmosphère.



## En théorie :

- Grosses cellules ( $> 20\mu\text{m}$ ) , réseau trophique complexe, pelotes fécales plus grosses → export +++
- Petite cellules, réseau trophique microbien, recyclage dans la colonne d'eau → export -

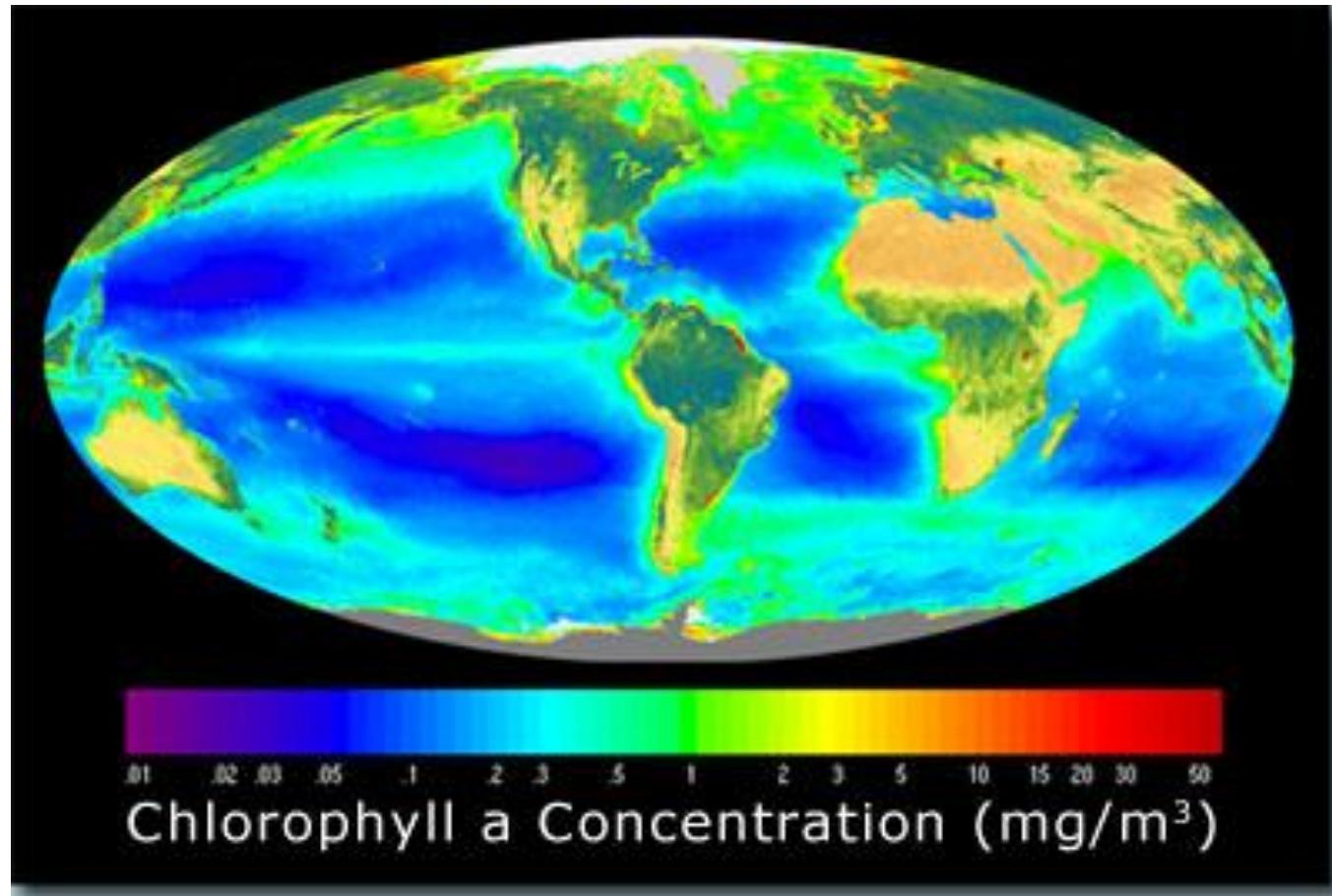
## MAIS:

**Les petites cellules contribueraient de manière non négligeable à l'export**

(Richardson and Jackson, 2007; Amacher et al. 2009; Stukel and Landry. 2010; Lomas and Moran. 2011; Stukel et al.. 2013)

- **Le picoplancton ( $<2-3 \mu\text{m}$ )** serait consommé par le plus gros zooplancton qu'initialement pensé (Richardson et al., 2019)
- **L'agrégation** de petites cellules participerait à l'export (Richardson et al., 2019)
- **L'export pulsé** après des tempêtes post hivernales de petites cellules pourraient contribuer jusqu'à 20 % de l'export annuel dans les zones oligotrophes (Lomas et al., 2011)

40-50 % de la surface de l'océan où  $[chla] < 1 \mu\text{g.L}^{-1}$ = dominée par des classes de taille de  $< 3 \mu\text{m}$   
96% est dominée par des espèces  $< 20 \mu\text{m}$  (Brewin, Sathyendranath et al., 2010)



# Perspectives dans un contexte de changement climatique

(Henson et al., 2021) :

- Le réchauffement des eaux == réduction des apports de SN a cause des changement de circulation et de stratification
- Les tempêtes plus intenses== succession rapides de groupes à forte réponse
- Acidification, désoxygénation
  - réduction de **la taille du phytoplancton**
  - **diversité de niches écologiques** moins élevées avec des changements plus rapides
  - Impact sur le réseau trophique supérieur et sur la résilience d'un écosystème (rupture répétitives des limites)

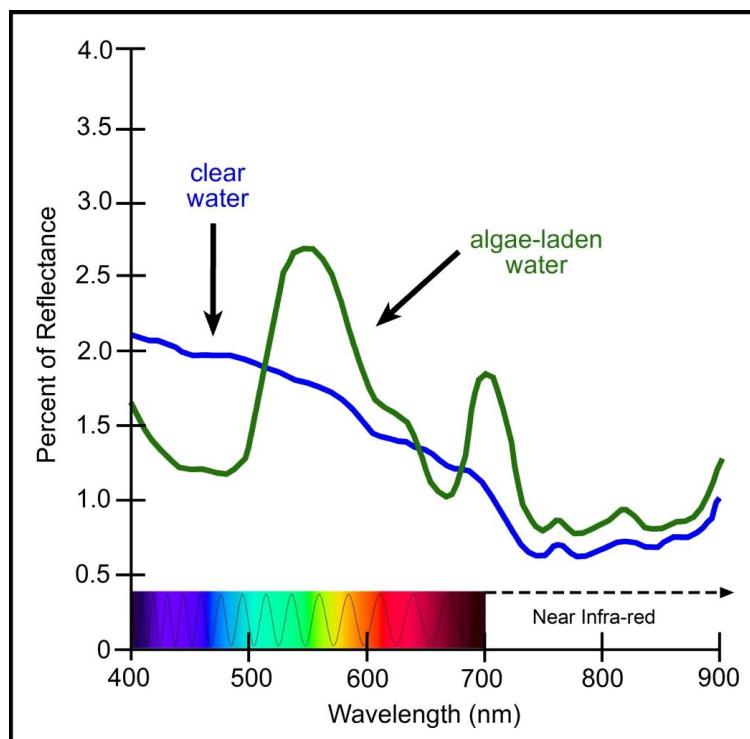
**Il est donc indispensable de comprendre comment fonctionne  
le phytoplancton à l'échelle du globe pour comprendre  
l'écologie du système océan et le prédire**

## La couleur de l'eau= quelques rappels

La couleur de l'eau est un outil formidable **pour extrapoler** les informations de terrain trop rares pour une étude de la distribution du phytoplancton à l'échelle du **globe, synoptique et climatologique**

La couleur de l'eau se réfère à la réflectance affectée par

- Le phytoplancton
- Les sédiments
- Les substances chimiques dissoutes



Spectre de **réflectance** (en %) avec peu ou beaucoup de phytoplancton.

Han, 1997

**La réflectance** est proportionnelle au rapport de rétrodiffusion et d'absorption

$$R \propto \frac{b_b}{a + b_b}.$$

Absorption totale = absorption de l'eau + **absorption du phytoplancton** + absorption des substances « jaunes » et des détritus

**Absorption du phytoplancton** = varie en fonction de la concentration en pigments, du type de pigments présents et du « package effect » (quantité de pigments à l'ombre des autres).

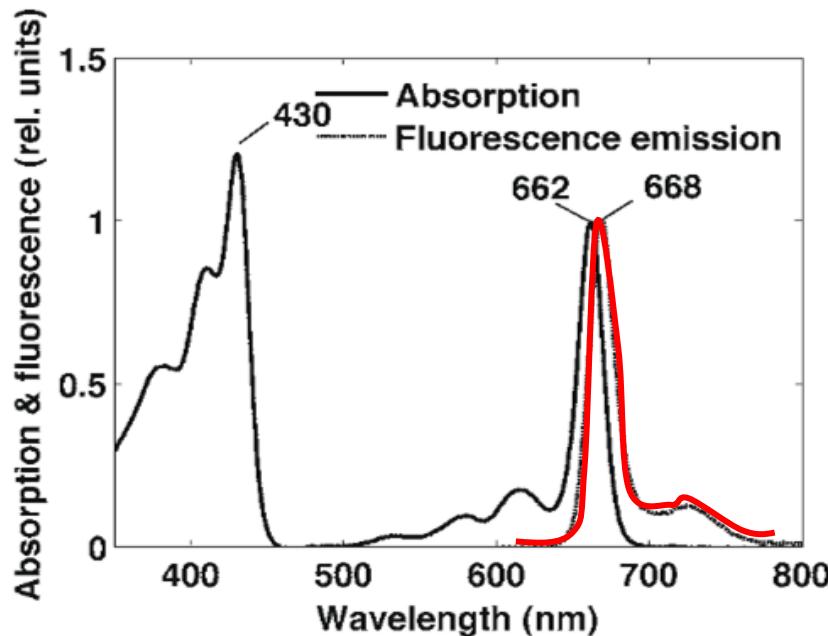
Le phytoplancton contient de la chlorophylle a qui **absorbe** dans le bleu et le rouge, mais pas dans le vert, et qui émet de la **fluorescence dans le rouge lointain (670-680 nm)**

La partie de la reflectance qui incombe au phytoplancton est estimé par:

- l'**absorption** de la lumière par le phytoplancton (bleu et rouge)

Le pic d'absorption correspond à la bande 443 nm présente sur la plupart des satellites, mais aussi la bande 412 nm et parfois 670 nm.

- le signal de **fluorescence** produit par la chlorophylle a et induit par la lumière du soleil (peu utilisé dans les modèles bio-optiques)



$$F = PAR [chla] a_{phyto}^* \phi_f$$

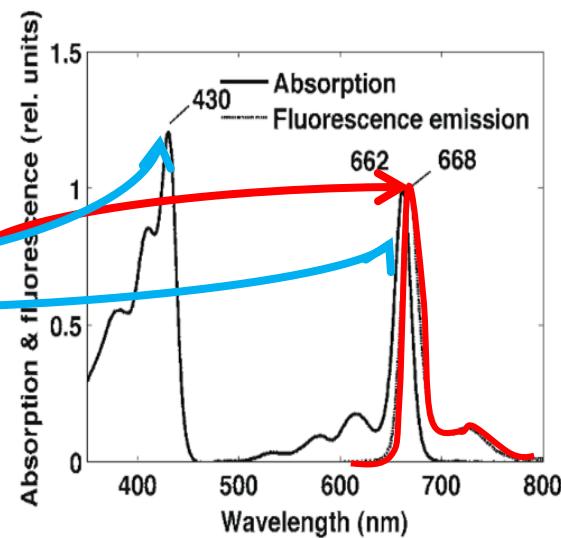
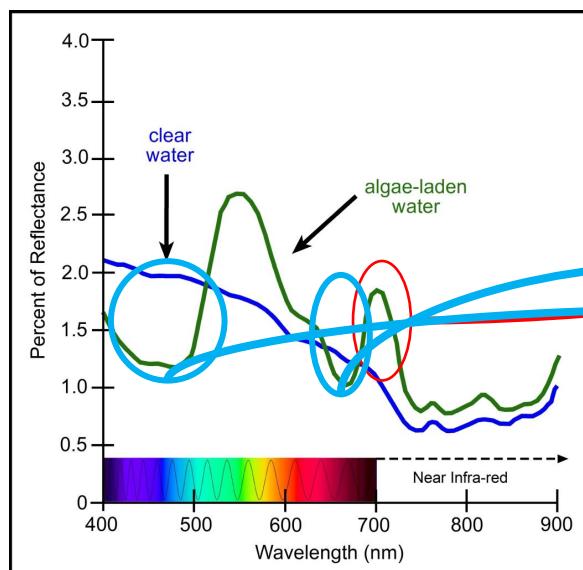
PAR= photosynthetic available irradiance  
[chla] =chlorophyll a concentration  
 $a_{phyto}^*$ = coefficient d'absorption spécifique (pigments)  
 $\phi_f$ = rendement quantique

Spectre d'absorption/d'émission de fluorescence de la chlorophylle a

## A retenir

3 grandeurs à retenir pour la couleur de l'eau en lien avec le phytoplancton:

- **la réflectance** (tout ce qui est renvoyé vers l'espace, normalisée)
- **l'absorption** (tout ce qui est absorbé par l'eau et ses constituants)
- **la fluorescence de la chlorophylle induite par le soleil** (lumière émise par une molécule après excitation, comme la chlorophylle a)



Le rapport bleu/vert est le plus utilisé pour reconstruire la [chl a]

Les algorithmes bio-optiques sont EMPIRIQUES ou semi-empiriques, et reposent sur la propriété d'absorption de la chla dans le bleu:

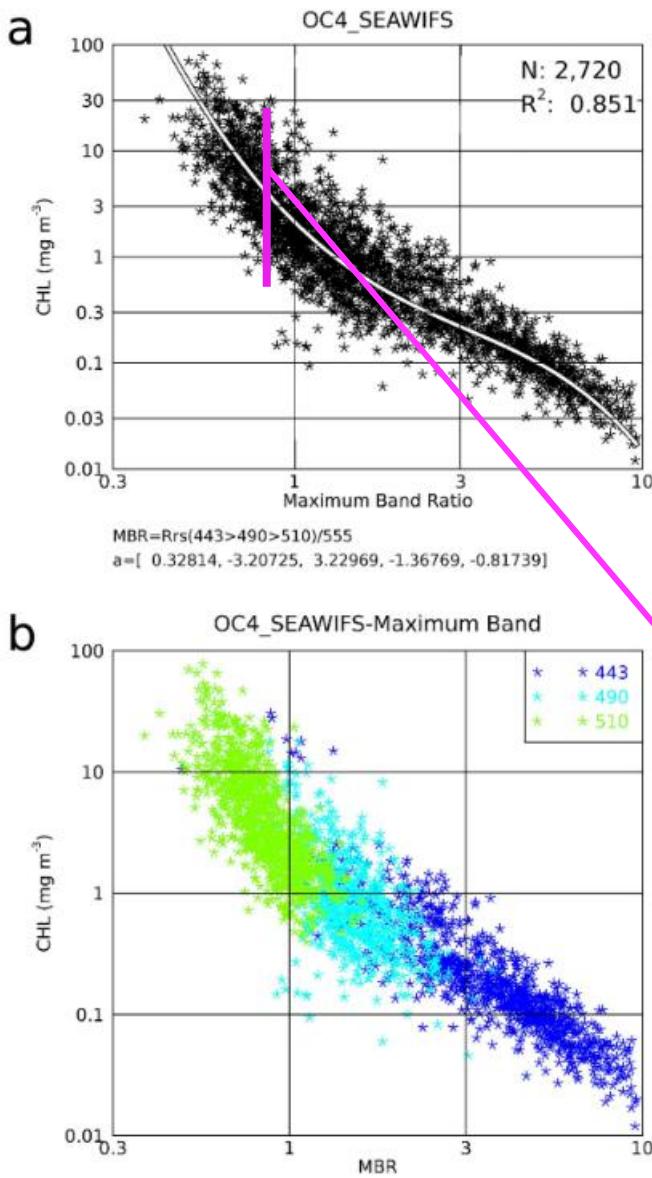


Figure a: Comparaison de mesures de chla in situ et de rapport de reflectance par longueur d'onde (ex: SeaWifs  $Rrs(\lambda)$  at 412, 443, 490, 510, 555 and 670 nm))

Modèle OC4= (

$$a = [0.366, -3.067, 1.930, 0.649, -1.532]$$

$$R = \text{ALOG10}((Rrs443 > Rrs490 > Rrs510) / Rrs555)$$

$$\text{Chl a (ug/l)} = 10.0 (a(0) + a(1)*R + a(2)*R^2 + a(3)*R^3 + a(4)*R^4)$$

**Mais grand variabilité**

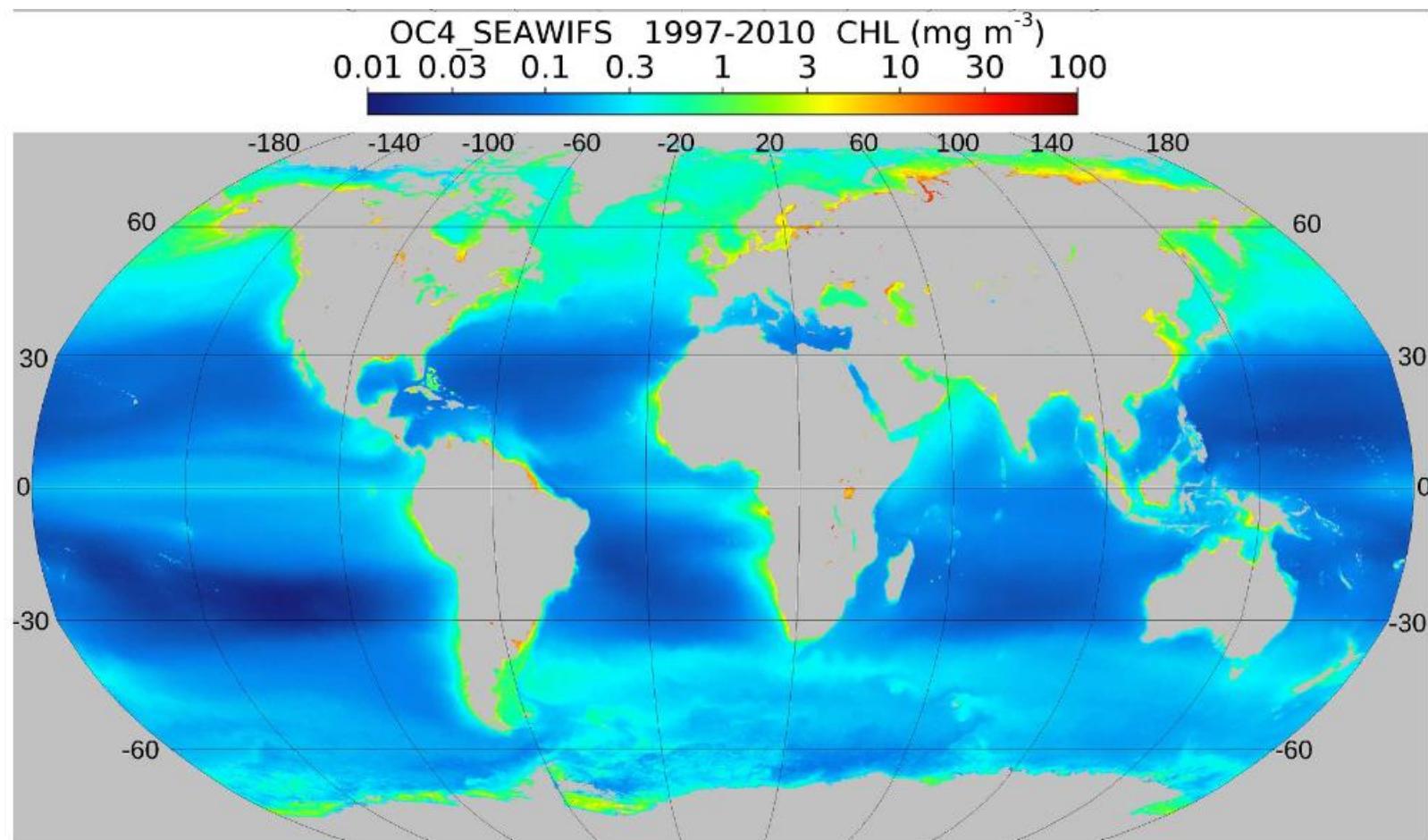
Ex:

Rapport de reflectance de 0,7 :  $[\text{chla}] = [1,7 - 30] \mu\text{g (chla).L}^{-1}$   
(Dierssen et al., 2009)

Moins pire pour les eaux dites pauvres:

Rapport de réflectance en 6 et 10 =  $[\text{chla}] \sim [0,01-0,03]$

# Quels impacts à l'échelle du globe ??



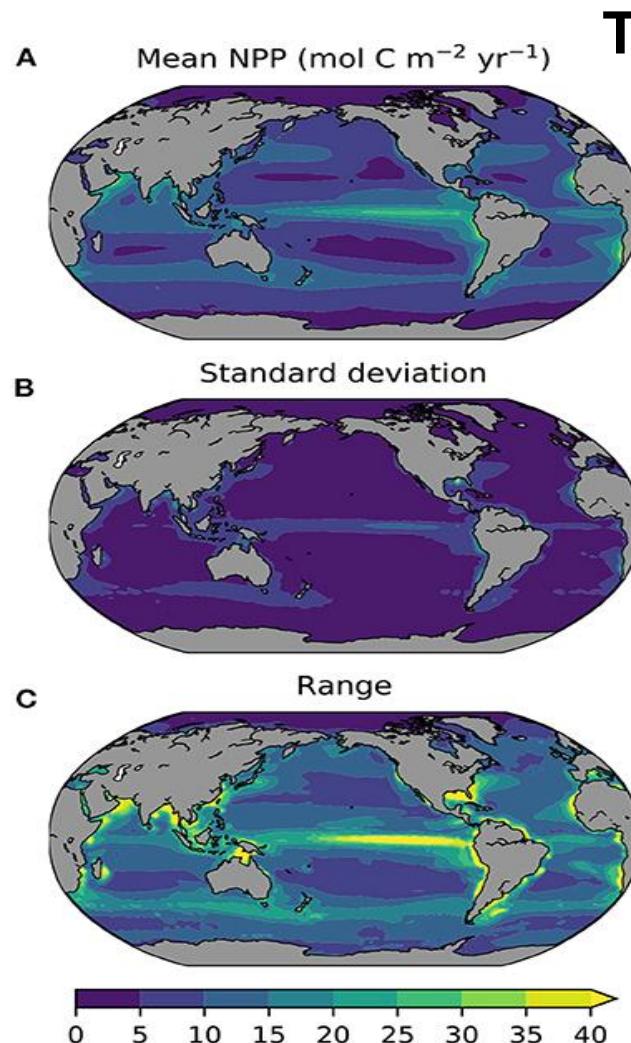
O'Reilly and Werdell, 2019

La concentration en chlorophylle a issue des données couleur de l'eau est ensuite utilisée comme proxy de la biomasse de carbone pour les modèles biogéochimiques ( $C_{phy}$ )  
**MAIS**

**La conversion en biomasse de carbone dépend des facteurs de conversion Carbone/Chla qui varient in situ de <10 à plus de 300**  
(Jakobsen & Markager, 2016)

La conversion [chl<sub>a</sub>] satellite en production primaire utilisant différents modèles ont été comparées: les valeurs moyennes de production primaire varient de

**32 PgC/an à 79 PgC/an**



## Tagliabue et al., 2021:

La NPP absolue annuelle estimée à partir des modèles CMIP6 (16 modèles sur la période (1995–2014))

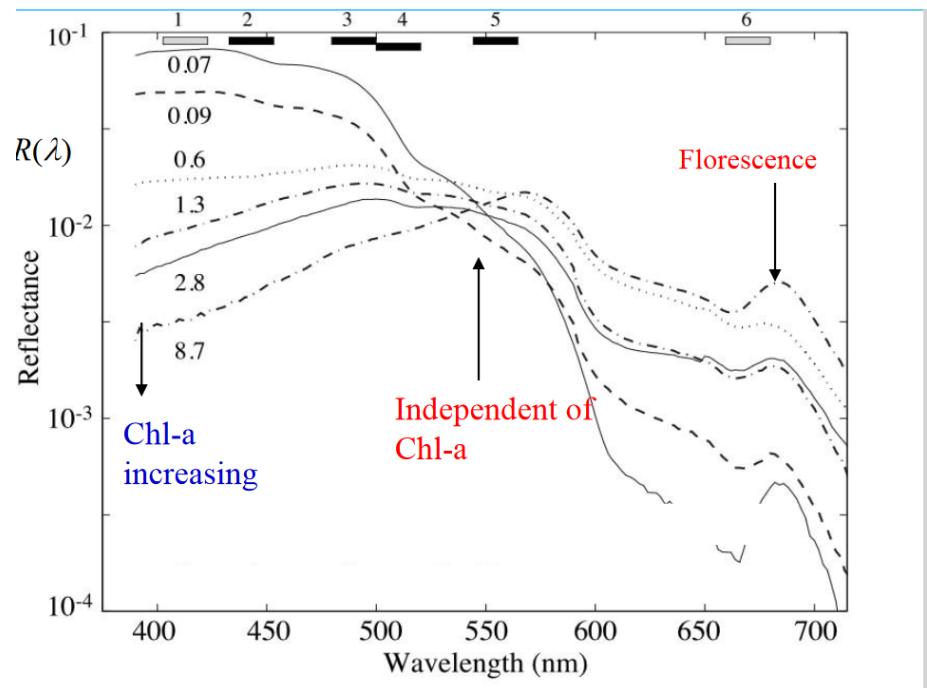
(A) multi-model mean, (B)  $1\sigma$ , and (C) the full inter-model range.

**La variabilité inter modèle = 10 à 33 PgC !!!**

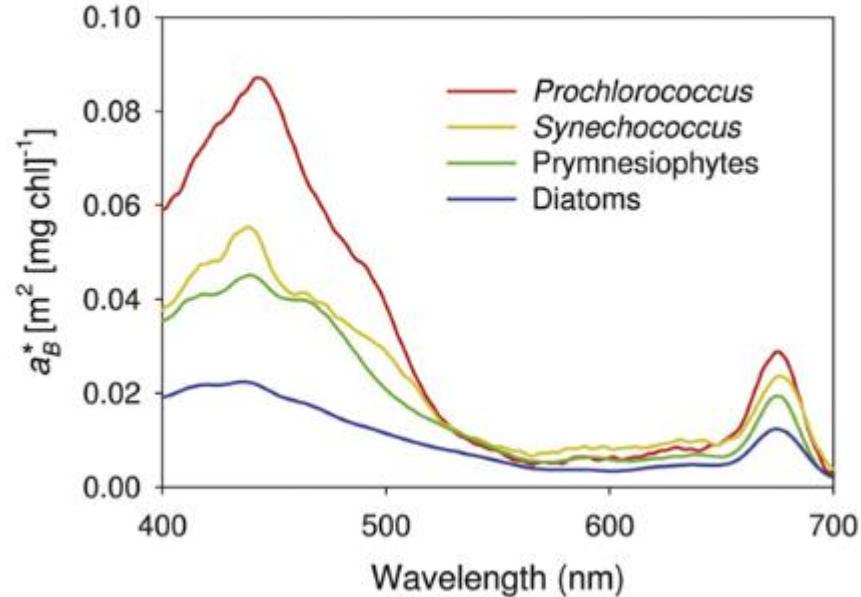
>> projection de NPP (RCP 8.5)

The major issue for NPP is the **high degree of variability across different spatial and temporal scales** and large divergence in contemporary direct constraints, which rely on different **remote sensing algorithms** applied across different satellite sensors (Sathyendranath et al., 2020).

Une des raisons= la **réflectance** est influencée par le type de phytoplancton présent, que ce soit en terme de rétrodiffusion (quantité de petite/grandes cellules) ou d'absorptions (influence des pigments accessoires)



Spectre de **reflectance** en fonction de la concentration en chlorophyll a



Spectre d'**absorption** d'échantillons naturels dominés par un groupe fonctionnel

**Il est donc nécessaire d'avoir des informations plus précises que la [chl] in situ (classes de taille, pigments, abondances) pour reconstruire la réflectance.**

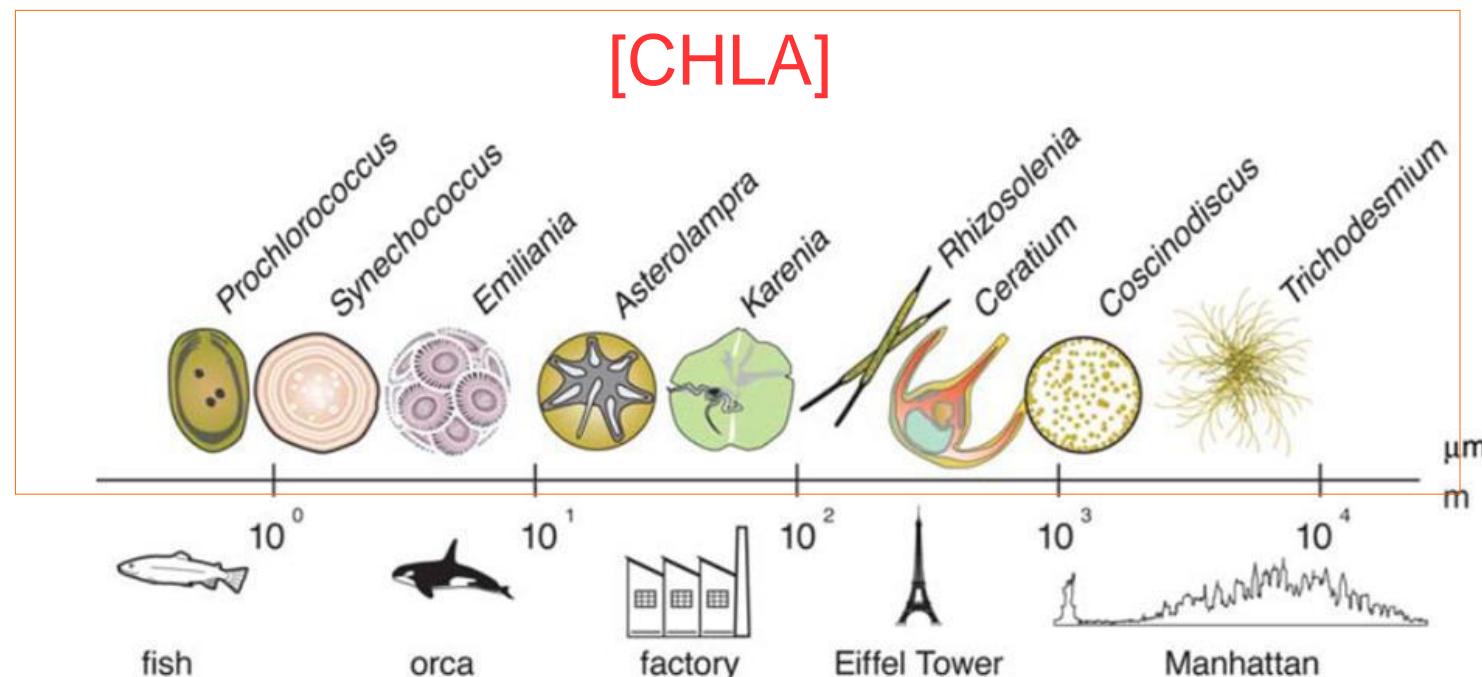
**Inversement, cela signifie aussi qu'il serait possible de caractériser une certaine diversité à partir des signaux de réflectance!**

Il faut augmenter le **nombre de points in situ** qui incluent les critères suivants

1. Résoudre l'**abondance et la biomasse** du phytoplancton avec un niveau de **diversité suffisant** (**aller au-delà de la chla**)
2. Inclure la **variabilité spatio temporelle des communautés**
3. Affiner le lien entre les conditions environnementales et **le statut de la communauté phytoplanctonique** qui affecte l'**absorption et la retrodiffusion** (diversité, classes de tailles)

# Retour à l'*IN SITU* : l'observation du phytoplancton

Les 5 ordres de grandeurs des classes de tailles (0,6 µm – 2 mm) et les potentiels milliers d'espèces non résolues (de Vargas et al., 2015)



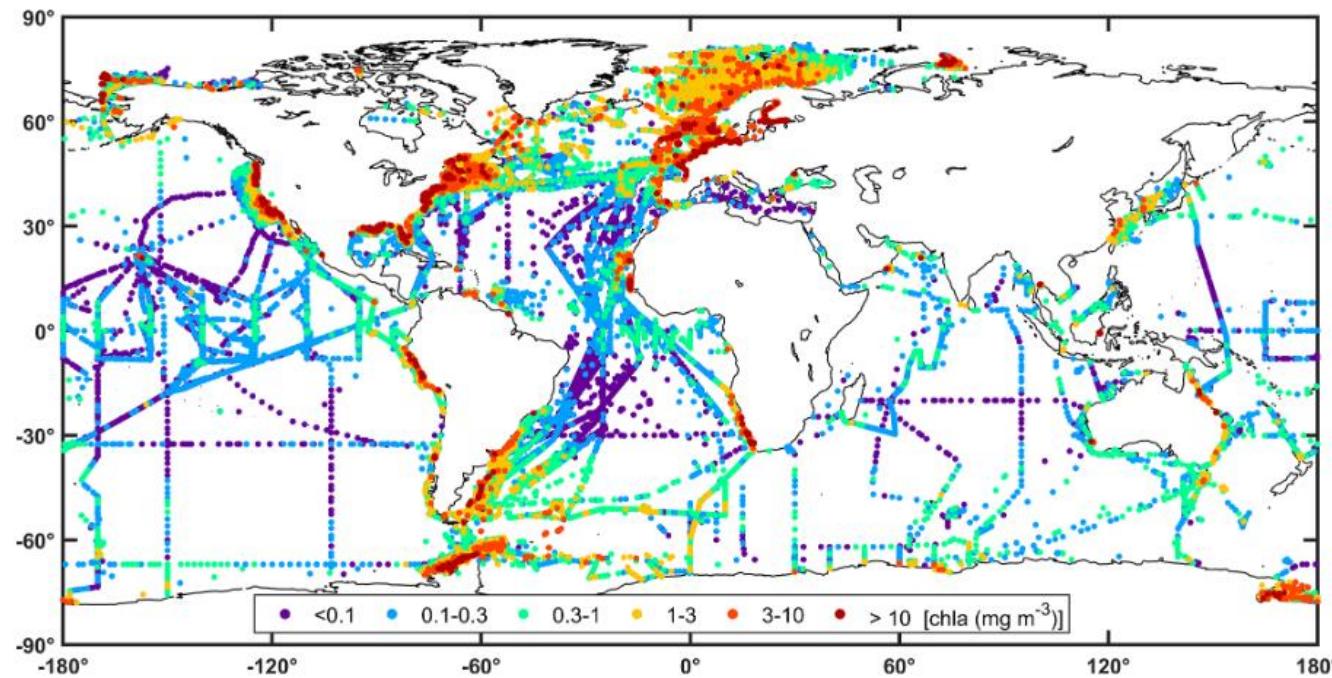
$10^6$  cellules/ml

$10^1$  cellules/ml

L'accès à la mer n'est pas toujours aisée



De grandes zones ne sont pas ou peu échantillonnées



**Figure 8.** Global distribution of chlorophyll-*a* concentration per interval of the observed value. All chlorophyll data were considered, but for a given station, HPLC data were selected if available.

- Les algorithmes couleur de l'eau ont besoin d'intégrer une certaine diversité pour affiner le lien entre les IOP et la réflectance
- Intégrer la diversité du phytoplancton dans les modèles prédictifs est aussi indispensable pour comprendre le fonctionnement des écosystèmes marins

## **Il faut aller au delà de la [CHLA]**

Il est cependant nécessaire, à l'heure actuelle, de simplifier la diversité taxonomique pour augmenter la chance d'avoir des jeux de données suffisamment informatifs en terme de processus écologiques et biogéochimiques

**Notion de diversité fonctionnelle ou  
PLANKTON FUNCTIONAL TYPE (PFT)**

# La diversité fonctionnelle en termes de processus biogéochimiques

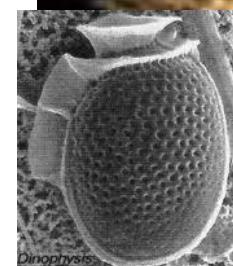
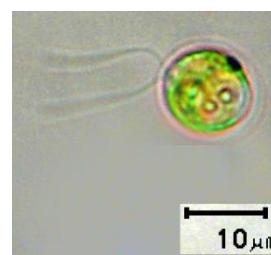
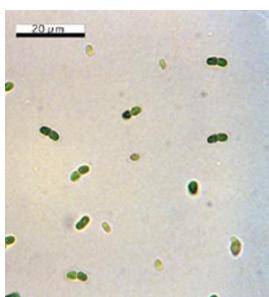
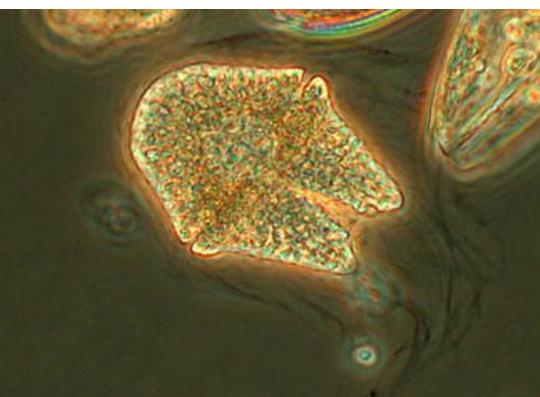
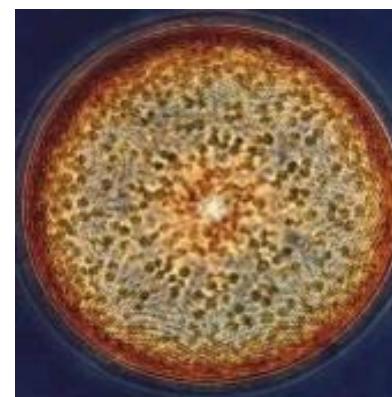
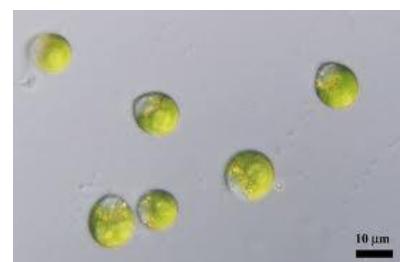
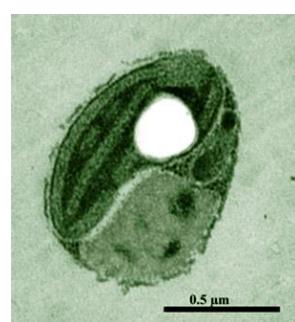
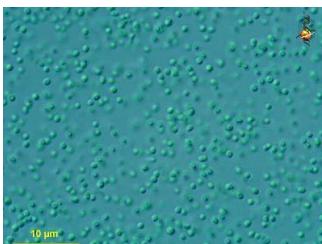
(LeQuéré et al., 2005)

## Cycle du carbone:

Taille : « Master Trait », Lichmann & Klausmeier ; 2008

Convention : **PICO** <2-3 µm ; **NANO** 3-20 µm ; **MICRO** 20-200 µm

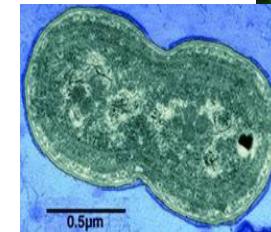
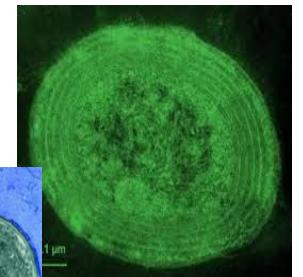
Processus impliqués: production primaire, export de carbone,  
capacité énergétique de l'écosystème



## Picoprocaryote : cyanobacteria

.*Prochlorococcus*: ~0,6 µm ~ $10^5$  cells.ml $^{-1}$ , limited -45/45°

.*Synechococcus*: ~0,8-1,2 µm ~ $10^5$  cells.ml $^{-1}$  surface waters, ubiquist

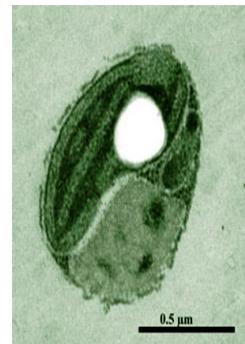


## Picoeucaryote:

.Ex. Chlorophyta, Haptophyta, Cryptophyta and Heterokontophyta  
~ $10^3$  cells.ml $^{-1}$



Micromonas



Ostreococcus



Phaeocystis



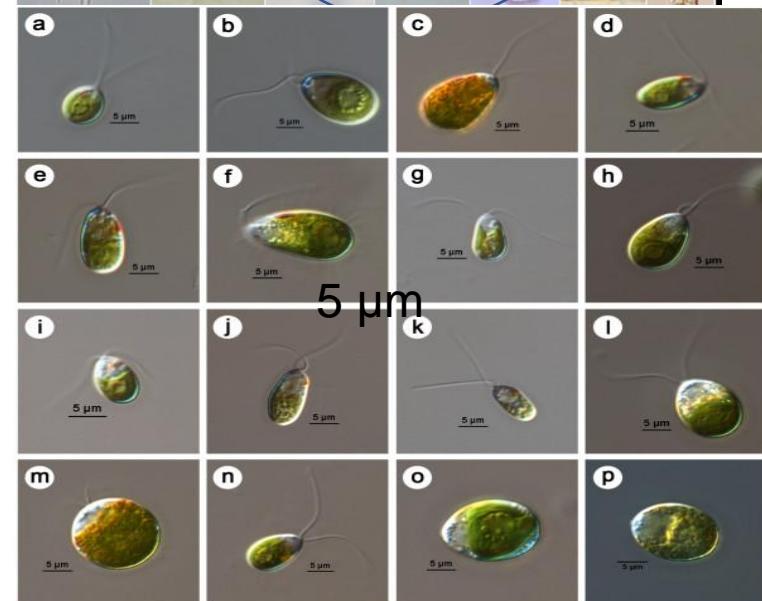
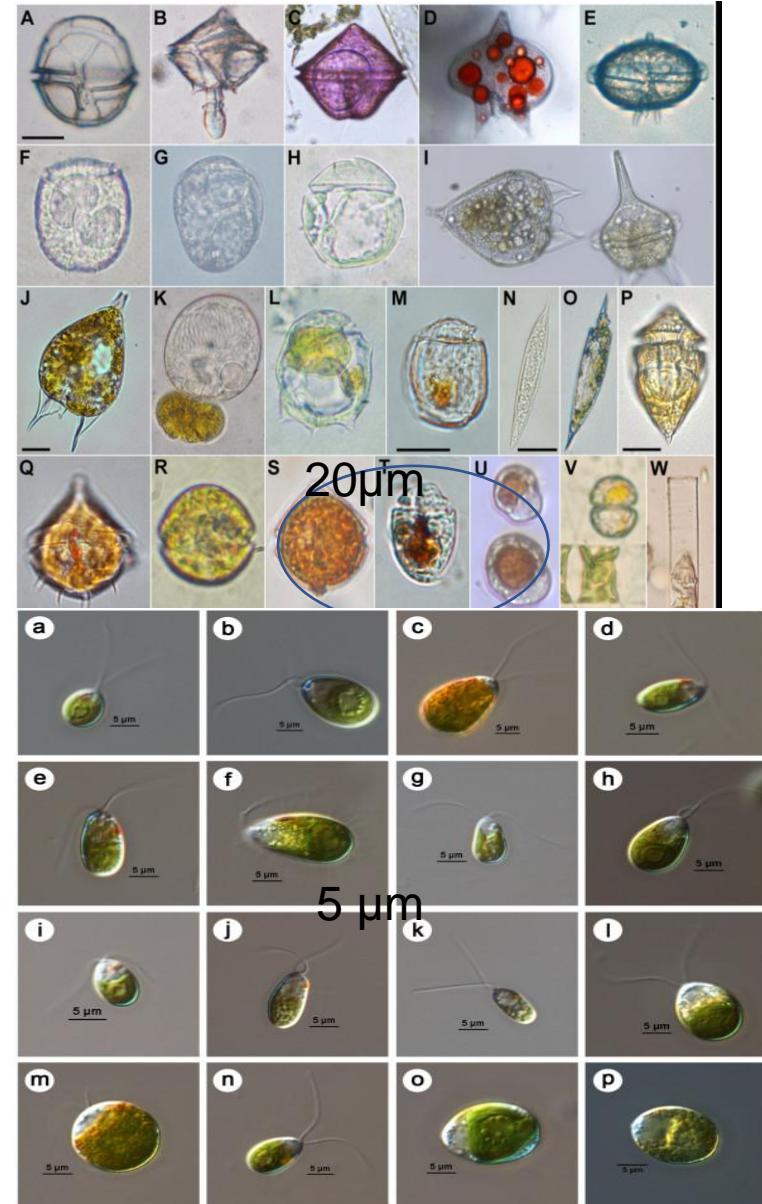
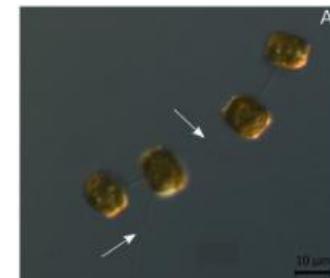
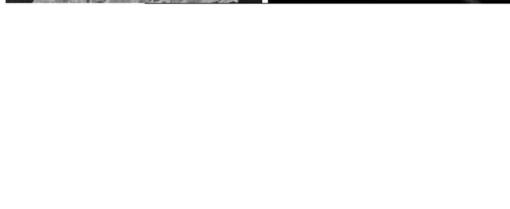
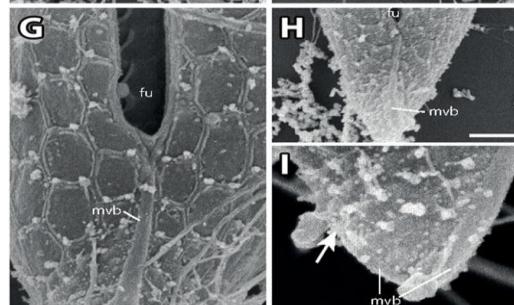
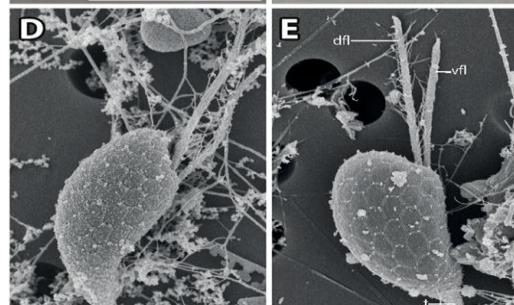
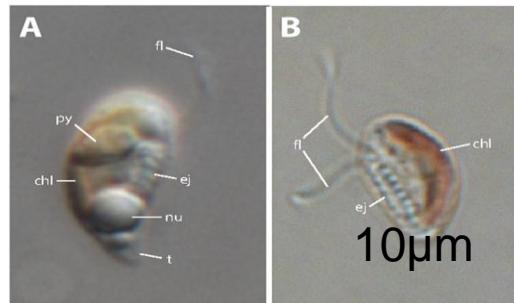
Cryptomonas



Minidiscus

**Nanophytoplankton:** 3-20  $\mu\text{m}$ ,  $\sim 10^3$  cells. $\text{ml}^{-1}$

**Microphytoplankton:** > 20  $\mu\text{m}$ ,  $\sim 10^2$  cells. $\text{ml}^{-1}$

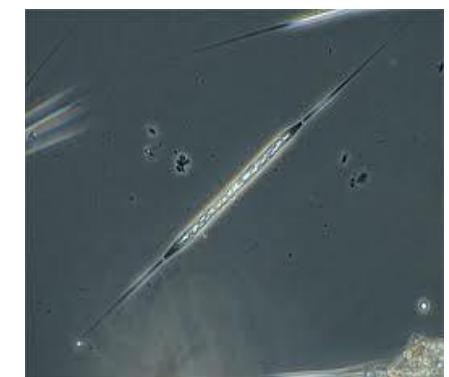
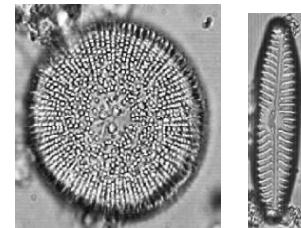


# Cycle de la silice + cycle du carbone :

**DIATOMEES: 40% de la PP sur terre**

Les frustules en silice augmentent la chute des diatomées et donc l'export de carbone

Tailles : de  $< 2\mu\text{m}$  à plusieurs centaines de  $\mu\text{m}$  et souvent catégorisées dans le microphytoplankton

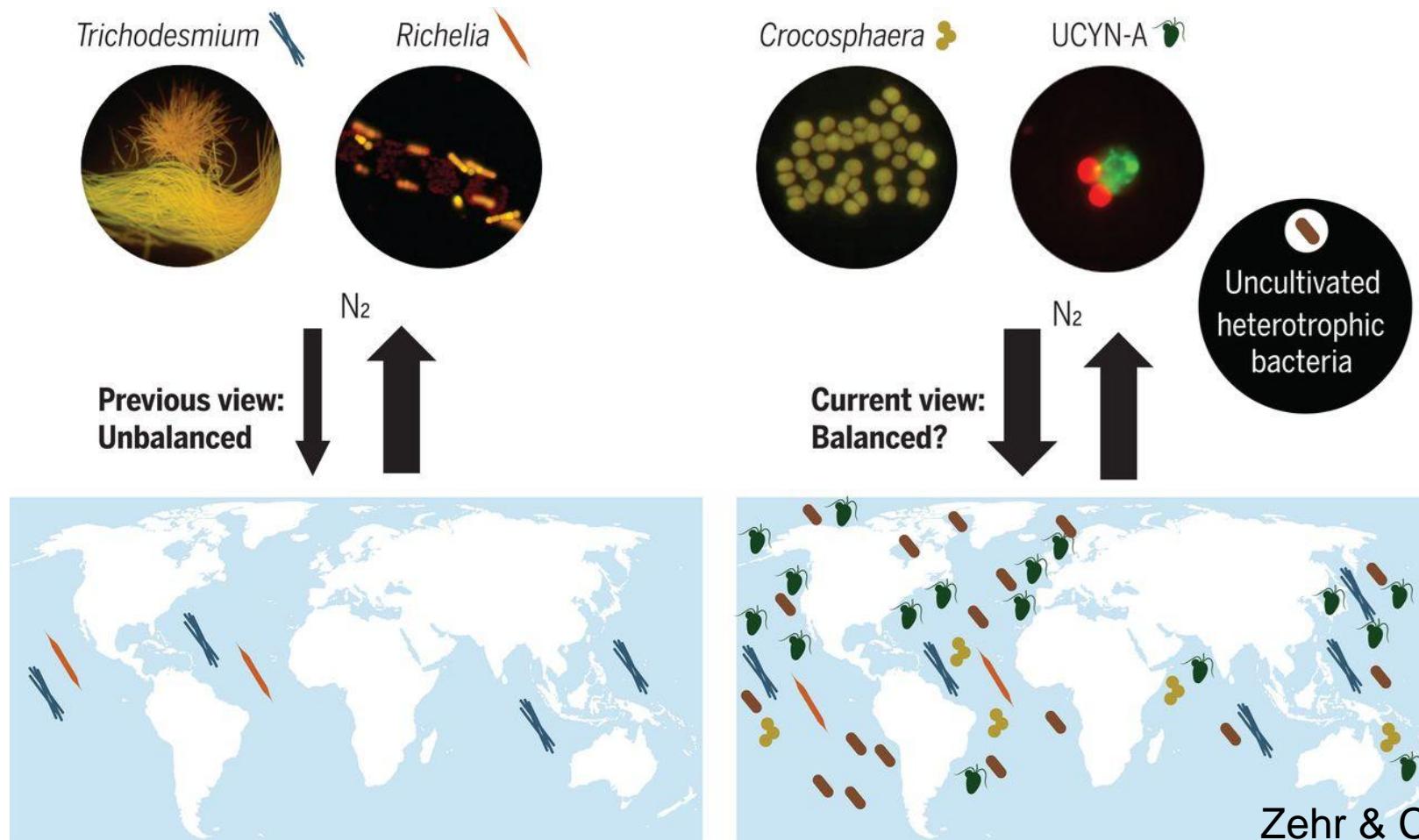


# Cycle de l'azote :

## DIAZOTROPHES:

Influent directement sur la source de N pour le réseau trophique

Cyanobacteries: *Trichodesmium*, *Crocospheara*

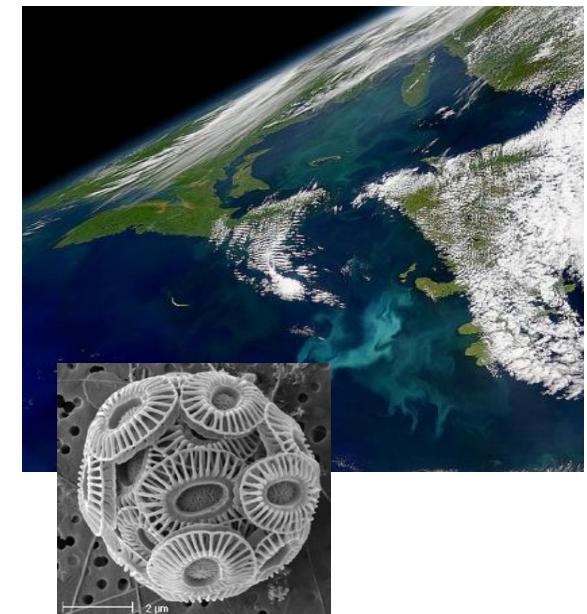


# Cycle du Carbone et de la calcite :

**CALCIFIANTS** : Coccolithophores

Import important de carbone, sensibles à l'acidification.

Modifient l'alcalinité de l'eau, affectant la solubilité du C



**Cycle du souffre** : production d'éléments soufrés favorisant la nucléation

*Phaeocystis/coccolitophorideae (haptophytes)*

Dymethylsulfoniopropionate (DMSP) > DMS



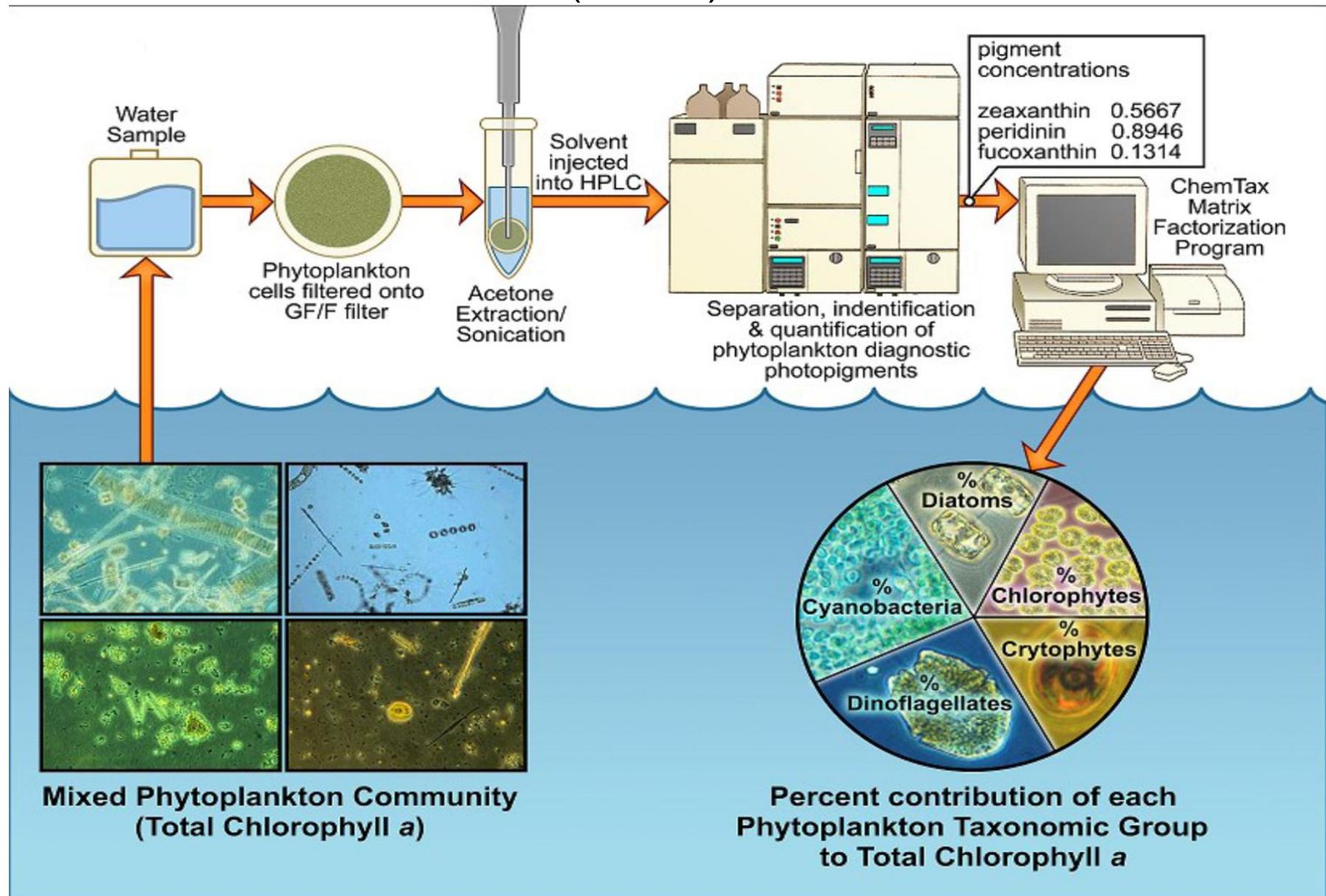
# De la base de données [CHLA] *in situ* vers les groupes fonctionnels pour caractériser les **Plankton Functional Type (PFT) par satellites**

## 1. Les pigments diagnostics (PD) pour l'indication des PFT

Les pigments sont parfois spécifiques et permet de classer les grands groupes

Pigment	Taxonomic significance
Fucoxanthin	<b>Diatoms</b> , Prymnesiophytes, Chrysophytes, Dinoflagellates
Peridinin	<b>Dinoflagellates</b>
19'-Hexanoyloxyfucoxanthin	<b>Prymnesiophytes</b> , Chrysophytes, Dinoflagellates
19'-Butanoyloxyfucoxanthin	<b>Pelagophytes</b> , Prymnesiophytes
Alloxanthin	<b>Cryptophytes</b>
Chlorophyll-b	<b>Chlorophytes</b> , Prasinophytes
Divinyl-chlorophyll-b	<b>Prochlorophytes</b>
Zeaxanthin	<b>Cyanobacteria</b> , Chlorophytes, Prasinophytes, Chrysophytes, Euglenophytes

# Collecte des pigments par High Pressure liquid Chromatography (HPLC)



# Des PD, on extrait les contributions de chaque classe de taille à la [chl<sub>a</sub>] observée par satellite

**Table 1.** Phytoplankton Size Classes (PSCs) and Phytoplankton Functional Types (PFTs) represented by their pigments.

PSCs/PFTs	Diagnostic Pigments	Estimation Formula
<u>Microplankton (&gt;20 µm)<sup>*2</sup></u>	Fucoxanthin (Fuco), Peridinin (Perid)	1.41 (Fuco + Perid)/ΣDP <sup>*2</sup>
<u>Diatoms</u>	Fuco	1.41 Fuco/ΣDP <sup>*2</sup>
Dinoflagellates	Perid	1.41 Perid/ΣDP <sup>*2</sup>
<u>Nanoplankton (2–20 µm)<sup>*1</sup></u>	19'-Hexanoyloxyfucoxanthin (Hex)	(X <sub>n</sub> *1.27 Hex + 1.01 Chl-b + 0.35 But + 0.60 Allo)/ΣDP <sup>*3</sup>
	Chlorophyll-b (Chl-b)	
	Butanoyloxyfucoxanthin (But)	
	Alloxanthin (Allo)	
Green algae	Chl-b	1.01 Chl-b/ΣDP <sup>*2</sup>
Prymnesiophytes <sup>*4</sup> (Haptophytes)	Hex, But	
<u>Picoplankton (0.2–2 µm)<sup>*1</sup></u>	Zeaxanthin (Zea), Hex, Chl-b	(0.86 Zea + Y <sub>p</sub> 1.27 Hex)/ΣDP <sup>*3</sup>
Prokaryotes	Zea	0.86 Zea/ΣDP <sup>*2</sup>
Pico-eukaryotes <sup>*5</sup>	Hex, Chl-b	
<i>Prochlorococcus</i> sp.	Divinyl Chlorophyll-a (DVChl-a)	0.74 DVChl-a/Chl-a

<sup>\*1</sup> Sieburth et al. (1978)

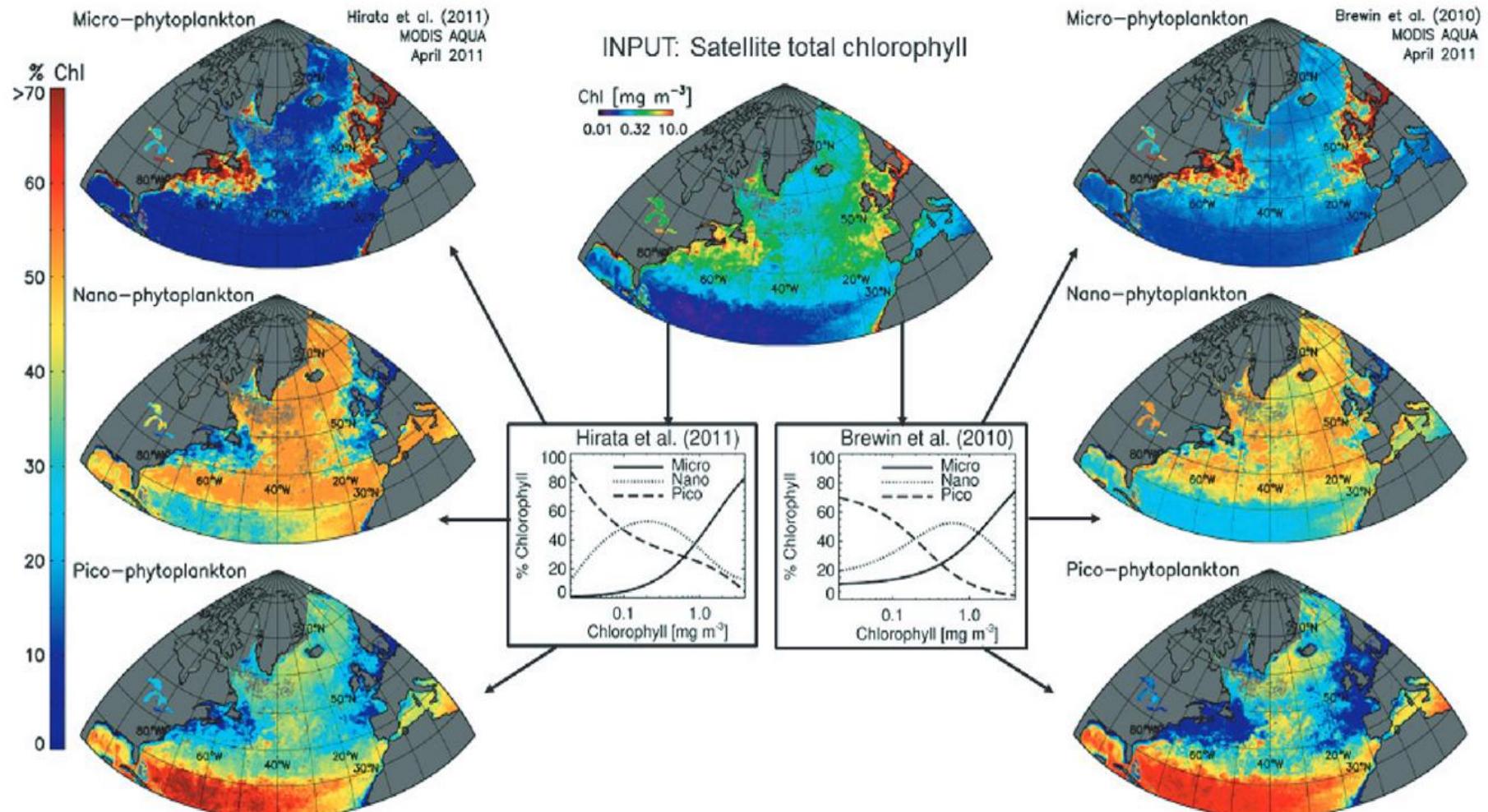
<sup>\*2</sup> ΣDP = 1.41 Fuco + 1.41 Perid + 1.27 Hex + 0.6 Allo + 0.35 But + 1.01 Chl-b + 0.86 Zea = Chl-a (Uitz et al., 2006)

<sup>\*3</sup> X<sub>n</sub> indicates a proportion of nanoplankton contribution in Hex. Similarly Y<sub>p</sub> indicates a proportion of picoplankton in Hex, (Brewin et al., 2010)

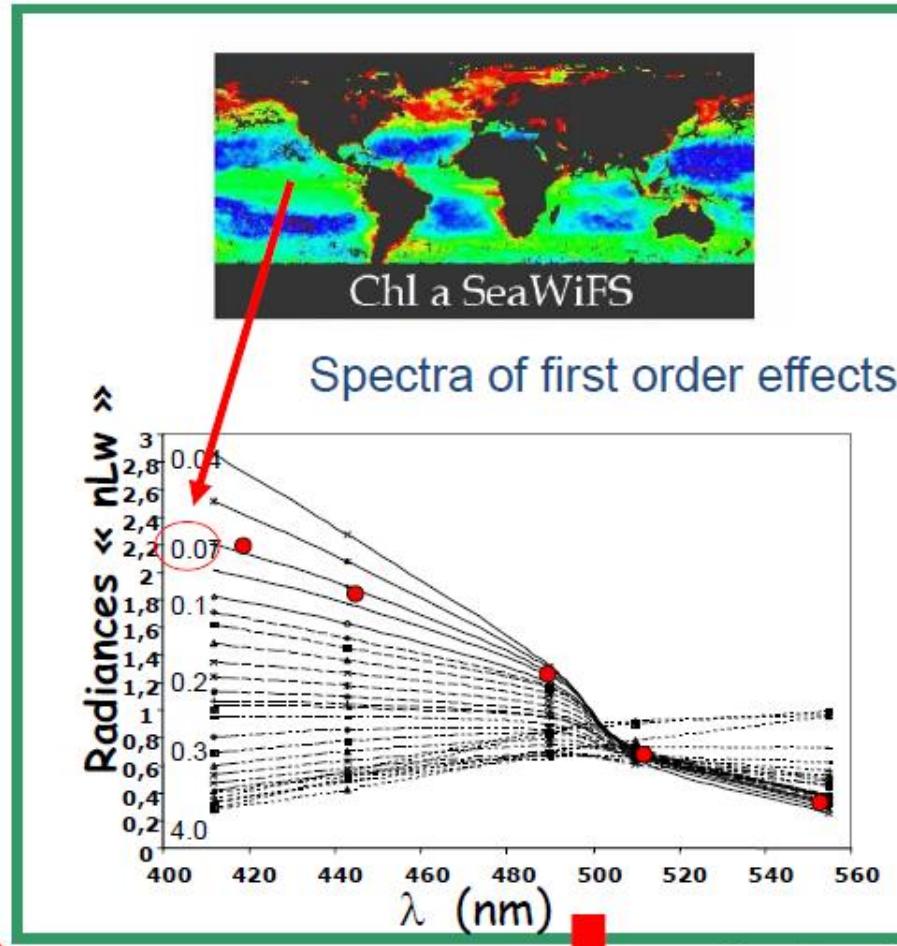
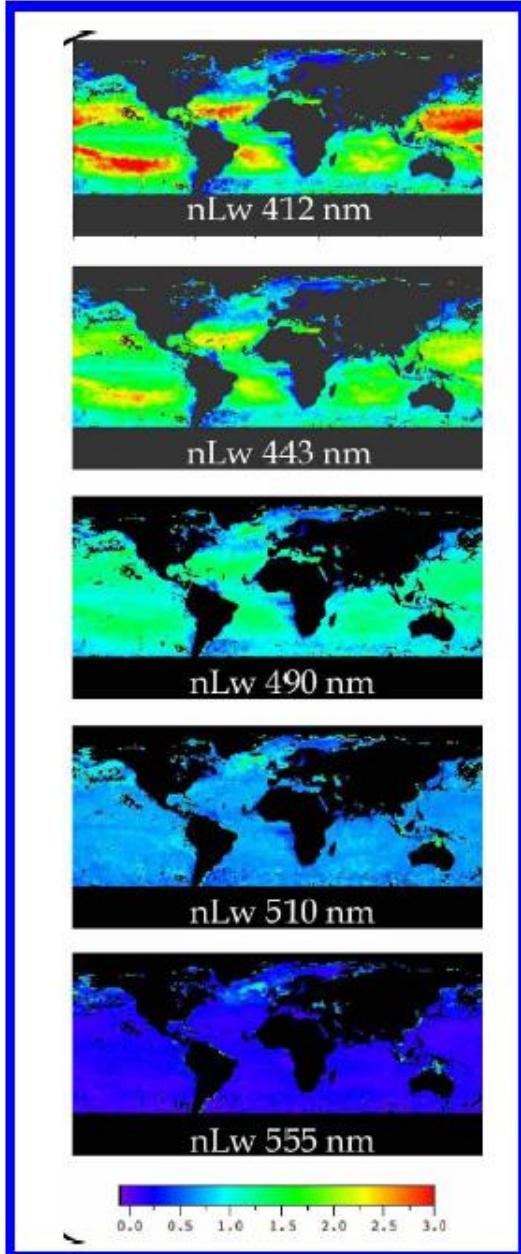
<sup>\*4</sup> Given that contributions of Allo to nanoplankton were only a few percent in our data set, haptophytes were approximated to Nano minus Green Algae (see also Fig. 2 caption)

<sup>\*5</sup> Pico-eukaryotes can be determined from picoplankton minus prokaryotes (see also Fig. 2 caption).

# Jeu de donnée en entrée similaire (HPLC PD), Différents algorithmes de contribution des PD à la [CHLA] satellite



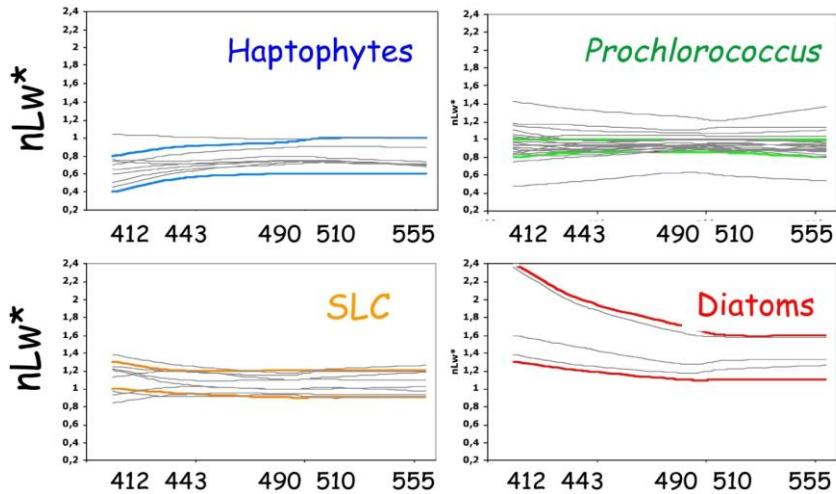
## 2. PHYSAT, le génie de l'anomalie spectrale, le PFT se cache dans les détails



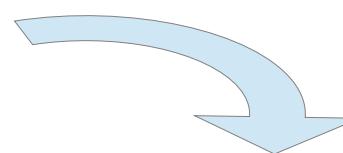
Courtesy S. Alvain

Second order effect:  
 $nLw^*(\lambda) = nLw(\lambda)/nLw_{ref}(\lambda, Chl^{swfs})$

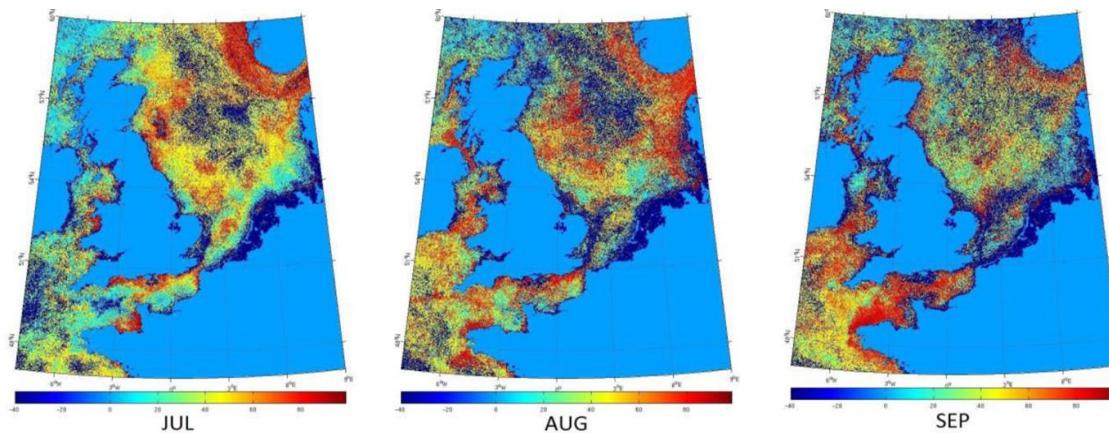
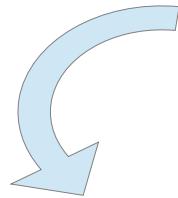
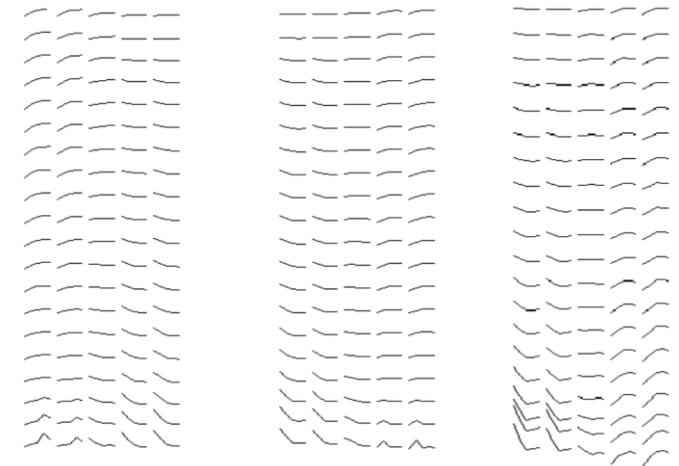
# Comparaison des anomalies de luminance normalisées avec le groupe dominant de la base de données des PDs



Alvain et al, 2008

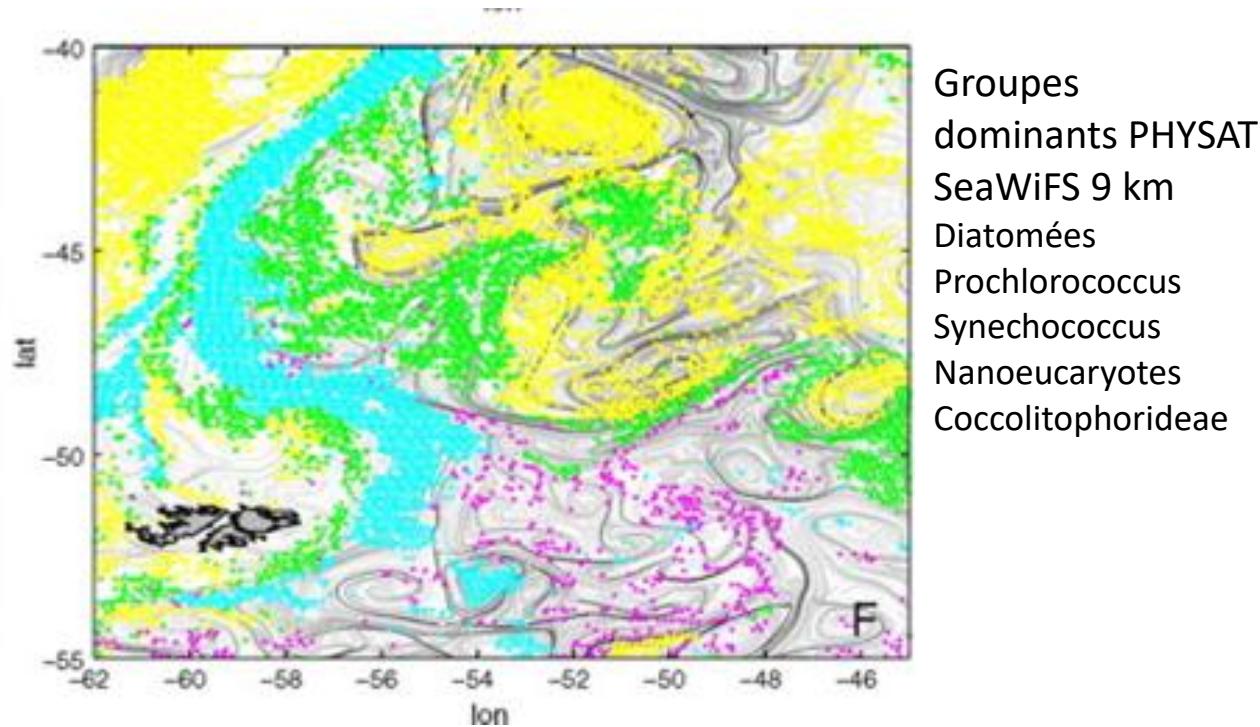


Application de classification pour augmenter le nombre d'anomalies



100 anomalies ::  
Vers la structure de la  
communauté plus que  
le groupe dominant

## Le couplage entre anomalies PHYSAT (groupes dominants) et la submesoscale :



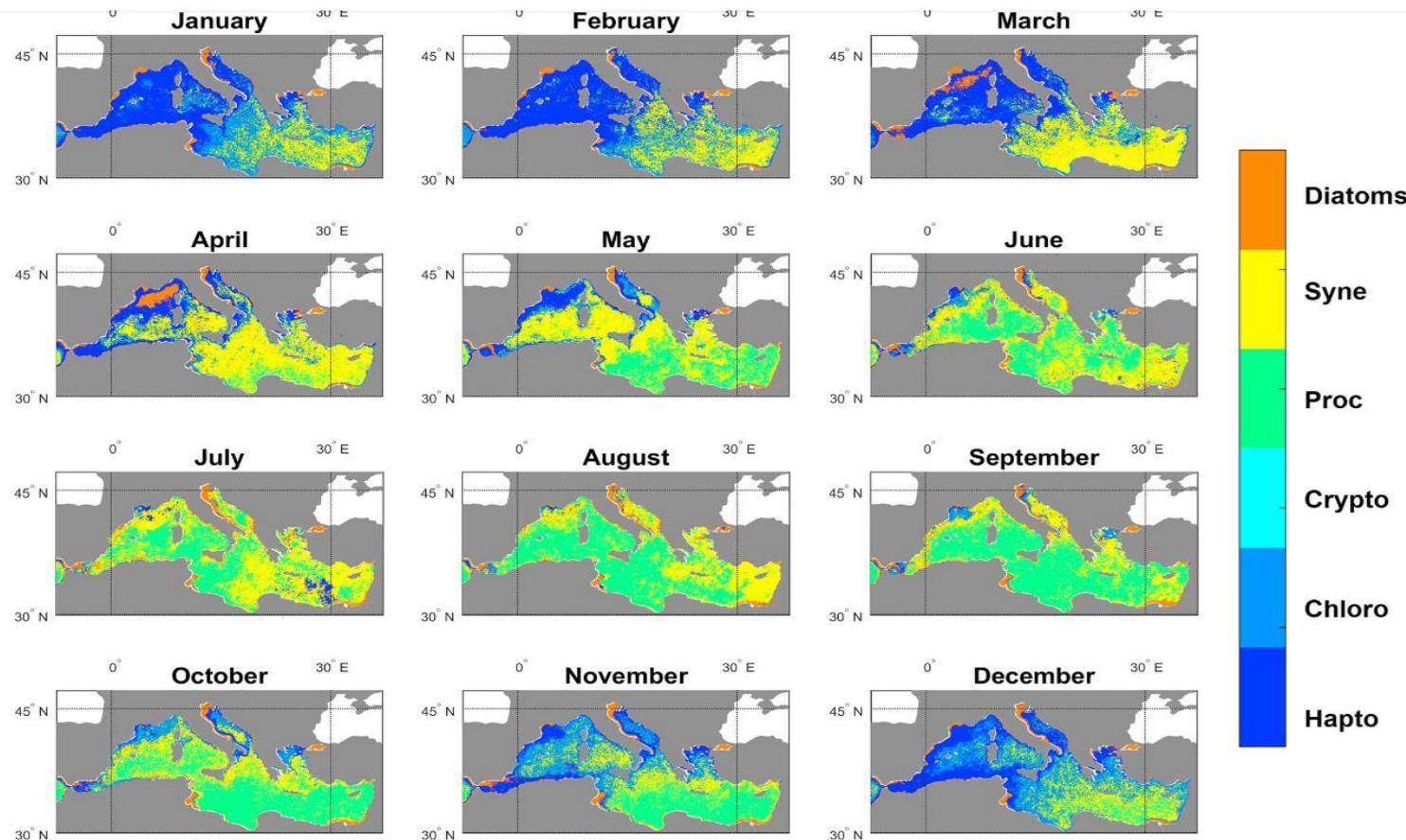
D'Ovidio et al., 2010

Cette approche peut s'appliquer à d'autres jeux de données in situ, elle s'applique pour le moment sur la même base de données des PDs

# Approches écologiques: inclure les variables environnementales comme descripteur de la distribution des PFT et utiliser le Self Organising Map ou l'IA pour classifier

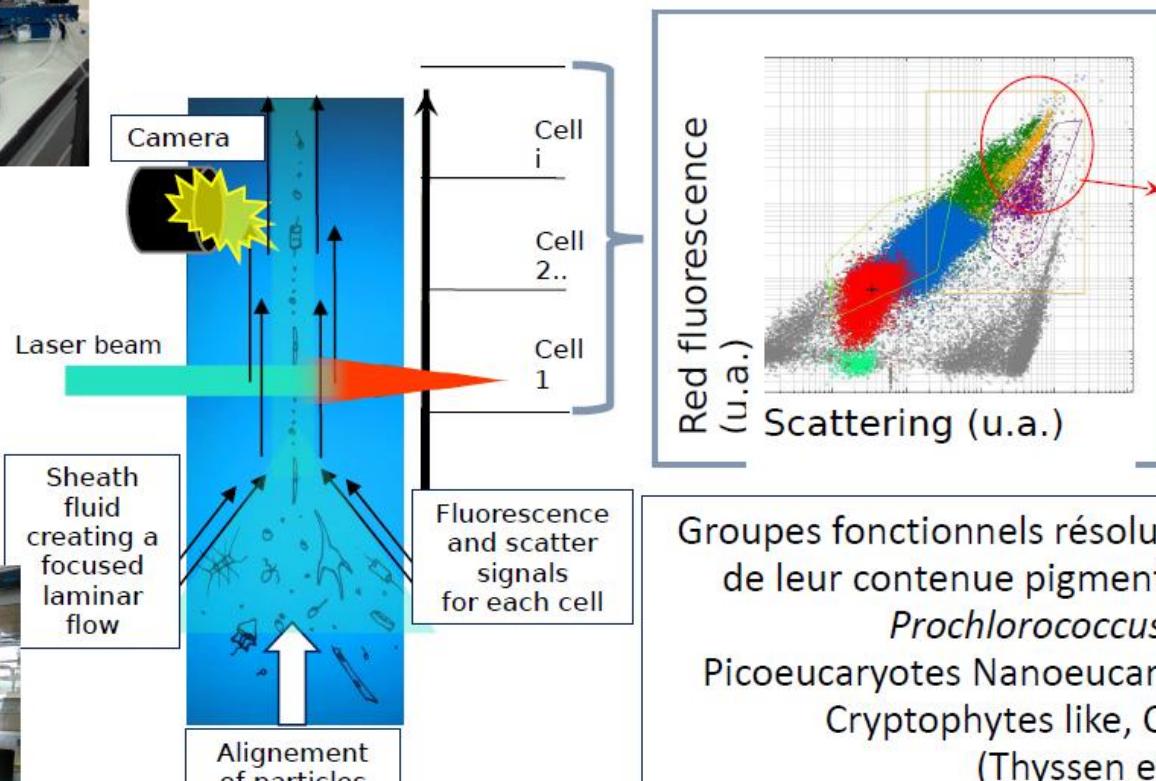
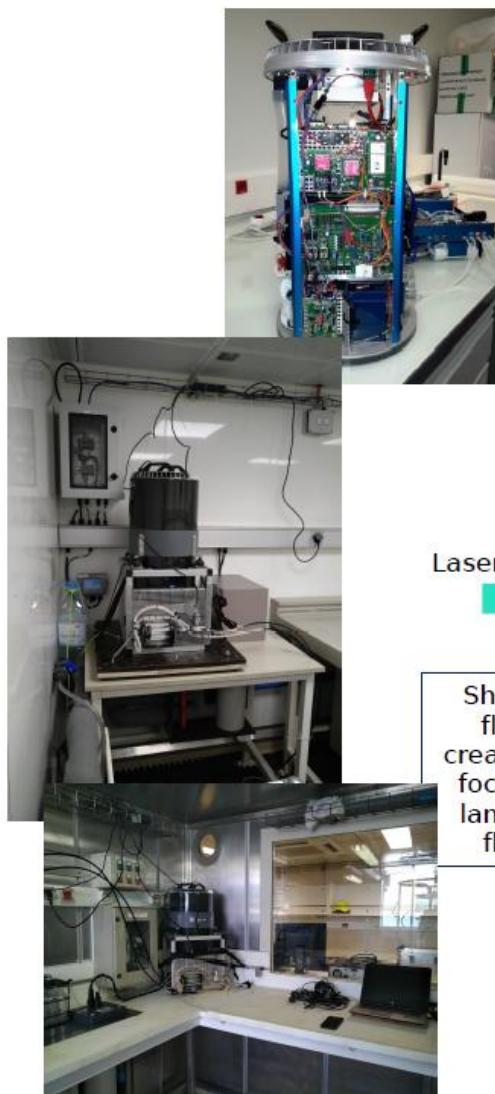
En 2014, la base de données des pigments HPLC est passée à plus de 12000 points

- + SST par satellites + ARGO MLD
- + un allègement des critères de matchup  
(3\*3 pixels, 1 jours de time laps (7594 point co localisés avec les points satellites))



Un jeu de donnée additionnel en cours :  
La quantification et la caractérisation haute résolution du  
phytoplancton par la cytométrie en flux automatisée

# La cytométrie en flux de type Cytosense permet de résoudre les abondances et la structure fonctionnelle du phytoplancton=



Groupes fonctionnels résolus sur la base de leur taille et de leur contenu pigmentaire (chl/phycoerytrine)

*Prochlorococcus Synechococcus*  
Picoeucaryotes Nanoeucaryotes Microphytoplankton  
Cryptophytes like, Coccolithophore like  
(Thyssen et al., 2022)

Résolution des classes de tailles de 0.5 à 800 µm

# Le cytomètre des extrêmes :



Malkassian et al. 2011

Dugenne et al. 2014

Thyssen et al. 2008, 2009a.b, 2012, 2014, 2015, 2022

Marrec et al., 2018, Leblanc et al. 2018, Sellegrí et al. 2020,

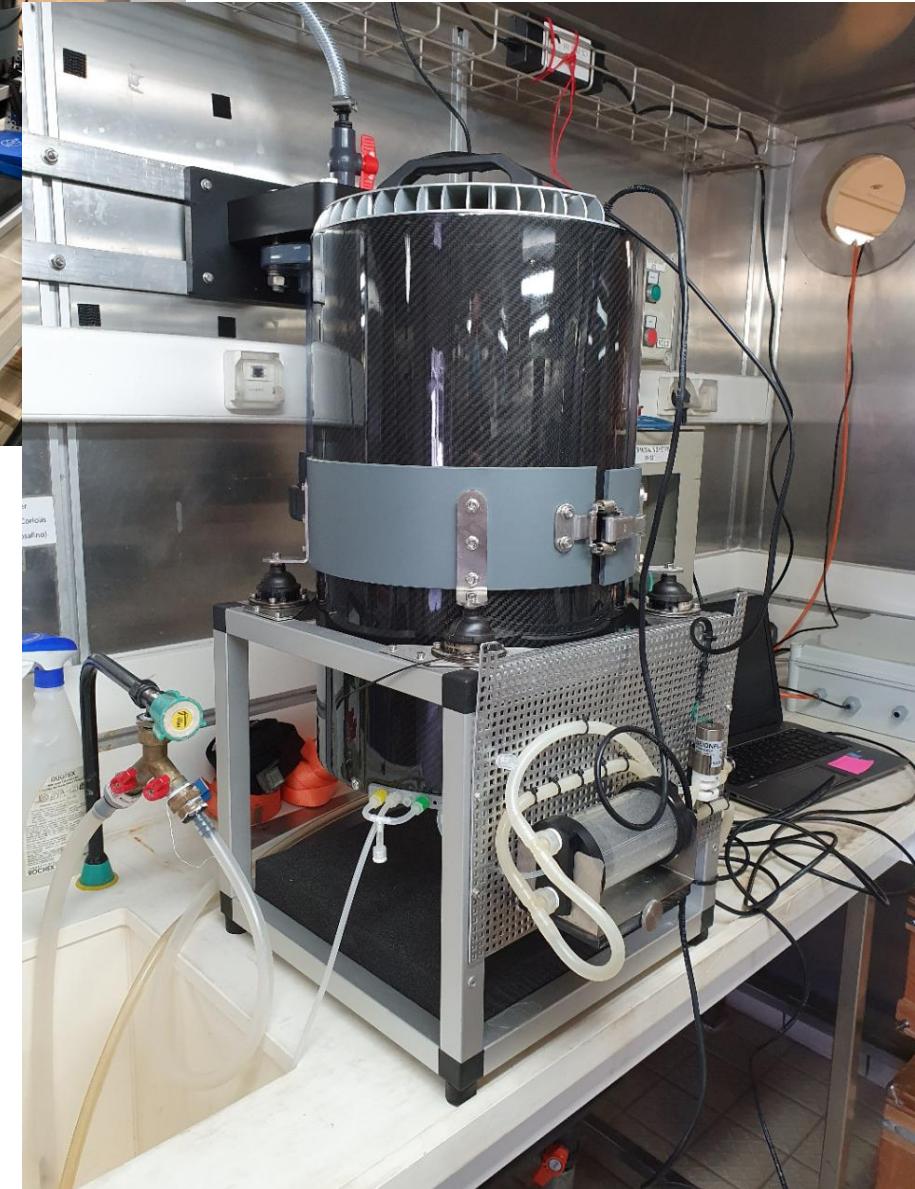
Tzortzis et al., 2021, Fuchs et al. 2022



Sur le Tethys : OSCAHR-2016



Sur la Thalassa: MOOSE GE-2021

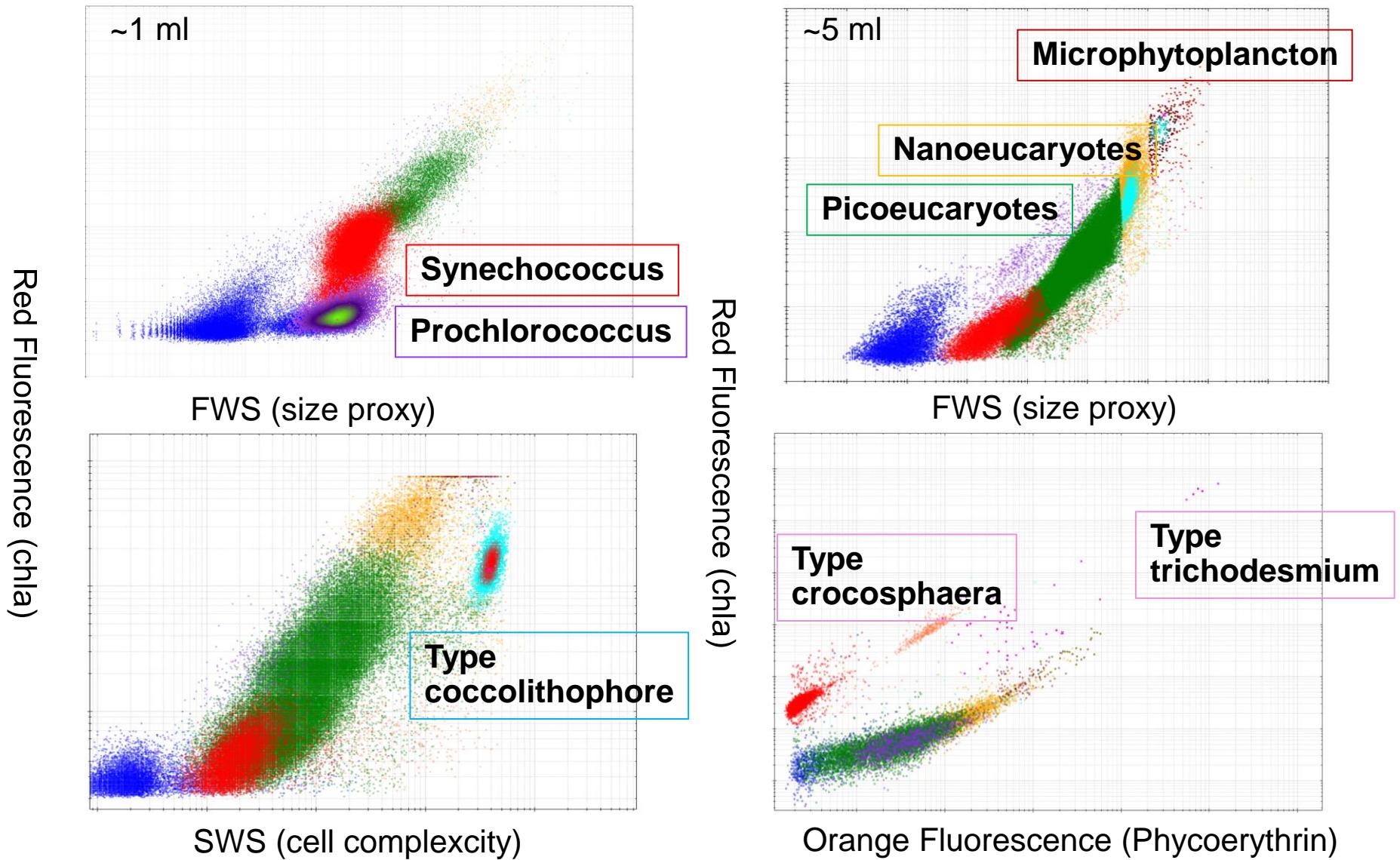


Sur le Marion Dufresne: MAP-IO depuis 2021

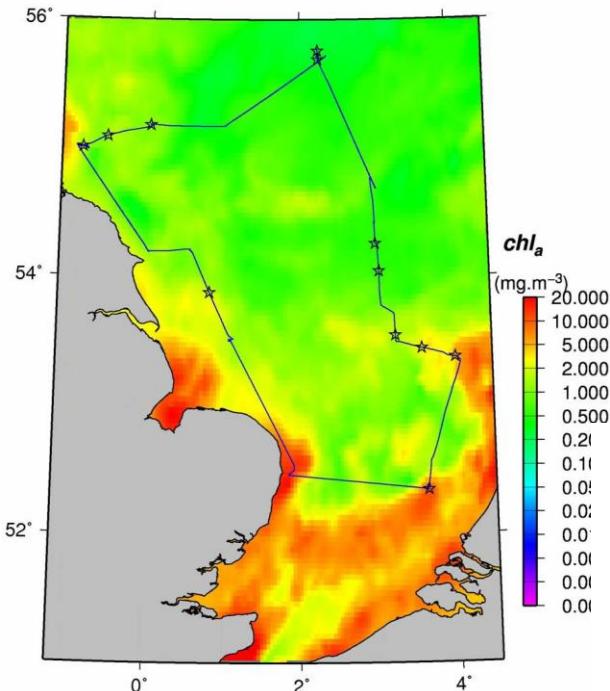


Sur le Pourquoi pas?: Calypso – MOOSE-GE 2022

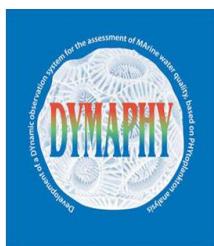
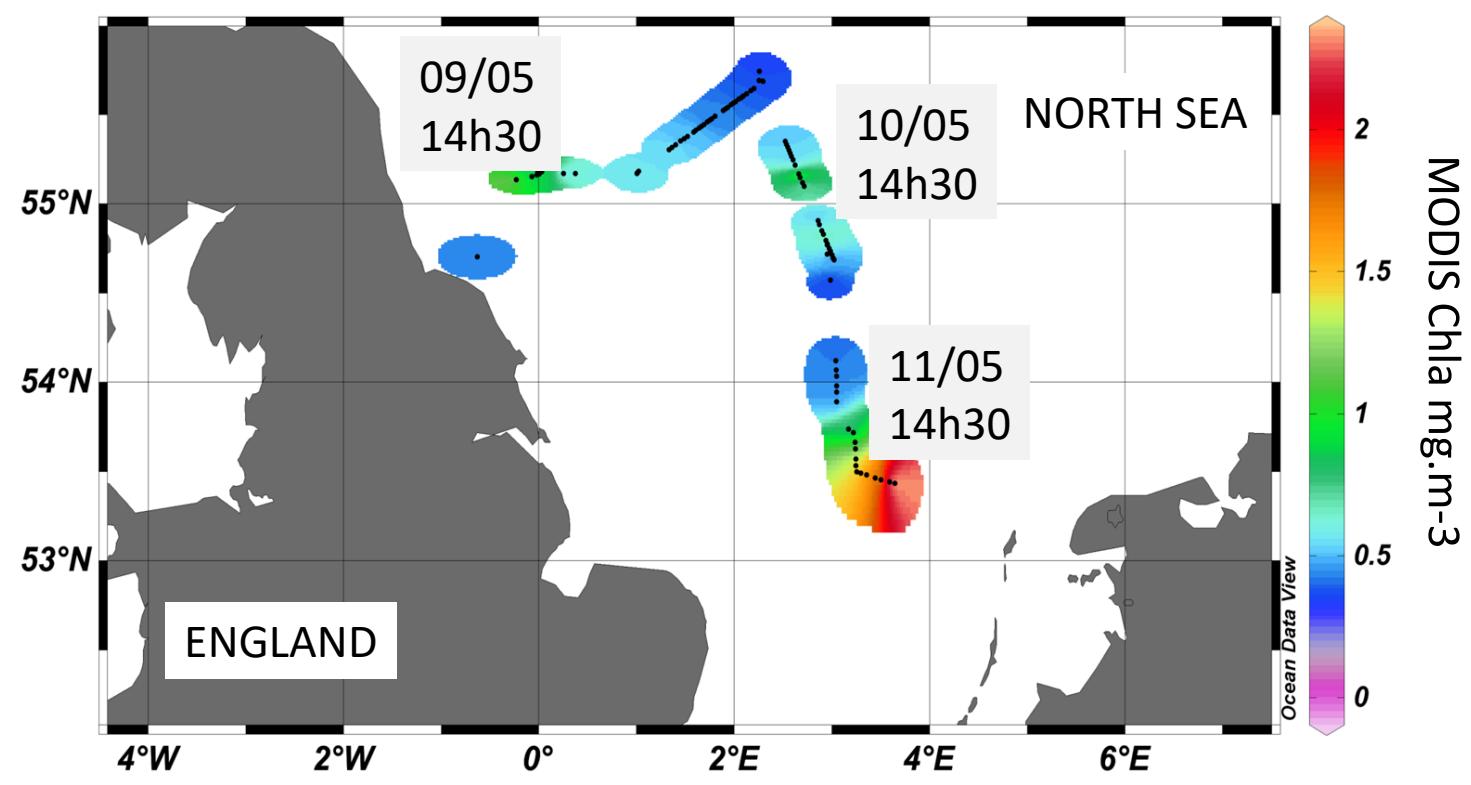
8-10 groupes résolus sur la base de la diffusion, et du contenu pigmentaire

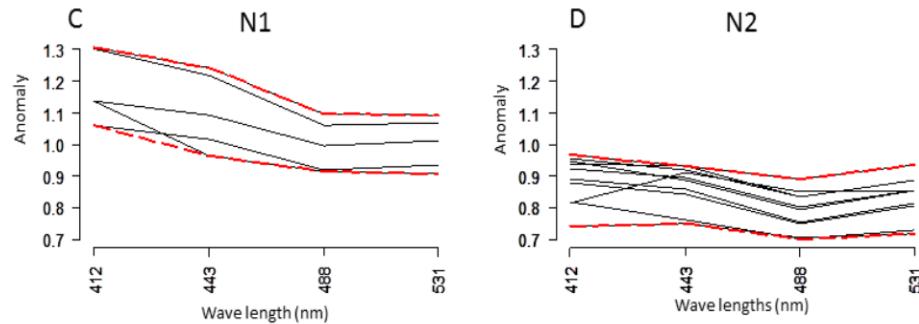


# Premier couplage PHYSAT\_CYTOMETRIE 2012 (projet INTERREG DYMAPHY)



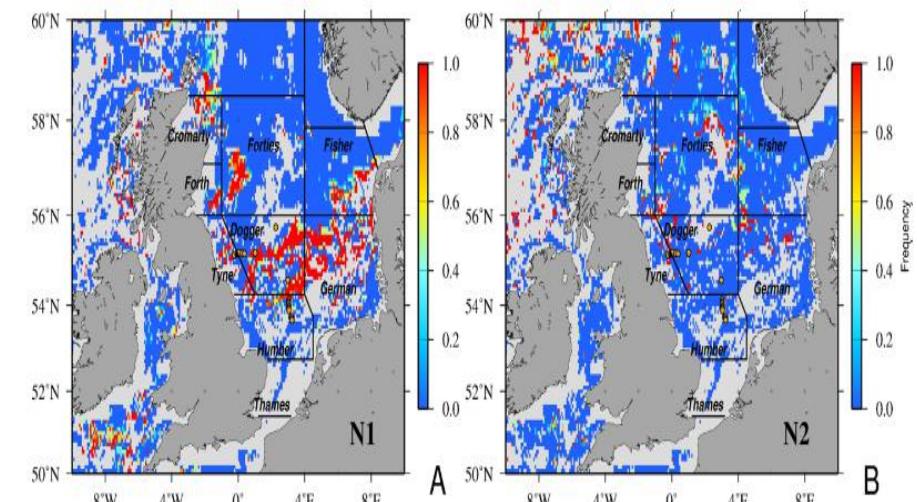
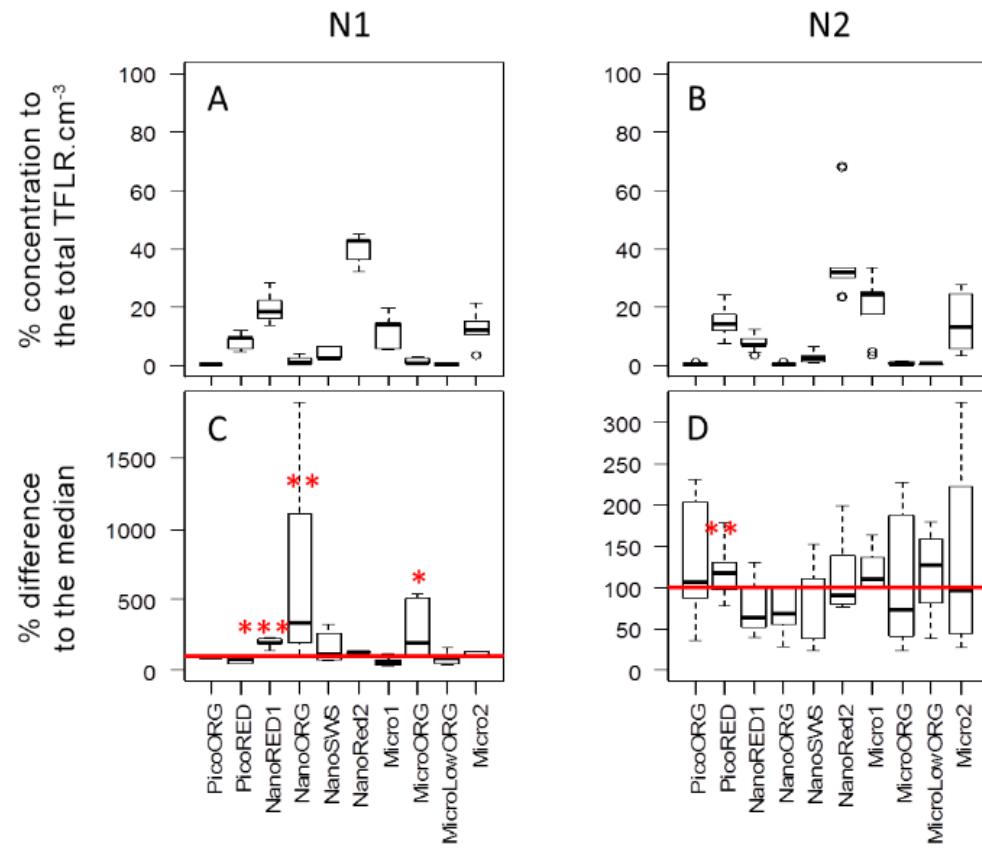
Points in situ correspondant aux points MODIS  
En l'espace de 3 jours seulement.





## Deux anomalies PHYSAT

## Deux structures de communautés différentes

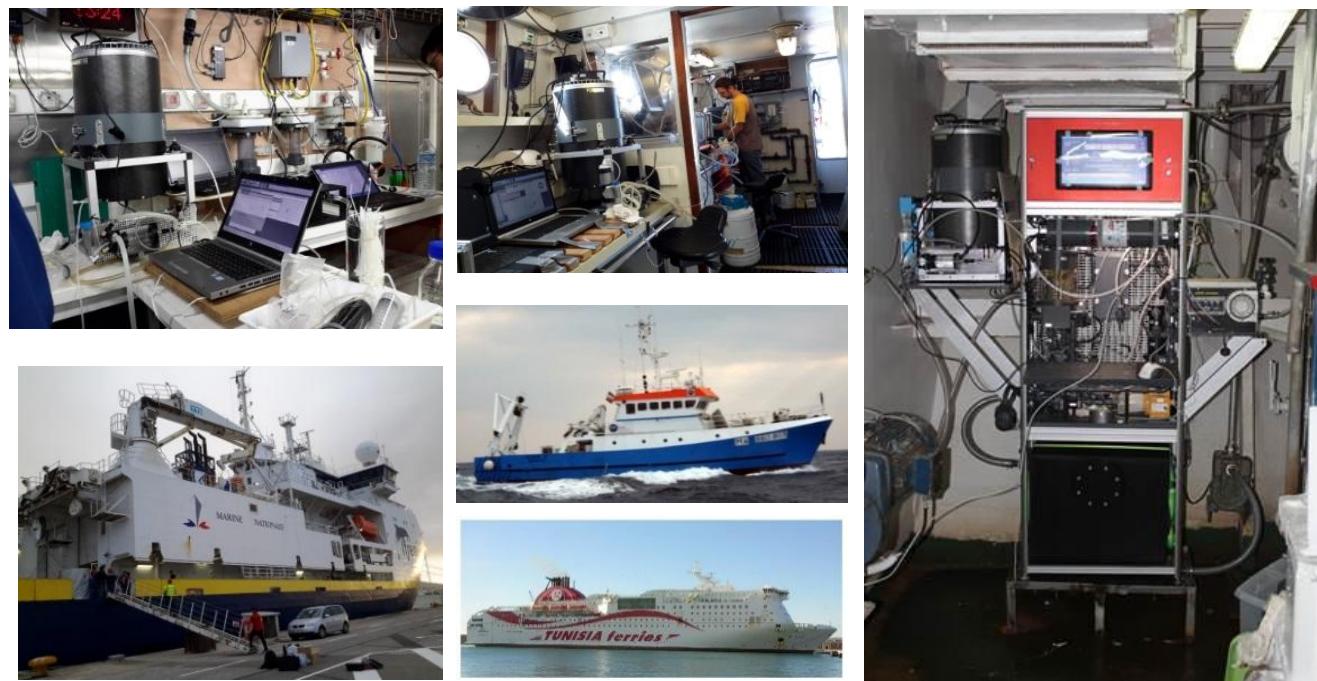


## Deux distributions différentes de la communauté

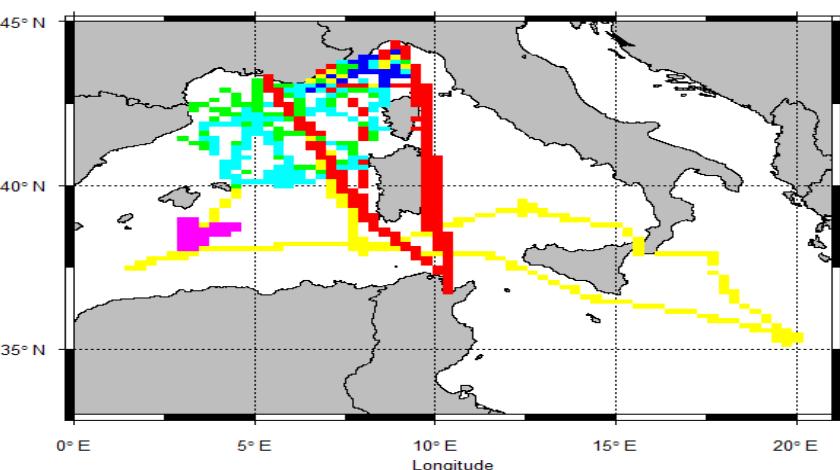
# Au MIO, nous avons une base de données qui continu de s'agrandir :

## Méditerranée:

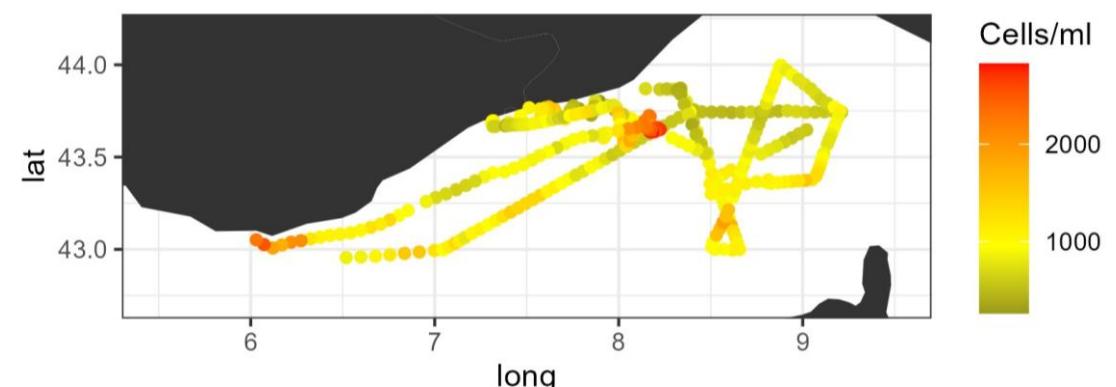
>4000 échantillons de 2015 à 2023



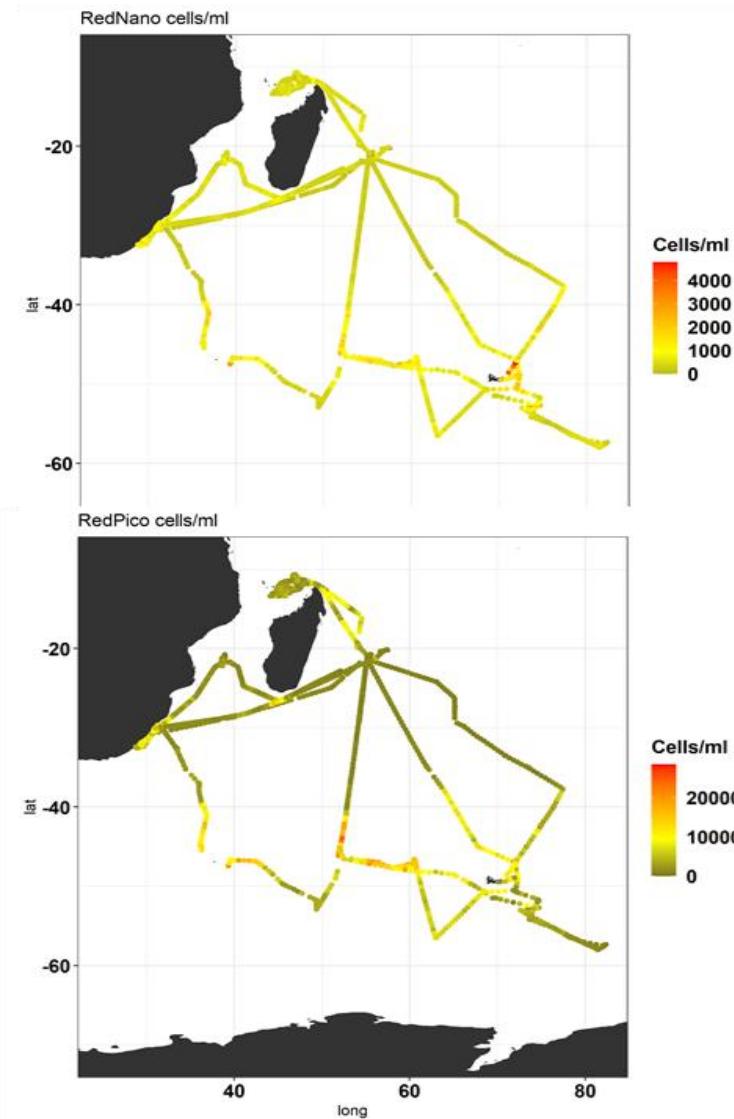
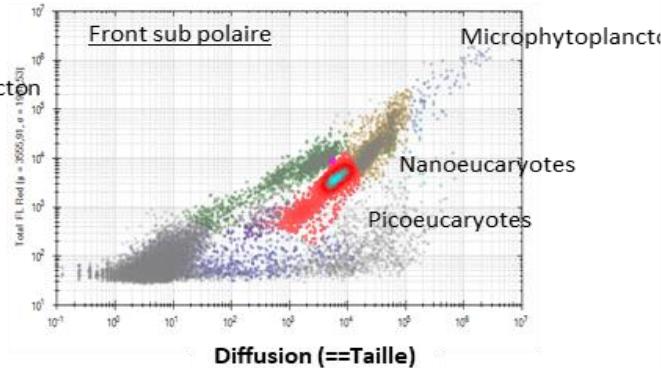
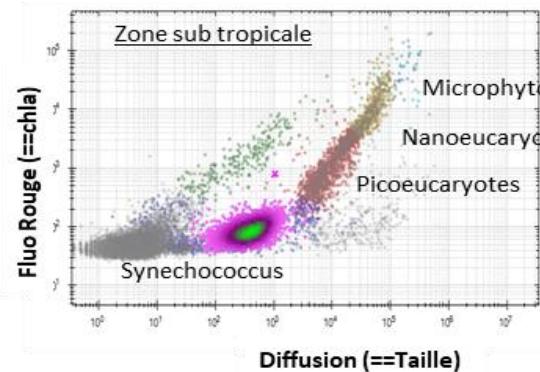
Collected samples for matchups



RedPico cells/ml



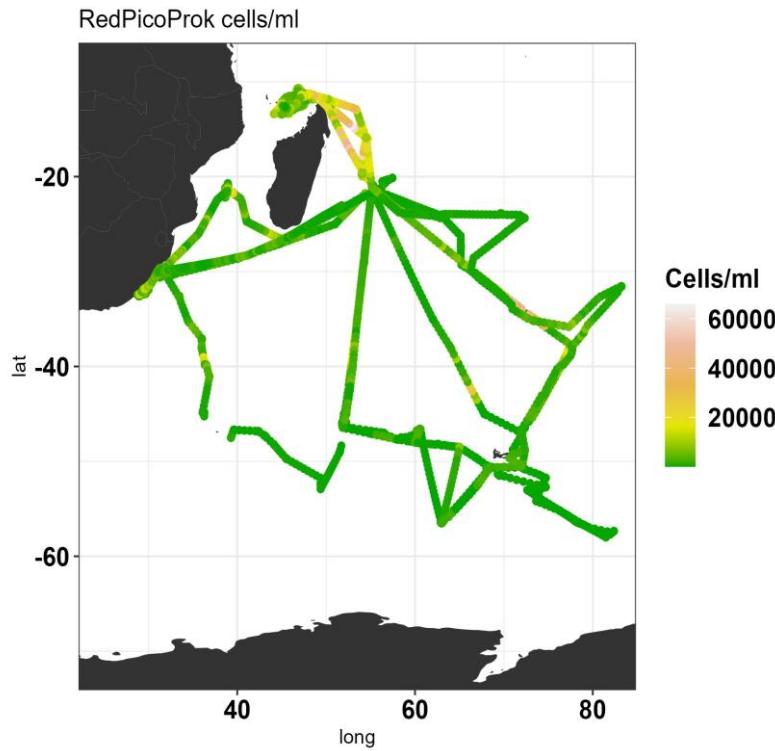
# Ocean Indien Sud Ouest et Austral: >7000 échantillons sur le Marion Dufresne 2021 à



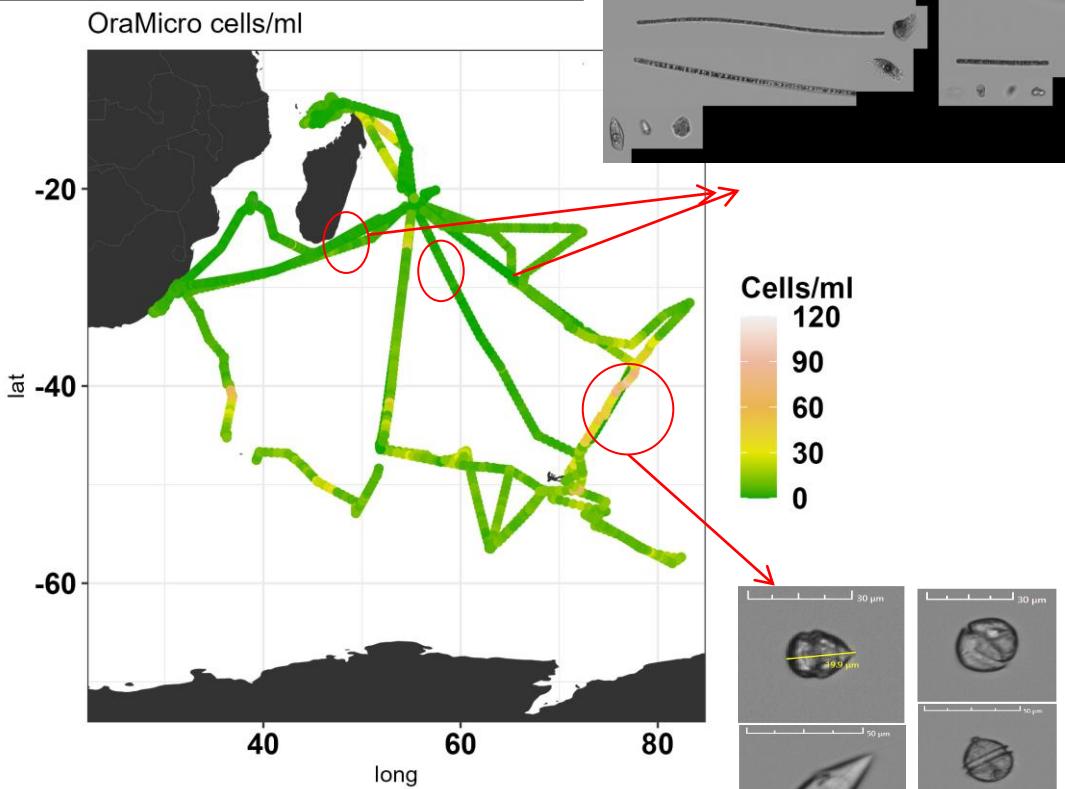
2021-2022-2023: SWINGS, OBSAUSTRAL 2022-2023,  
SCRATCH, RESILIENCE, OP TAAF, EOB

Support CAL/VAL des données couleur de l'eau.  
**Addition d'une information précise sur les classes de tailles et les biomasses à haute résolution spatiale**

# Caractérisation de structure des communautés en fonction des masses d'eaux rencontrées et des saisons



*Prochlorococcus* distribution  
 $<0,8 \mu\text{m}$



*Trichodesmium/dinoflagellates*  
distribution  $> 100 \mu\text{m}$

## Couplage BD HPLC avec les données couleur de l'eau 2003-2021 et la classification de ElHourany=6 classes bio-optiques

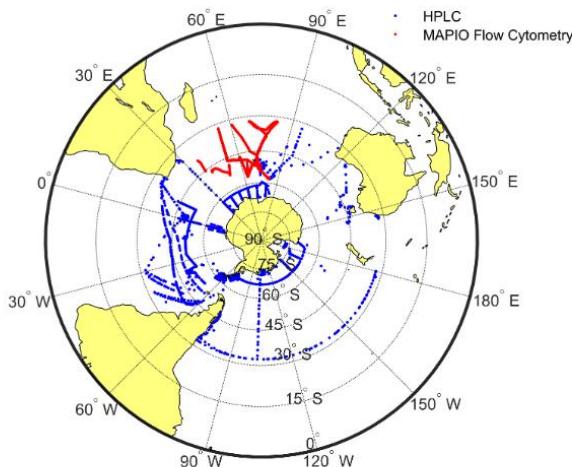
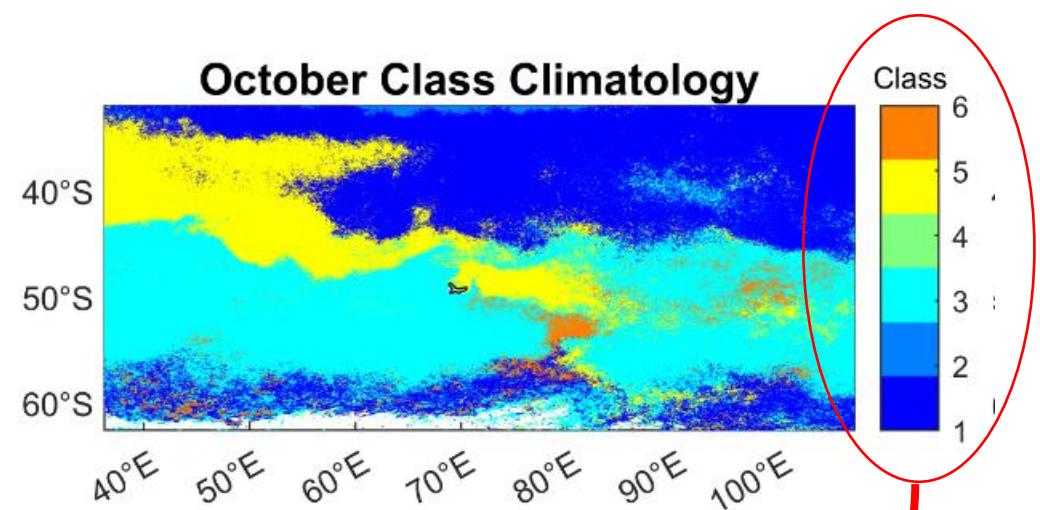
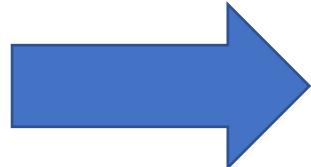
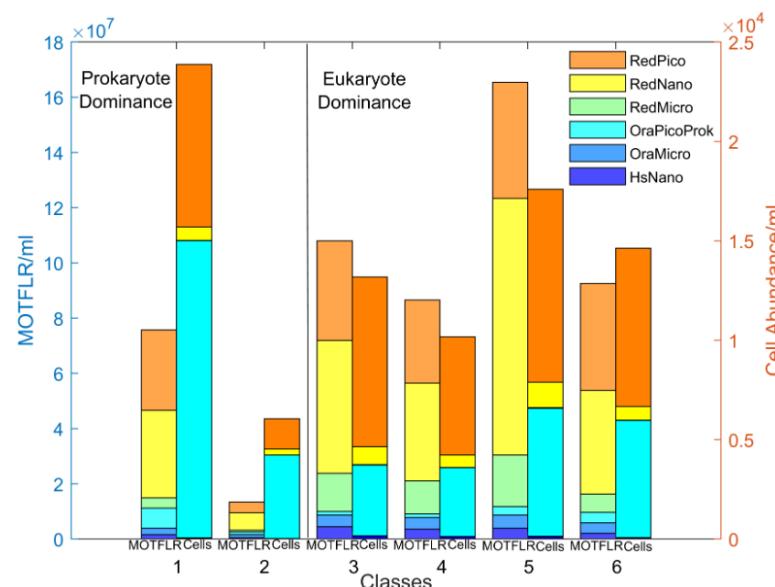


Figure 4. Map showing the distribution of the in-situ HPLC and MAPIO flow cytometry datapoints used.



Validation des classes issues de la [chl<sub>a</sub>] stallites, des PD et des variables environnementales avec les données issues de la cytométrie en flux



## Rappel: les sources d'incertitudes

- Les données in situ de fluorimétrie ou d'HPLC sont entachées d'erreurs de mesures pouvant être importantes en terme de qualification et de quantification, réduite avec la cytométrie
- Le prélèvement in situ se fait dans quelques L et sous échantillonne quelques mL, alors que le pixel est de l'ordre de km x km sur 10 m de profondeur environs
- Les algorithmes PFT reposent actuellement tous sur les données in situ des pigments diagnostic :

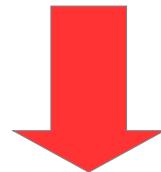
« Diagnostic pigments over-estimate micro and pico-plankton biomass  
A significant amount of diatoms and dinoflagellates are observed in the nano- size class »  
(Chase *et al.*, 2020)

L'augmentation des match-ups et la quantification des PFT in situ est indispensable pour réduire les incertitudes

## Conclusion

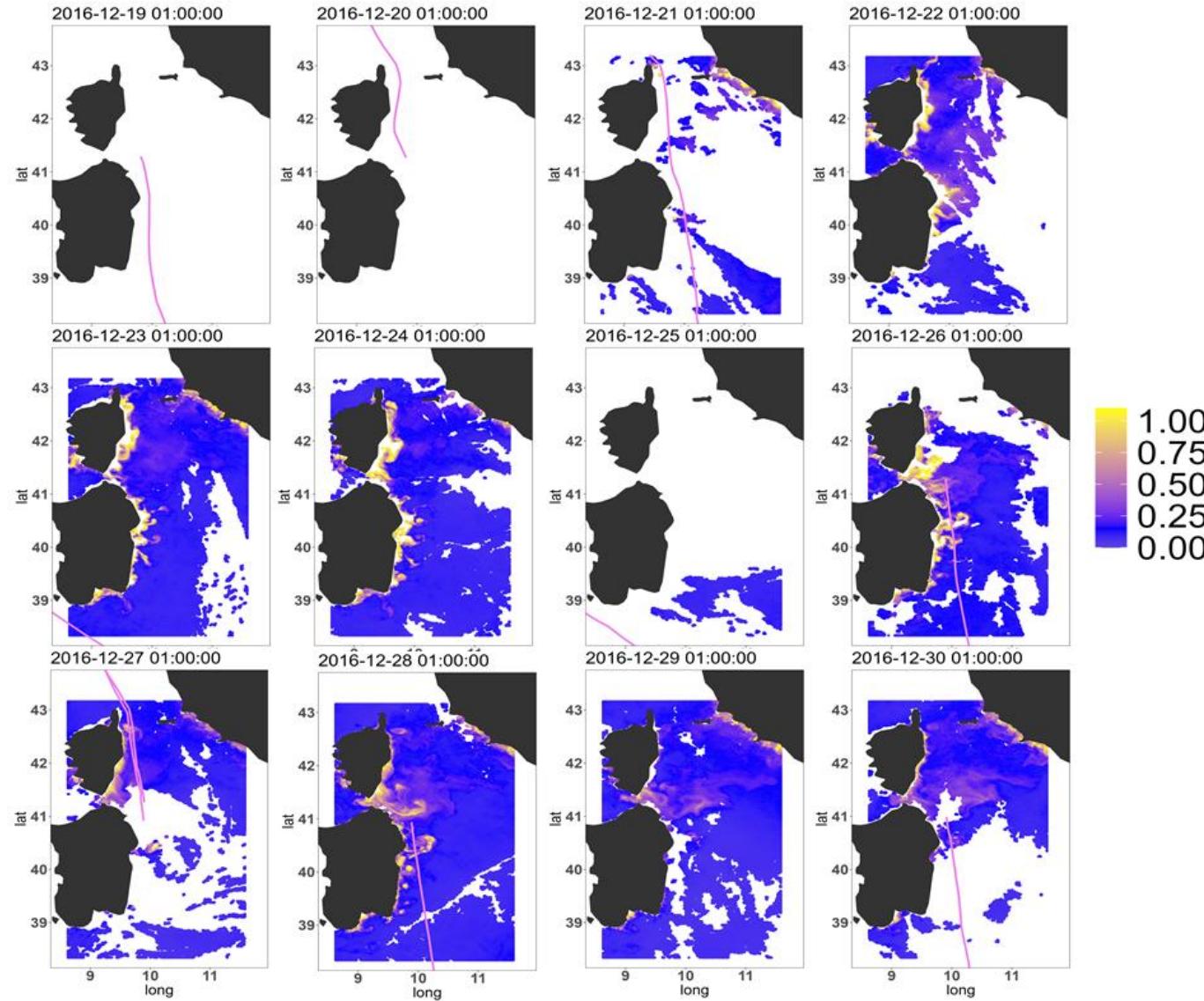
Le couplage entre base de données HPLC (abondances relatives) et cytométrie (abondances absolues) en plus de l'ajout des variables environnementales seront un atout majeur pour augmenter le

GROUND TRUTH:: ABSOLUTE TRUTH



REMOTE SENSING TRUTH :: MODELLING TRUTH

N'oubliez pas non plus= la plus part des tempêtes sont sous les nuages



Merci !

La problématique de la colocalisation:

Pour chaque point in situ, il faut d'abord colocaliser les pixels valides :

Ex.: Bailey et Werdell, 2006 Principe de validation des données satellites pour l'in situ

- Utiliser des données in situ de qualité : **ground truth !: absolute truth**
- Coincidence : time window :  $\pm 3H$
- Faire la moyenne des 5\*5 pixels autour du point in situ (Xi et al. 2020 est passé à 1\*1 pixels)

14-25% de match-ups point in situ avec SeaWifs

9-19% SeaWifs + QC in situ

# Utilisation de la [CHLA] comme support de modèle PP intercomparaison

$$\begin{aligned}P^B &= 12000a^*\phi_c(\text{PAR})\text{PAR} \\&= P_{\max}^B [1 - \exp(-\alpha^B \text{PAR}/P_{\max}^B)]\end{aligned}$$

P<sub>b</sub> : chl normalised PP.

where  $a^*$  is the chlorophyll-specific absorption coefficient of phytoplankton [ $\text{m}^2 (\text{mg Chl a})$ ],  $\phi_c(\text{PAR})$  is the irradiance-dependent quantum yield of carbon fixation [ $\text{mol C} (\text{mol quanta})$ ], and 12000 enables the conversion of moles of quanta into milligrams of carbon.

Equivalent to Production/light curve.

At low light: conversion de la lumière absorbée en énergie: pente de la courbe P vs E (photosynthèses vs irradiance) : alpha b ( $\text{mgC} (\text{mg Chla})^{-1} \text{h}^{-1}$ ) ( $\mu\text{mol quanta m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )<sup>-1</sup>

...  $a^* \phi c_{\max}$

P<sub>b max</sub>: maximal capacity of the cell to fix carbon

Chla et PAR:: satellites

P<sub>b max</sub> et  $a^*$

Use of the community structure as an indicator of photophysiological properties.

# PFT

## Phytoplankton Functional Types

