

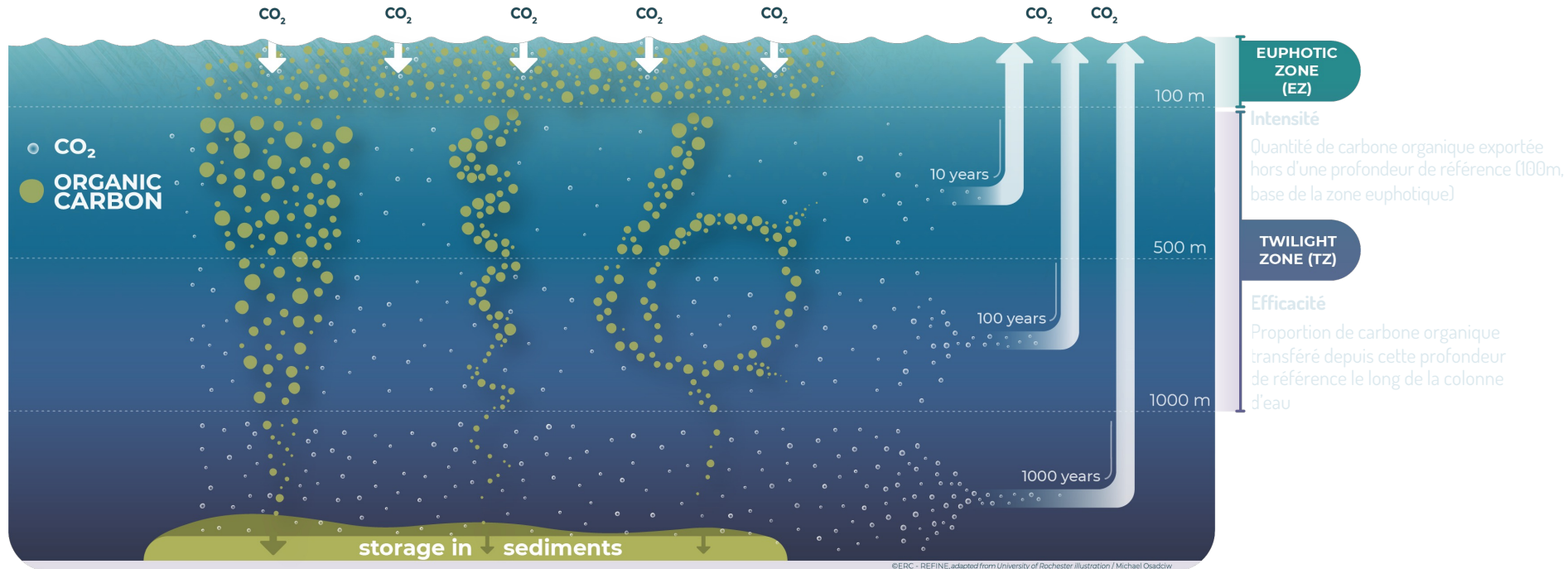
Elsa SIMON  
doctorante 1<sup>ère</sup> année  
LOV, SU  
[elsa.simon@imev-mer.fr](mailto:elsa.simon@imev-mer.fr)

**Superviseurs :**  
Laurent COPPOLA  
Hervé CLAUSTRÉ  
Léo LACOUR

# RÉUNION ANNUELLE DES PROJETS ARGO BIO-RÉGIONALISATION DE L'EXPORT DE CARBONE À L'ÉCHELLE GLOBALE PAR LES FLOTTEURS BGC-ARGO



## La pompe biologique à carbone : tous les moyens de **séquestrer du carbone organique** à plus ou moins long terme dans l'océan



© Thomas Boniface

### Gravitational Pump

### biologically-mediated Pumps

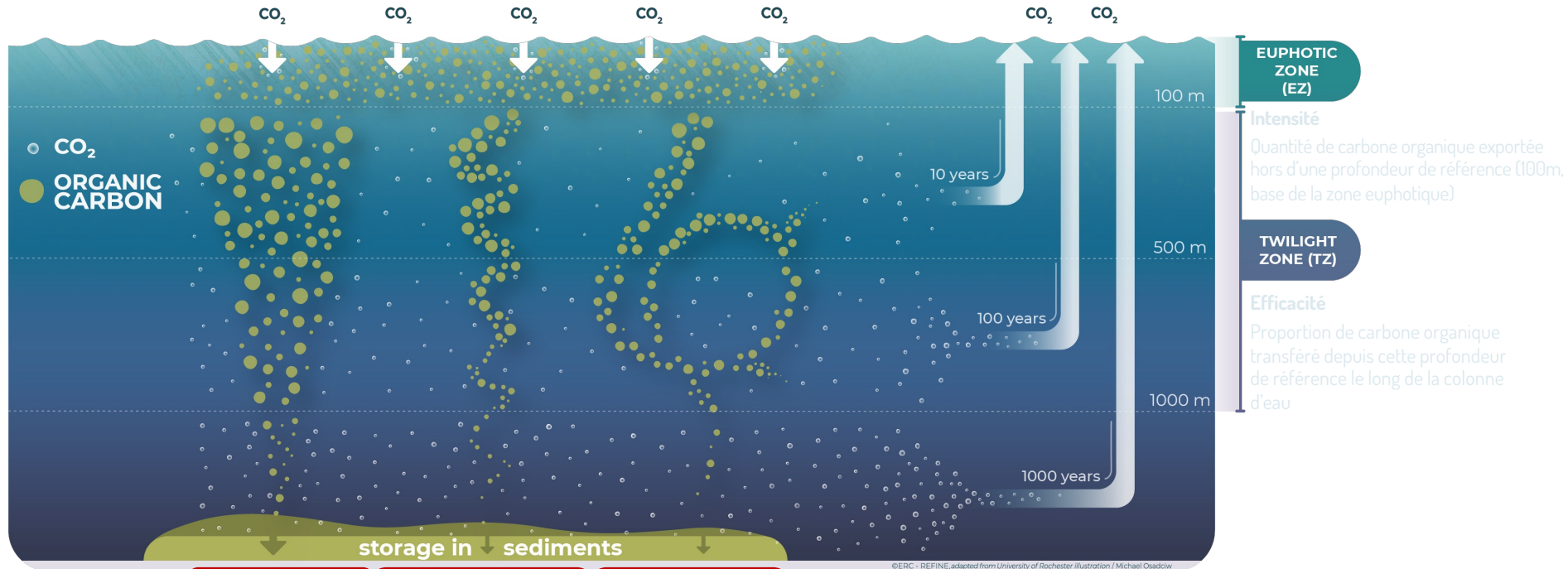
- Seasonal Migration Pump
- Diel Migration Pump

### physically-mediated Pumps

- Mixed Layer Pump
- Eddy Subduction Pump

Participe à la **régulation du climat**

## La pompe biologique à carbone : tous les moyens de **séquestrer du carbone organique** à plus ou moins long terme dans l'océan



© Thomas Boniface

**Gravitational Pump**

**biologically-mediated Pumps**

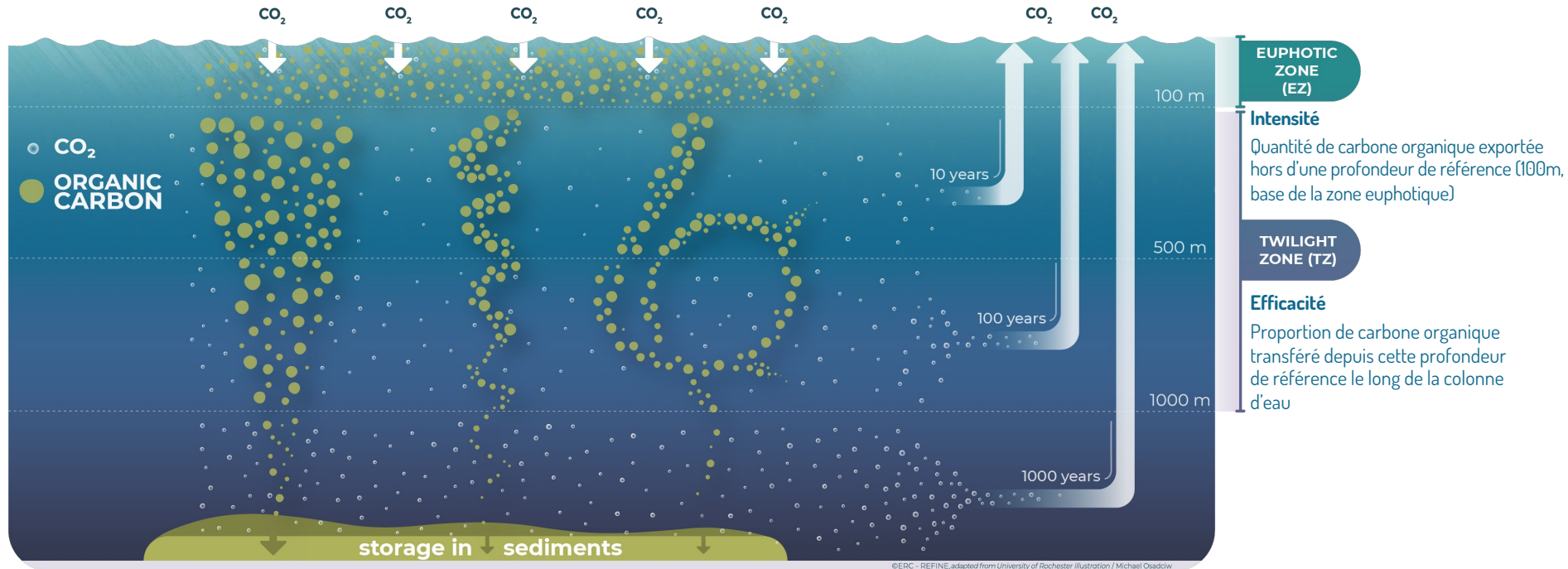
- Seasonal Migration Pump
- Diel Migration Pump

**physically-mediated Pumps**

- Mixed Layer Pump
- Eddy Subduction Pump

Participe à la **régulation du climat**

## La pompe biologique à carbone : tous les moyens de **séquestrer du carbone organique** à plus ou moins long terme dans l'océan



© Thomas Boniface

### Gravitational Pump

### biologically-mediated Pumps

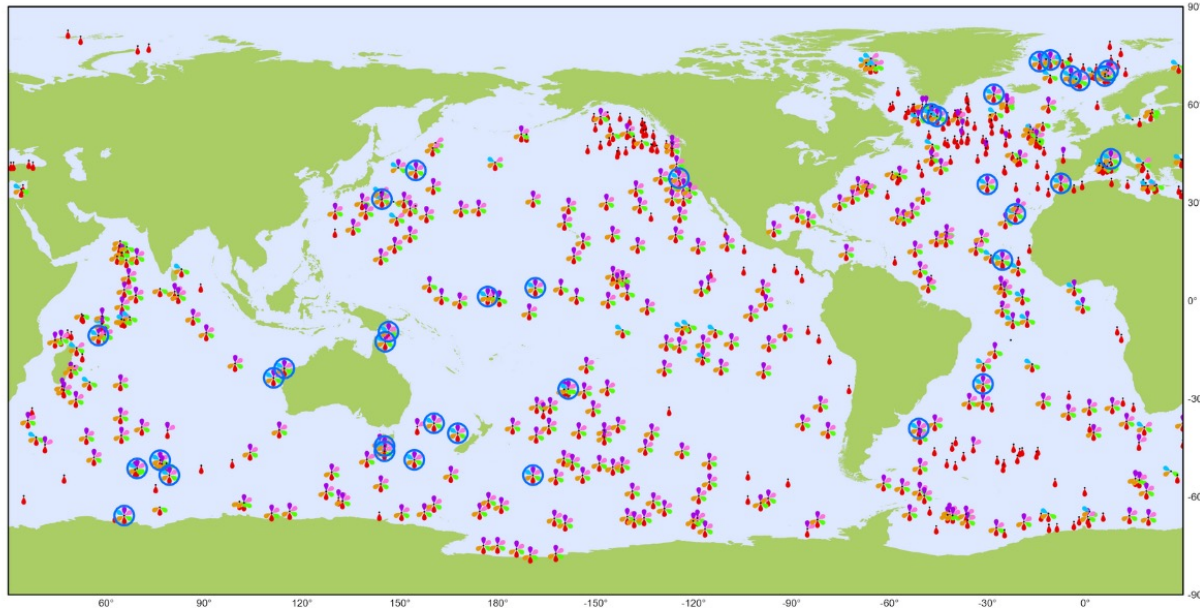
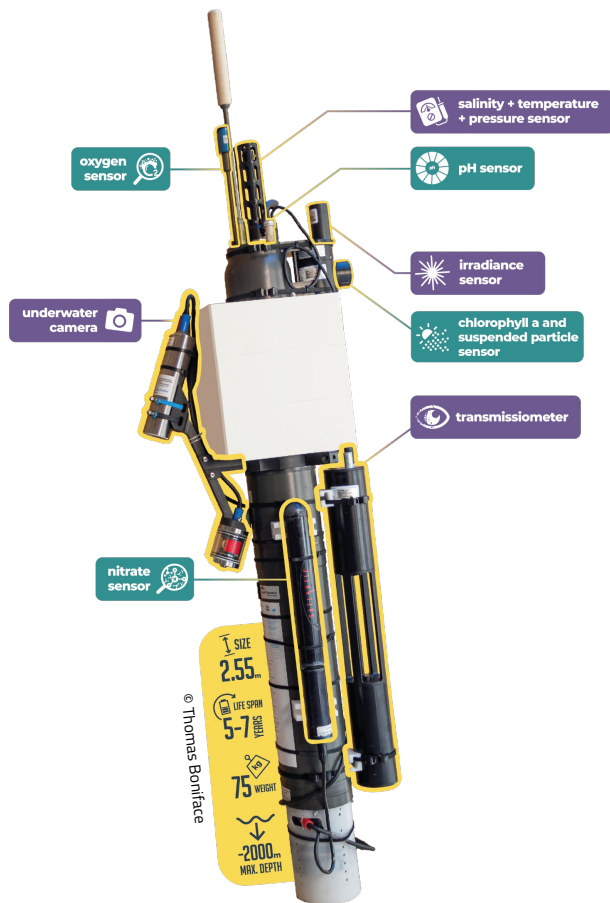
- Seasonal Migration Pump
- Diel Migration Pump

### physically-mediated Pumps

- Mixed Layer Pump
- Eddy Subduction Pump

Participe à la **régulation du climat**





Biogeochemical Argo

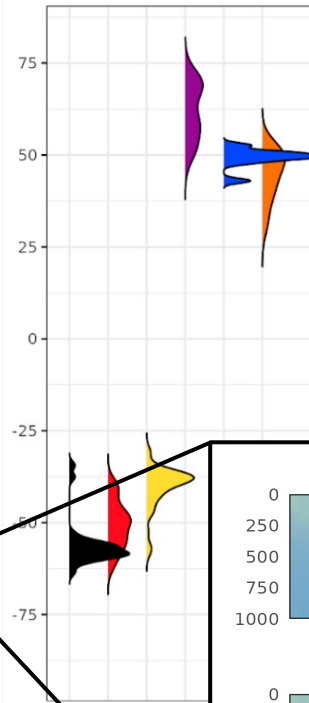
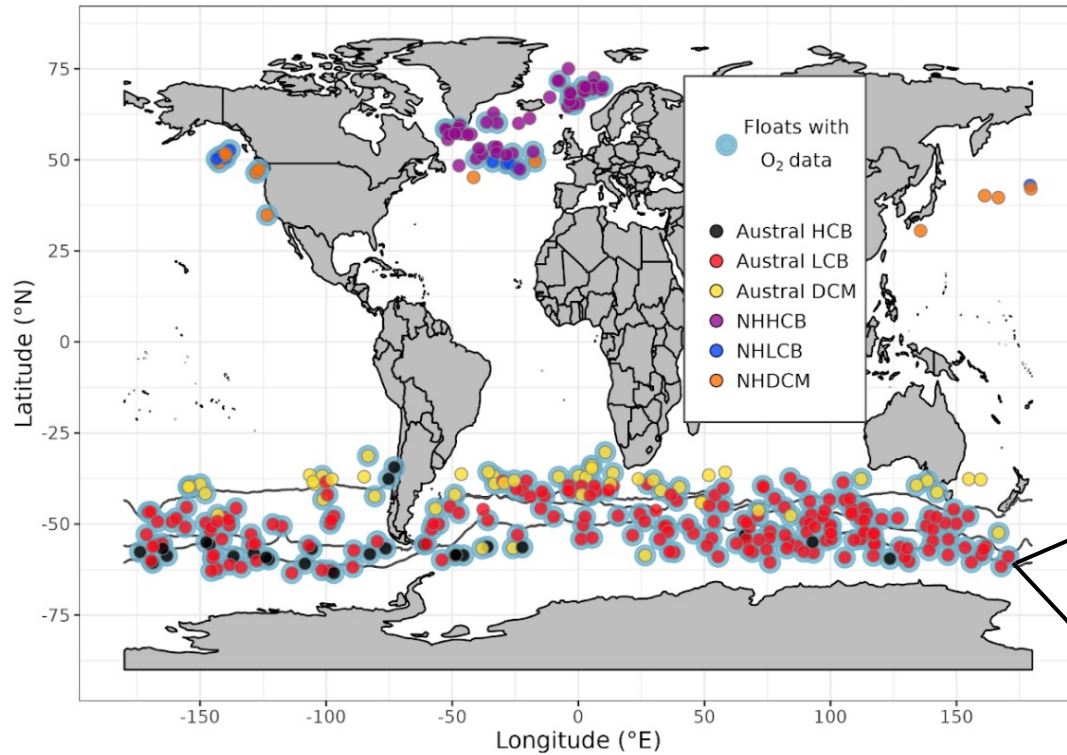
Sensor Types

Latest location of operational floats (data distributed within the last 30 days)

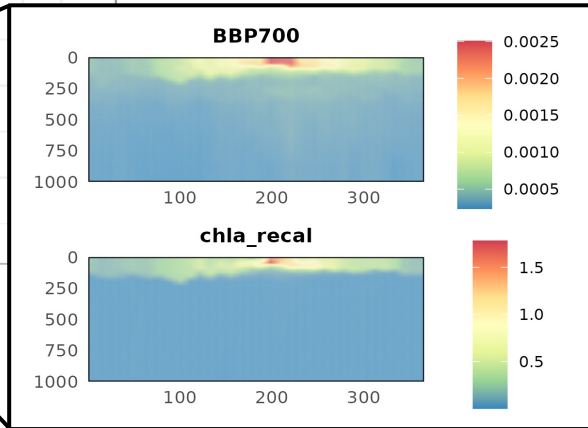
August 2023

- Operational Floats (559)
- pH (292)
- Oxygen (550)
- Suspended particles (346)
- Nitrate (278)
- Full BGC Floats (37)
- Downwelling irradiance (91)
- Chlorophyll a (346)





- Fluorescence de la *chl a* [ $chl a$ ]  
biomasse phytoplanctonique
- **Rétrodiffusion particulaire** ( $b_{bp}$ )  
charge en particules algales + non-algales (<100 $\mu$ m)

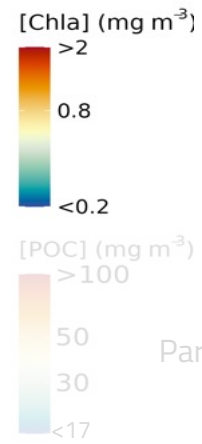
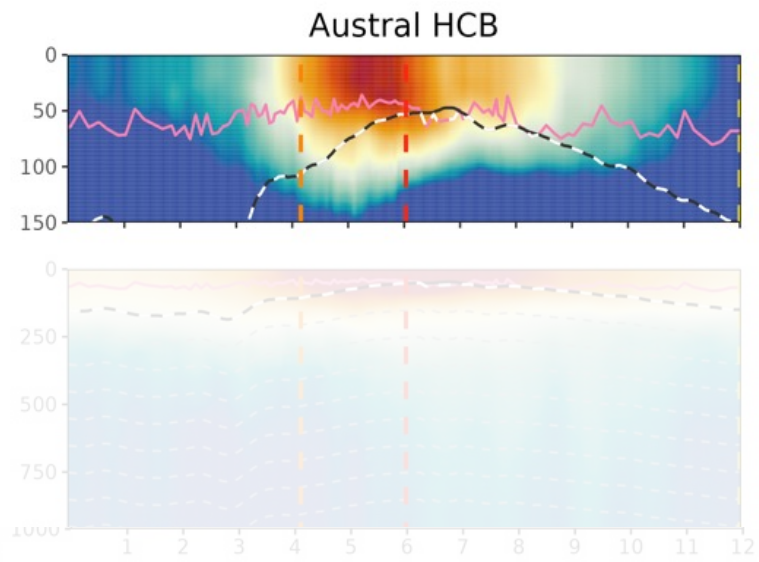


Clustering des hautes latitudes par similarité de variations verticales et temporelles de la *chl a* et du  $b_{bp}$   
(Bock *et al.*, 2022)

## 1 La pompe biologique à l'échelle annuelle :

Explorer le lien entre phénologie du bloom et export de carbone

	Initiation		MLD
	max de croissance		zone euphotique
	max de biomasse		zone productive



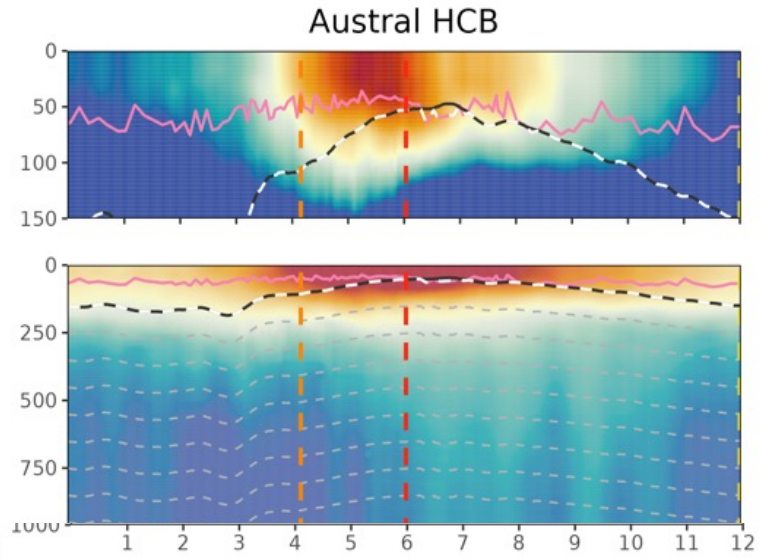
chl<sub>a</sub> → biomasse phytoplanctonique  
- bloom pendant l'été Austral

Particulate Organic Carbon (POC) → export de carbone organique dans la zone mésopélagique

**1** *La pompe biologique à l'échelle annuelle :*

Explorer le lien entre phénologie du bloom et export de carbone

	Initiation		MLD
	max de croissance		zone euphotique
	max de biomasse		zone productive

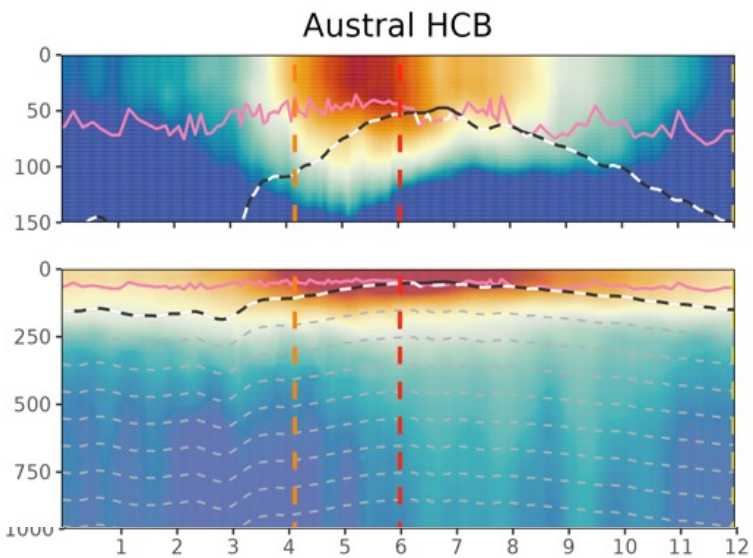


chl<sub>a</sub> → biomasse phytoplanctonique  
- bloom pendant l'été Austral

Particulate Organic Carbon (POC) → export de carbone organique dans la zone mésopélagique

**1** *La pompe biologique à l'échelle annuelle :*

Explorer le lien entre phénologie du bloom et export de carbone



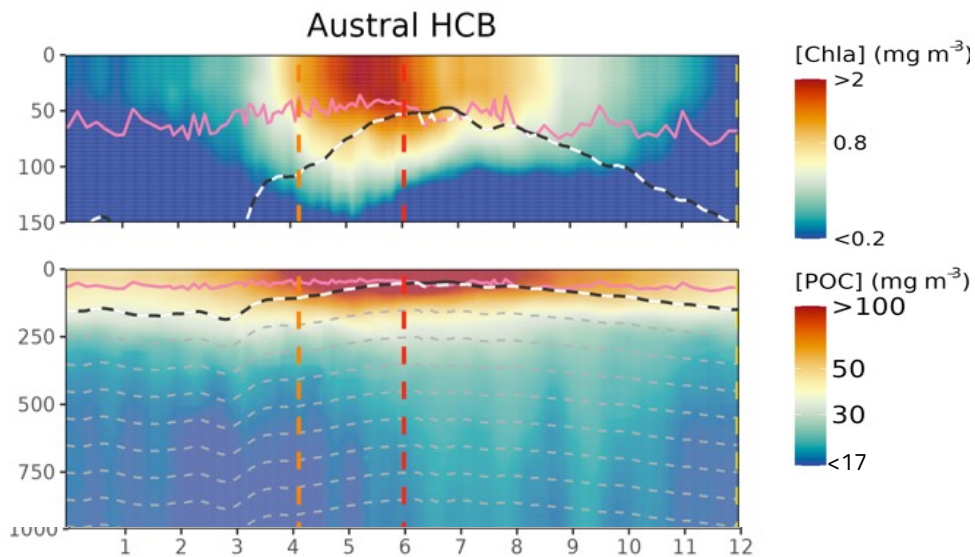
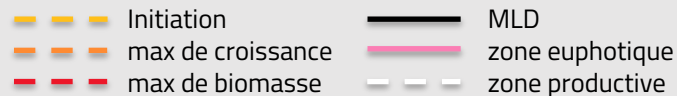
Composition du pool de particules (Rapport chl $\alpha$ :b $_{bp}$ ) → Shift de la communauté phytoplanctonique hiver/été

Particulate Organic Carbon (POC) → export de carbone organique dans la zone mésopélagique

1

## La pompe biologique à l'échelle annuelle :

Explorer le lien entre phénologie du bloom et export de carbone



Composition du pool de  
particules  
(Rapport chl $\alpha$ :b $_{bp}$ )



Shift de la communauté  
phytoplanctonique hiver/été

Quantification des flux  
annuels de carbone  
organique



**Intensité élevée et  
transfert faible**

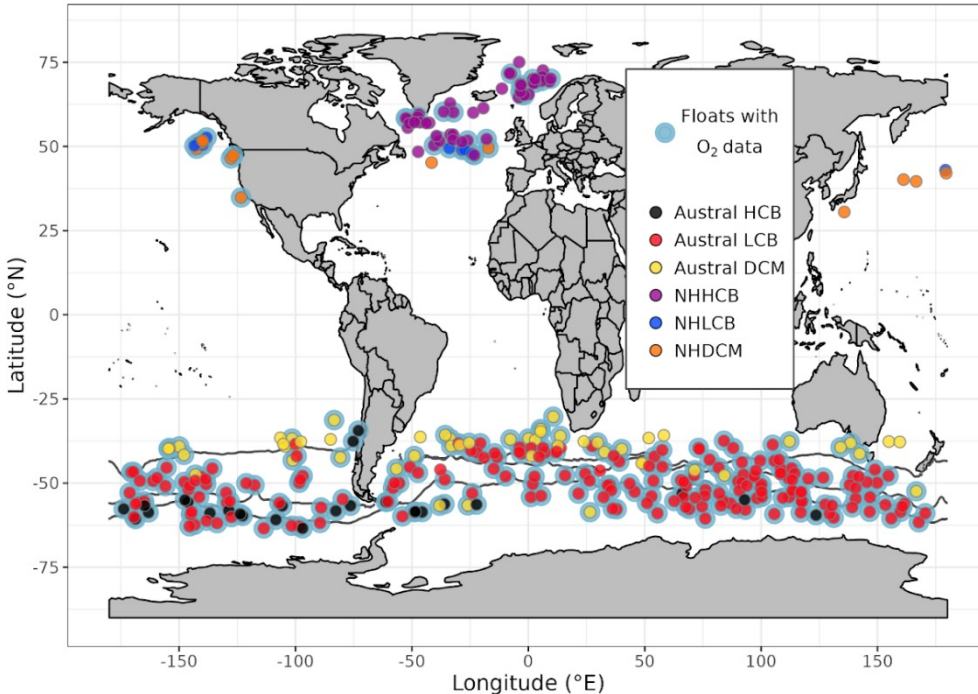


## 1 La pompe biologique à l'échelle annuelle :

Explorer le lien entre phénologie du bloom et export de carbone

3 régimes généraux :

- High intensity / Low efficiency
- Low intensity / Low efficiency
- Low intensity / High efficiency



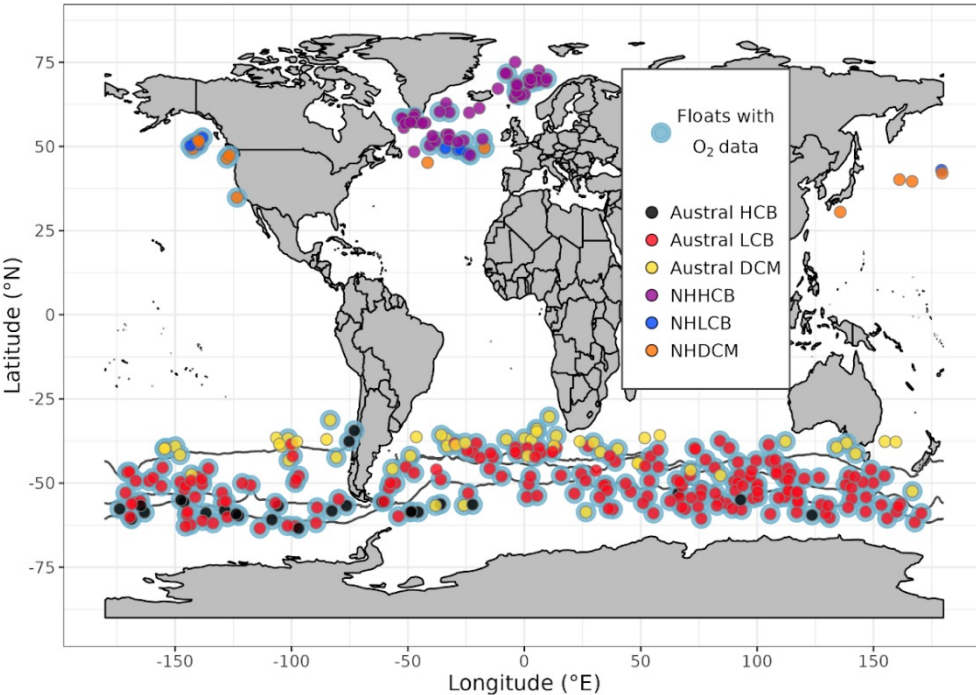
Biorégion	Intensité	Efficacité	Régime de bloom	Composition des particules
<b>Austral HCB</b>	High	Low	Bloom estival ++	Shift -pico/nano vers micro-phytoplankton
<b>Austral LCB</b>	High	Low	Bloom estival +	Shift -pico/nano vers micro-phytoplankton
<b>Austral DCM</b>	Low	Low	DCM	-pico, nano-phytoplankton, non-algal
<b>NHHCB</b>	High	Low	Bloom estival ++	Shift -pico/nano vers micro-phytoplankton
<b>NHLCB</b>	Low	High	DCM	Shift? Photoadaptation?
<b>NHDCM</b>	Low	High	DCM	Shift? Photoadaptation?

**1** La pompe biologique à l'échelle annuelle :

Explorer le lien entre phénologie du bloom et export de carbone

3 régimes généraux :

- High intensity / Low efficiency
- Low intensity / Low efficiency
- Low intensity / High efficiency



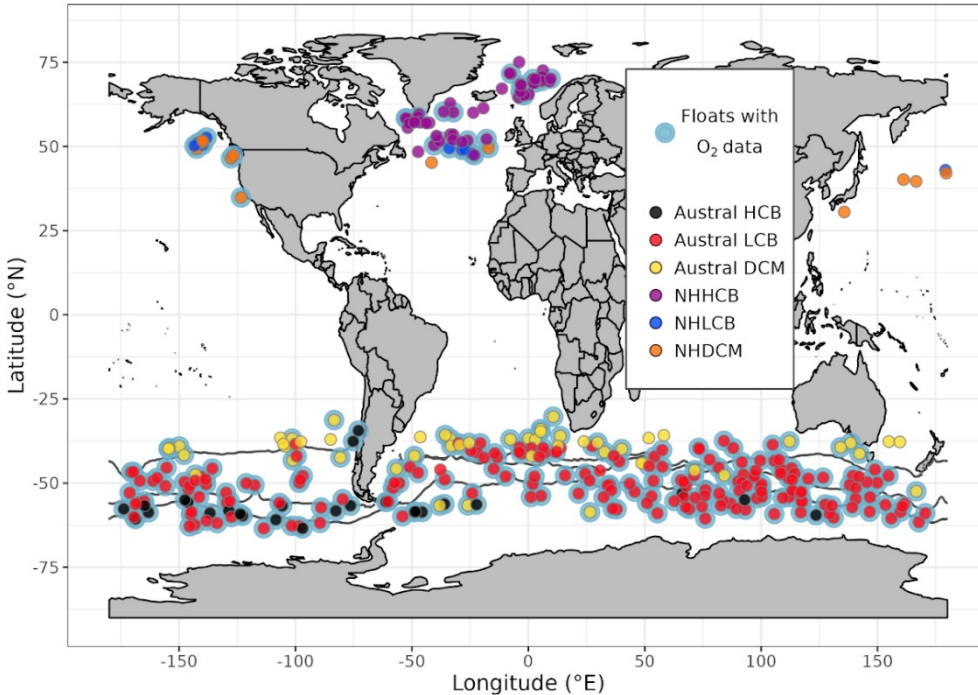
Biorégion	Intensité	Efficacité	Régime de bloom	Composition des particules
<b>Austral HCB</b>	High	Low	Bloom estival ++	Shift -pico/nano vers micro-phytoplankton
<b>Austral LCB</b>	High	Low	Bloom estival +	Shift -pico/nano vers micro-phytoplankton
<b>Austral DCM</b>	Low	Low	DCM	-pico, nano-phytoplankton, non-algal
<b>NHHCB</b>	High	Low	Bloom estival ++	Shift -pico/nano vers micro-phytoplankton
<b>NHLCB</b>	Low	High	DCM	Shift? Photoadaptation?
<b>NHDCM</b>	Low	High	DCM	Shift? Photoadaptation?

## 1 La pompe biologique à l'échelle annuelle :

Explorer le lien entre phénologie du bloom et export de carbone

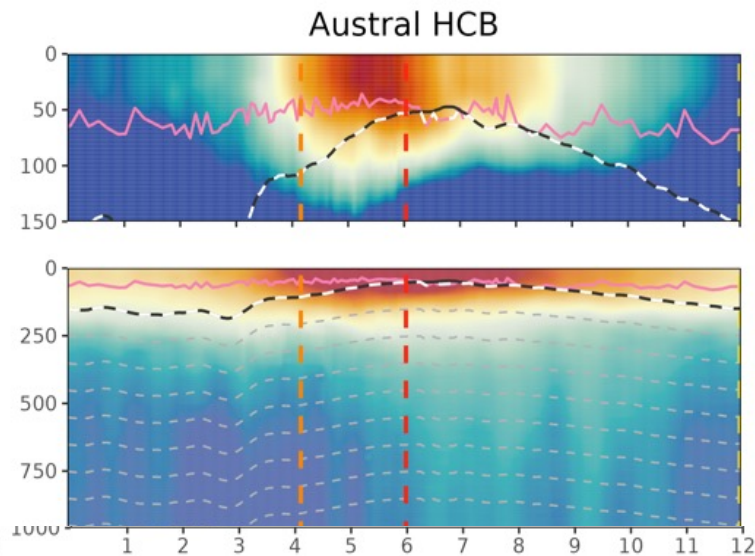
3 régimes généraux :

- High intensity / Low efficiency
- Low intensity / Low efficiency
- Low intensity / High efficiency



Biorégion	Intensité	Efficacité	Régime de bloom	Composition des particules
<b>Austral HCB</b>	High	Low	Bloom estival ++	Shift -pico/nano vers micro-phytoplankton
<b>Austral LCB</b>	High	Low	Bloom estival +	Shift -pico/nano vers micro-phytoplankton
<b>Austral DCM</b>	Low	Low	DCM	-pico, nano-phytoplankton, non-algal
<b>NHHCB</b>	High	Low	Bloom estival ++	Shift -pico/nano vers micro-phytoplankton
<b>NHLCB</b>	Low	High	DCM	Shift? Photoadaptation?
<b>NHDCM</b>	Low	High	DCM	Shift? Photoadaptation?

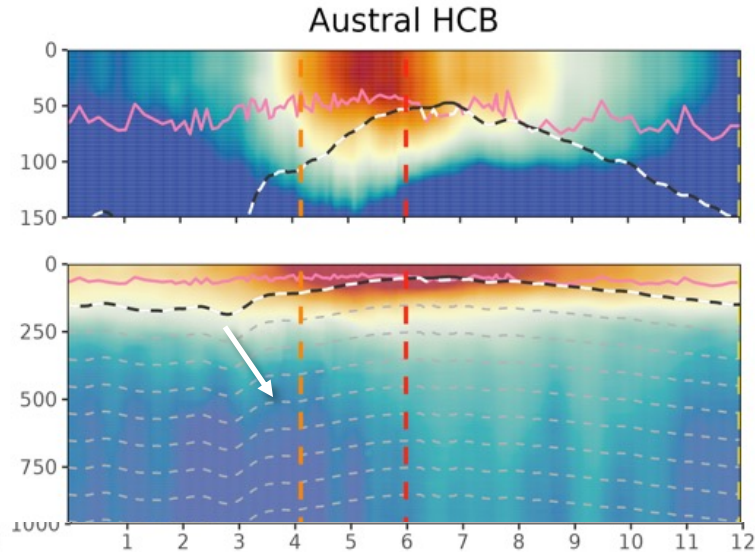
## 2 Saisonnalité de la pompe biologique à carbone :



chl $a$  → biomasse phytoplanctonique  
 - bloom pendant l'été Austral

POC → export POC dans la zone mésopélagique

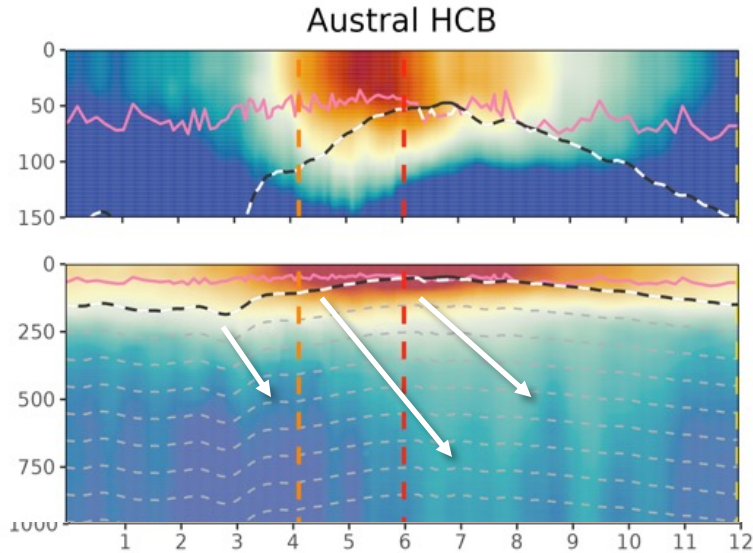
## 2 Saisonnalité de la pompe biologique à carbone :



chl*a* → biomasse phytoplanctonique  
 - bloom pendant l'été Austral

POC → export POC dans la zone mésopélagique  
 - export par la « mixed layer pump »

## 2 Saisonnalité de la pompe biologique à carbone :

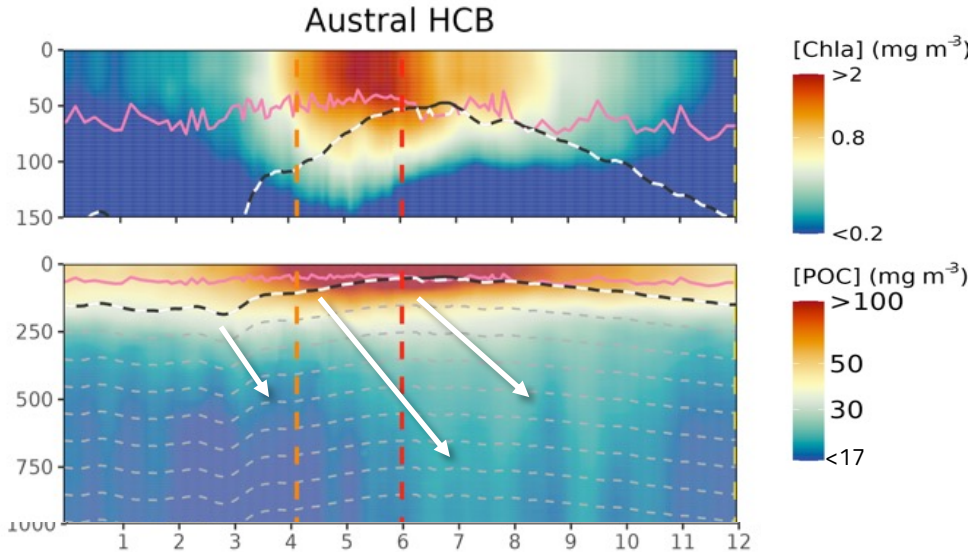


chl*a* → biomasse phytoplanctonique  
 - bloom pendant l'été Austral

POC → export POC dans la zone mésopélagique  
 - export par la « mixed layer pump »  
 - export suite au bloom



## 2 Saisonnalité de la pompe biologique à carbone :



chl<sub>a</sub> → biomasse phytoplanctonique  
- bloom pendant l'été Austral

POC → export POC dans la zone mésopélagique  
- export par la « mixed layer pump »  
- export suite au bloom

Export **moins intense**  
Flux **mieux transféré**

Export **plus intense**  
Flux **moins bien transféré**

Particules labiles arrivent plus profond    Particules labiles arrivent moins profond

En faveur de processus d'atténuation du flux de carbone organique différents selon le mécanisme d'export

- ✓ Quantifier des **flux de carbone annuels** à l'échelle de **biorégions**
- ✓ Montrer le lien entre **phénologie** des blooms et **export de POC**
- ✓ Mettre en évidence des **variations saisonnières** de l'export et du transfert du carbone organique
  - ↳ Des **processus** complexes **impactent l'atténuation du flux de POC** dans la zone mésopélagique de manière saisonnière

- ✓ Quantifier des **flux de carbone annuels** à l'échelle de **biorégions**
- ✓ Montrer le lien entre **phénologie** des blooms et **export de POC**
- ✓ Mettre en évidence des **variations saisonnières** de l'export et du transfert du carbone organique
  - ↳ Des **processus** complexes **impactent l'atténuation du flux de POC** dans la zone mésopélagique

- ✓ Quantifier des **flux de carbone annuels** à l'échelle de **biorégions**
- ✓ Montrer le lien entre **phénologie** des blooms et **export de POC**
- ✓ Mettre en évidence des **variations saisonnières** de l'export et du transfert du carbone organique
  - ↳ Des **processus** complexes **impactent l'atténuation du flux de POC** dans la zone mésopélagique

### *La suite ?*

Etudier les processus à l'origine de l'atténuation de ce carbone organique

**Lesquels ?** Fragmentation des particules, migration saisonnière du zooplancton

**Comment ?** UVP6

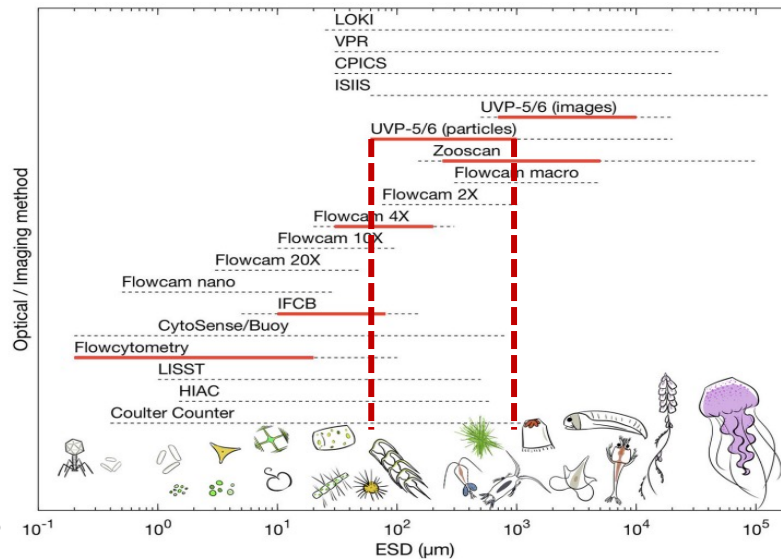
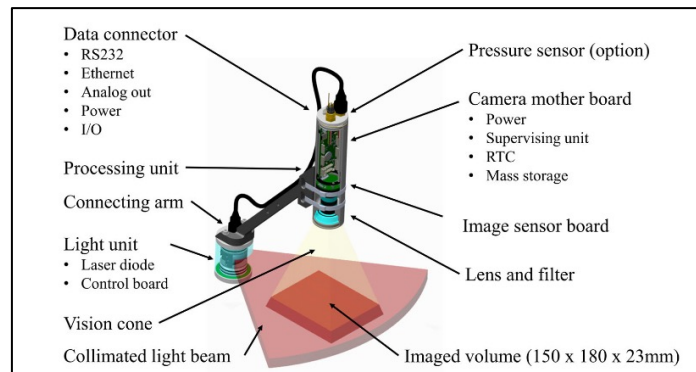
Picheral et al., 2022



Spectre de tailles de particules  
entre ~100µm et 2,5mm

+

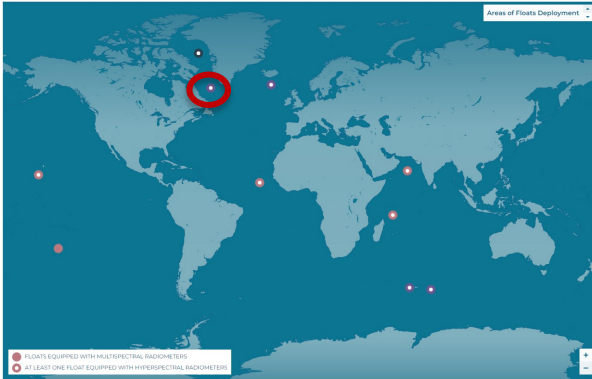
Algorithme de reconnaissance embarqué  
19 classes de zooplancton  
(> 645 µm)



Lombard et al., 2019

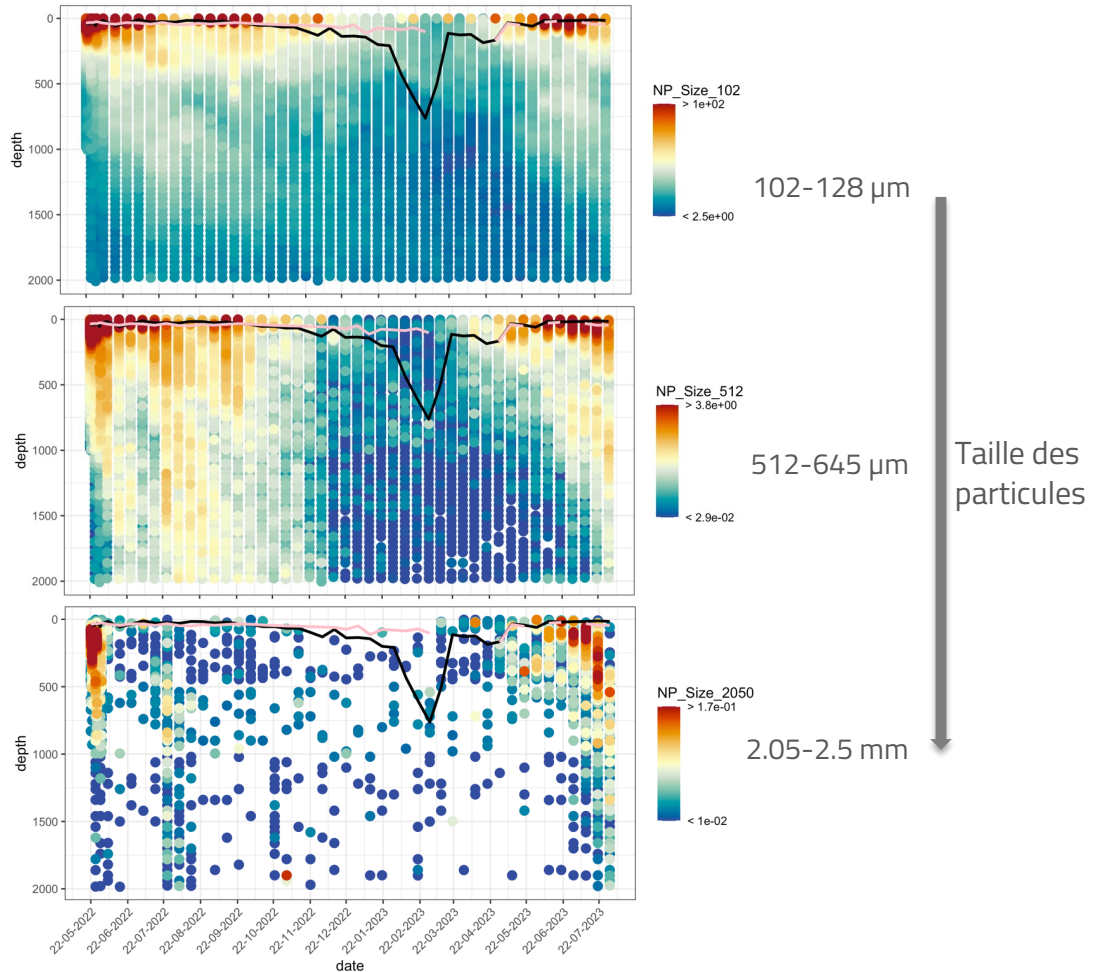
## Spectre de tailles de particules entre $\sim 100\mu\text{m}$ et $2,5\text{mm}$

### Mer du Labrador (mai 2022)



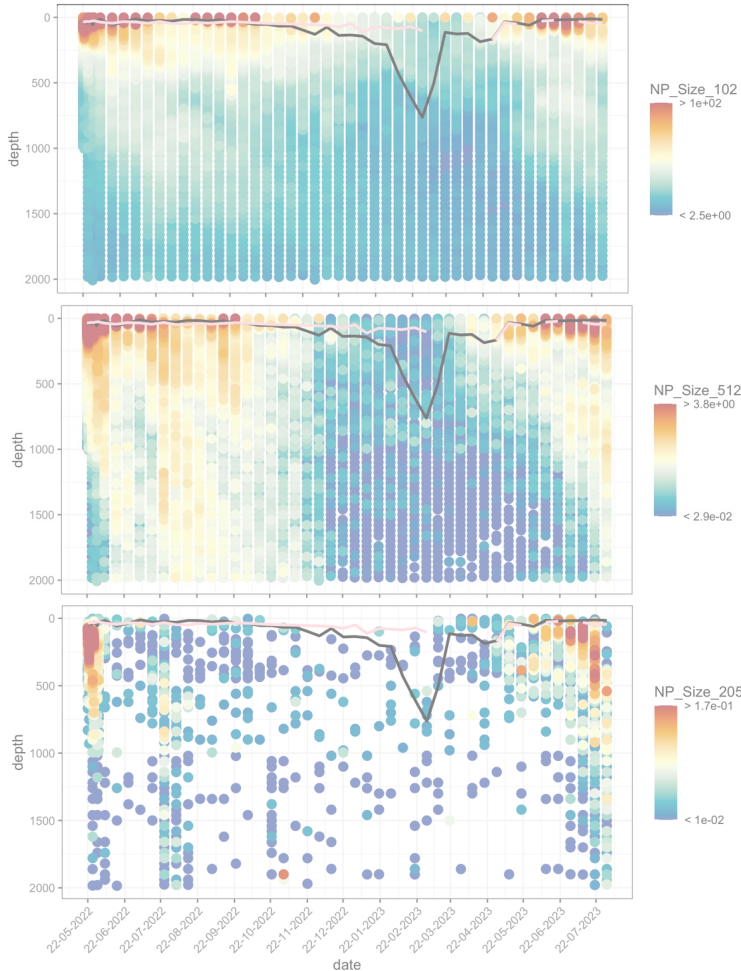
Dynamique saisonnière :

- Bloom au printemps/été
- Colonne d'eau se « vide » en automne/hiver





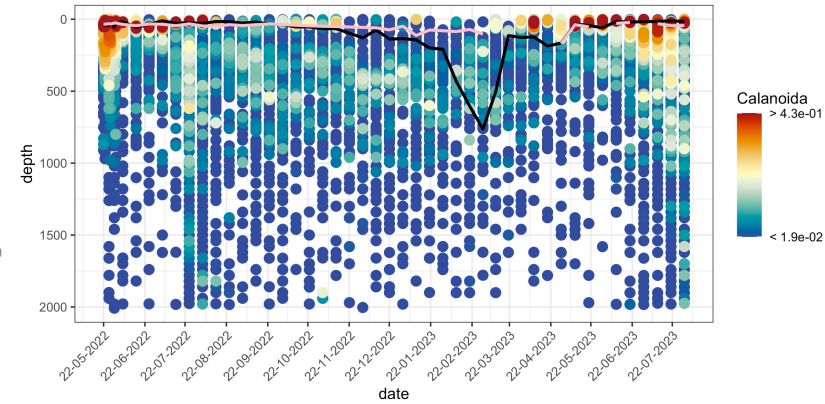
Spectre de tailles de particules entre ~100µm et 2,5mm



Algorithme de reconnaissance embarqué  
19 classes de zooplancton (> 645 µm)

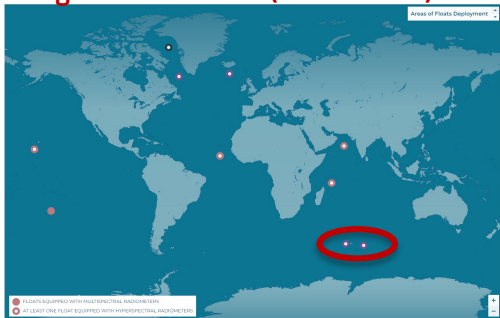


Copépodes



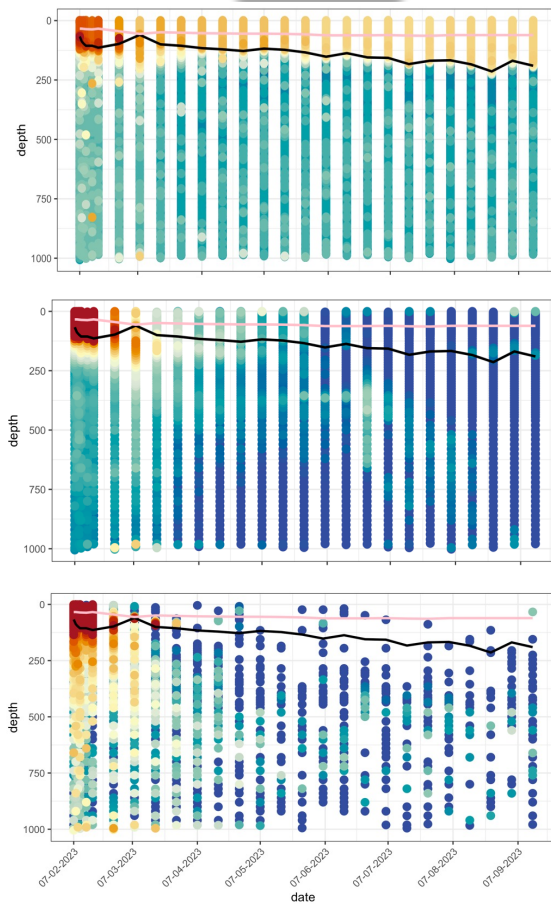
Migrations saisonnières du zooplancton

## Kerguelen Est/Ouest (février 2023)

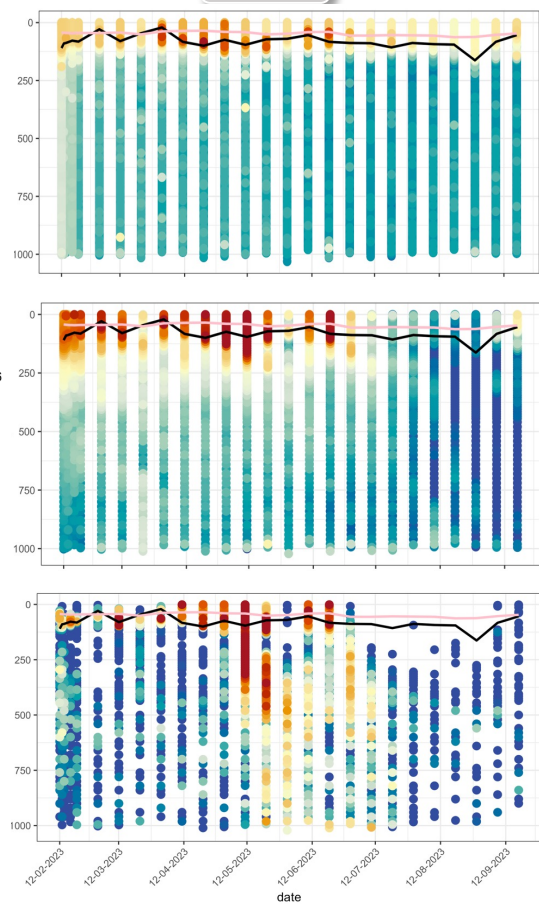


Déployés à quelques jours d'intervalle  
(7/02 – 12/02)  
Régimes contrastés Est vs Ouest

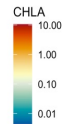
### Ouest



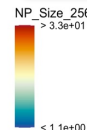
### Est



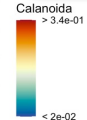
chla



256  $\mu\text{m}$



ZOO



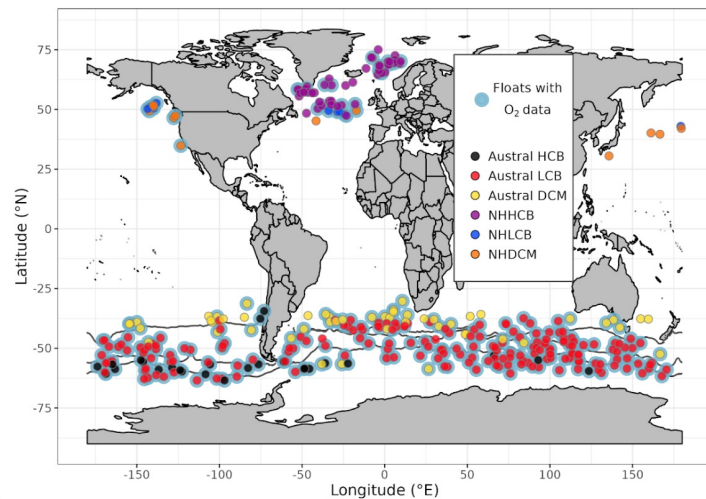
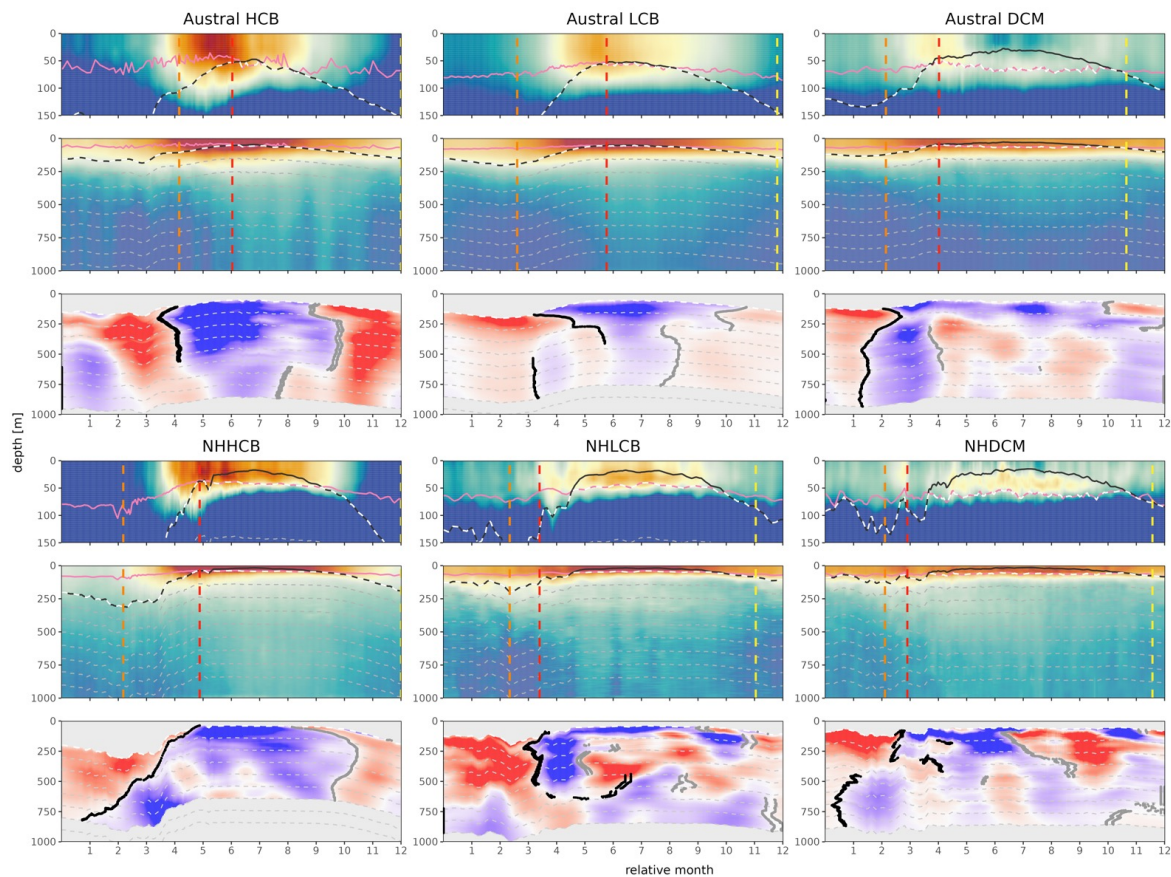
# MERCI ! DES QUESTIONS ?



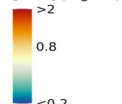
*Nombre de séries temporelles*

High latitudes					
335					
southern high latitudes			northern high latitudes		
265			70		
Austral HCB	Austral LCB	Austral DCM	NHHCB	NHLCB	NH DCM
26	187	52	48	9	13

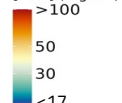
## Toutes les biorégions :



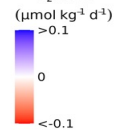
[Chla] ( $\text{mg m}^{-3}$ )



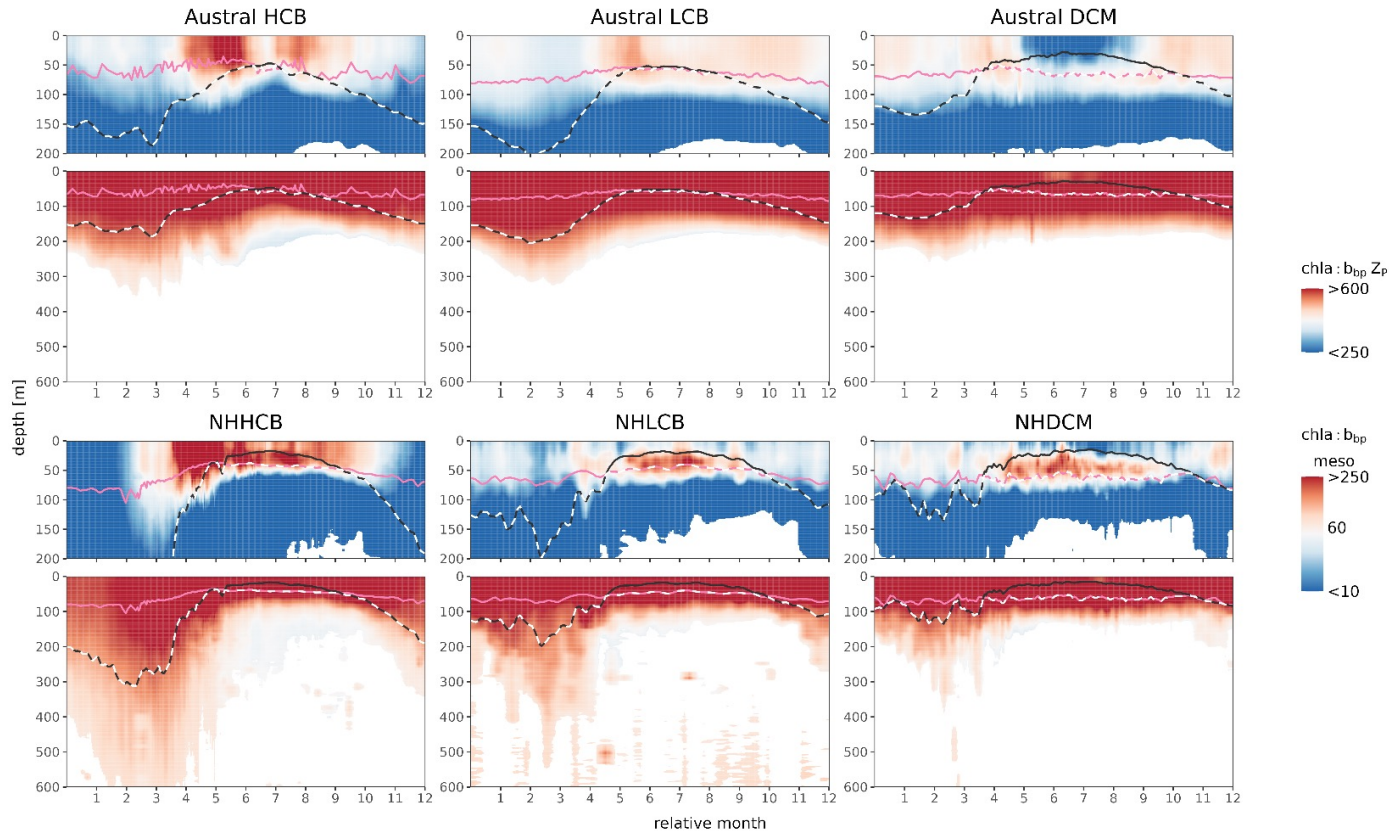
[POC] ( $\text{mg m}^{-3}$ )



O<sub>2</sub> rates ( $\mu\text{mol kg}^{-1} \text{d}^{-1}$ )

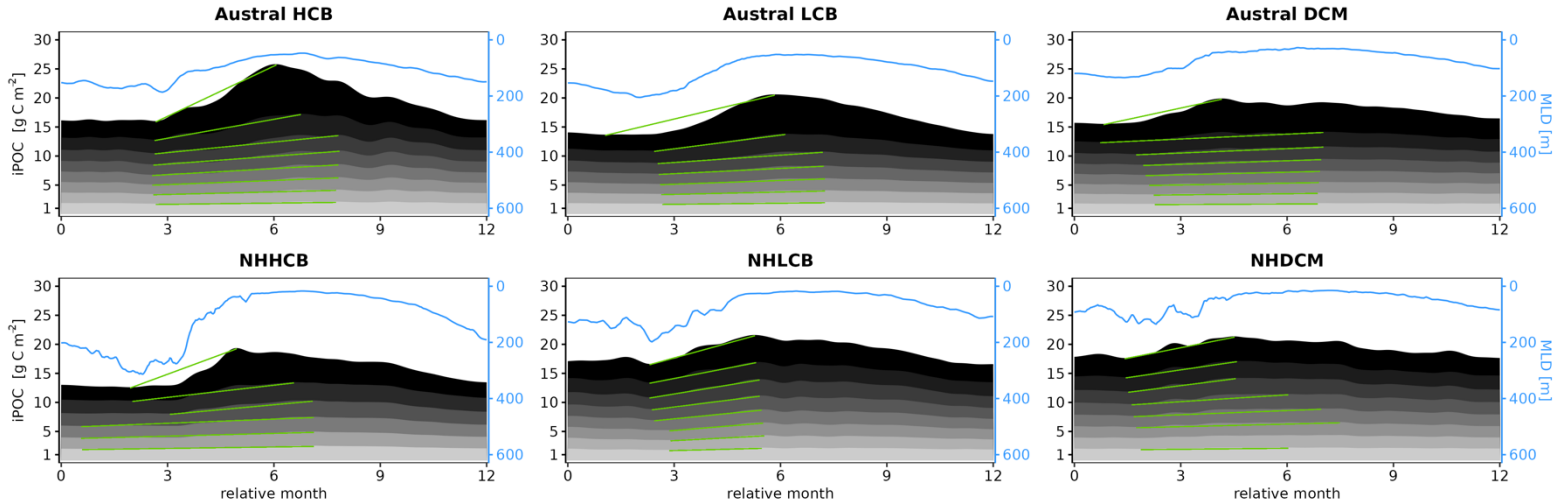






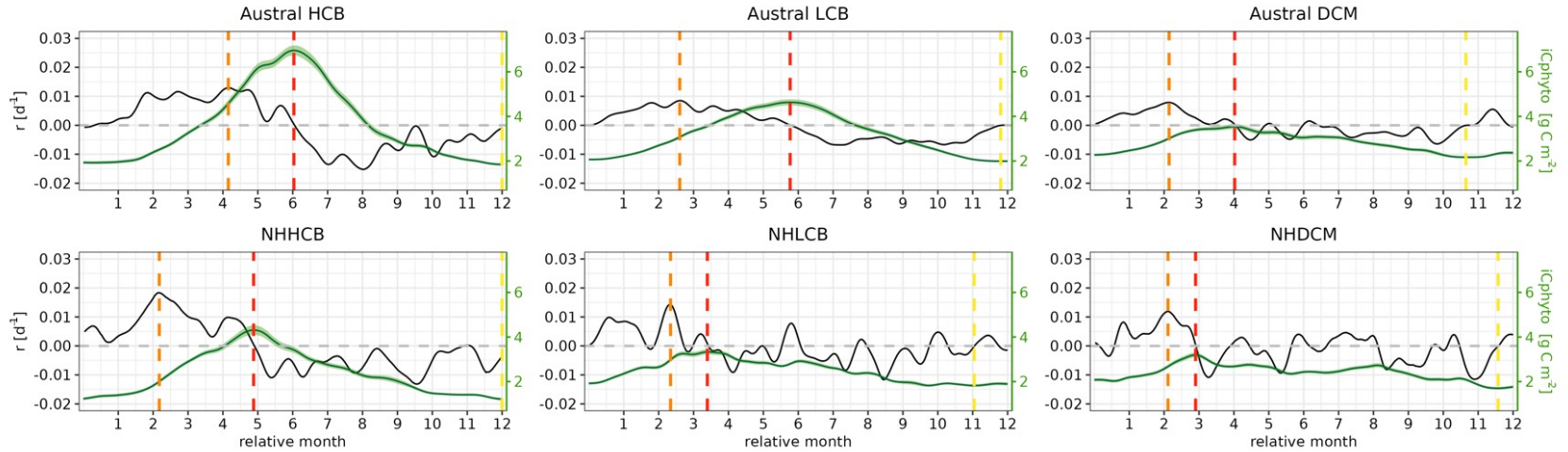
**Time series of  $chl a : b_{bp}$  ratio.** Two different ranges of values are shown for surface and mesopelagic values. A mask is applied on data based on 90<sup>th</sup> percentile of  $[chl a]$  values from 500m to 1000m within the 3 southern bioregions, below which  $chl a$  values are considered too low for the ratio to be interpreted.





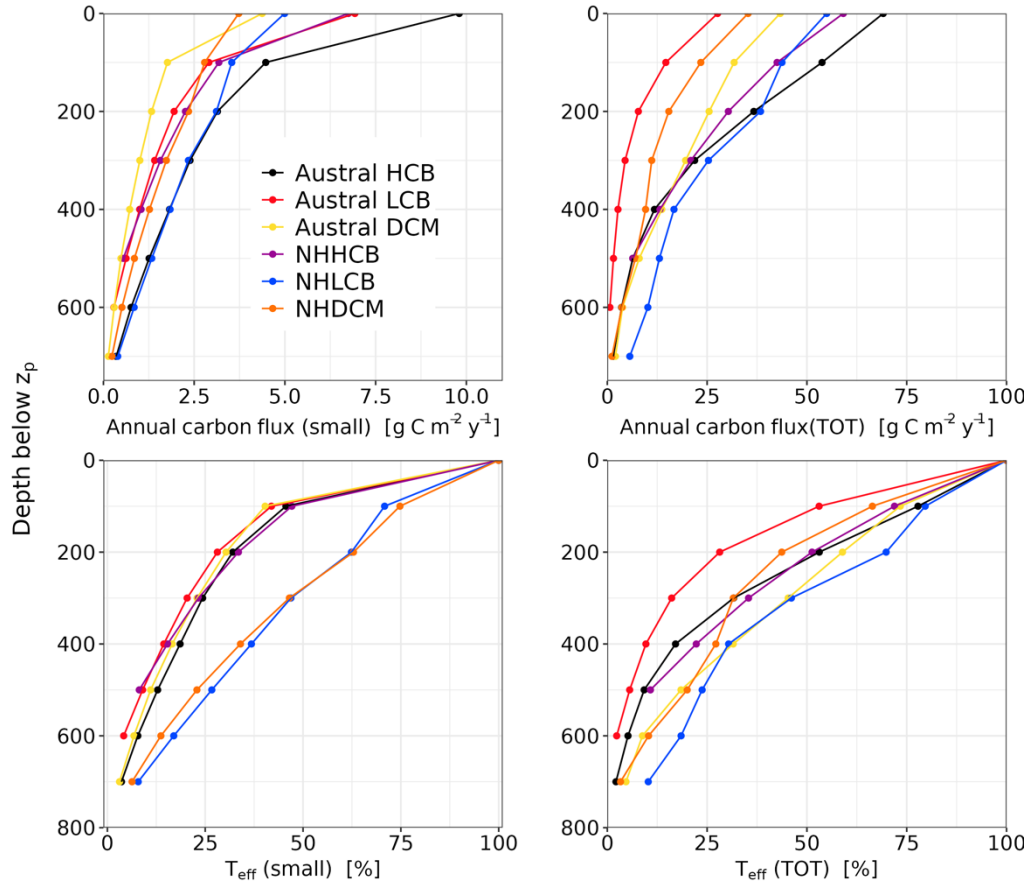
### Time series of integrated POC stocks (iPOC).

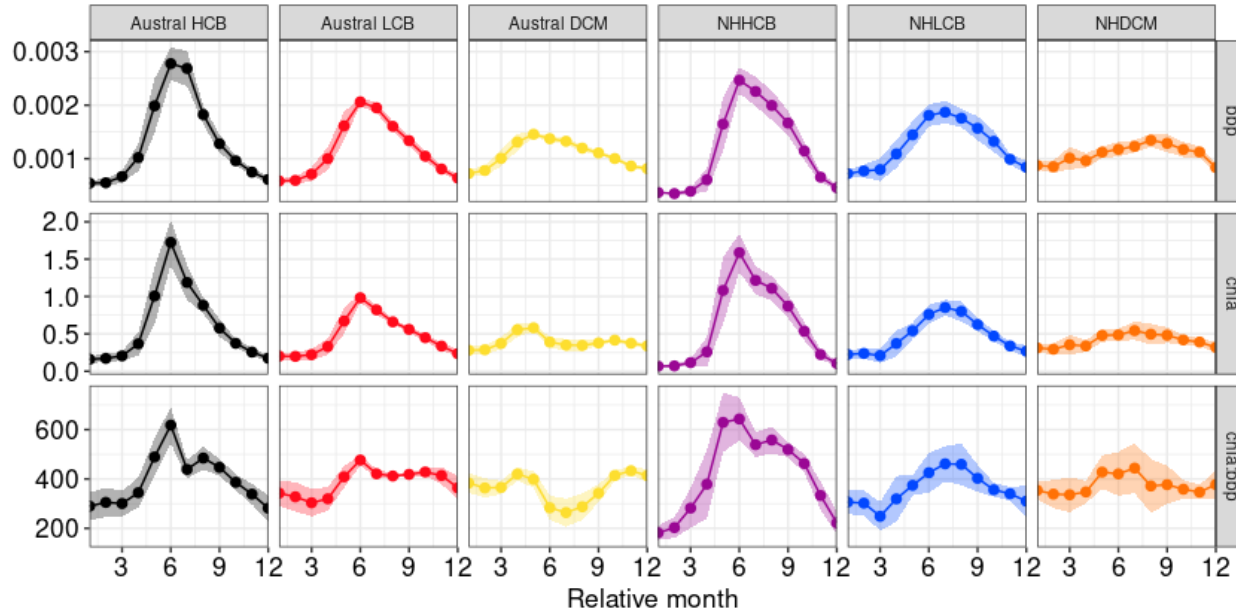
Black areas show  $iPOC_{z_p}^{zref}$ . Lighter areas show progressively deeper layer  $iPOC_{z_{p+100}}^{zref}$  until  $iPOC_{z_{ref}-100}^{zref}$ . Blue solid lines show  $z_{MLD}$ . Green segments show seasonal net accumulation of iPOC within each layer going from minimum annual iPOC to maximum annual iPOC. Carbon fluxes are derived from the slopes of these segments.



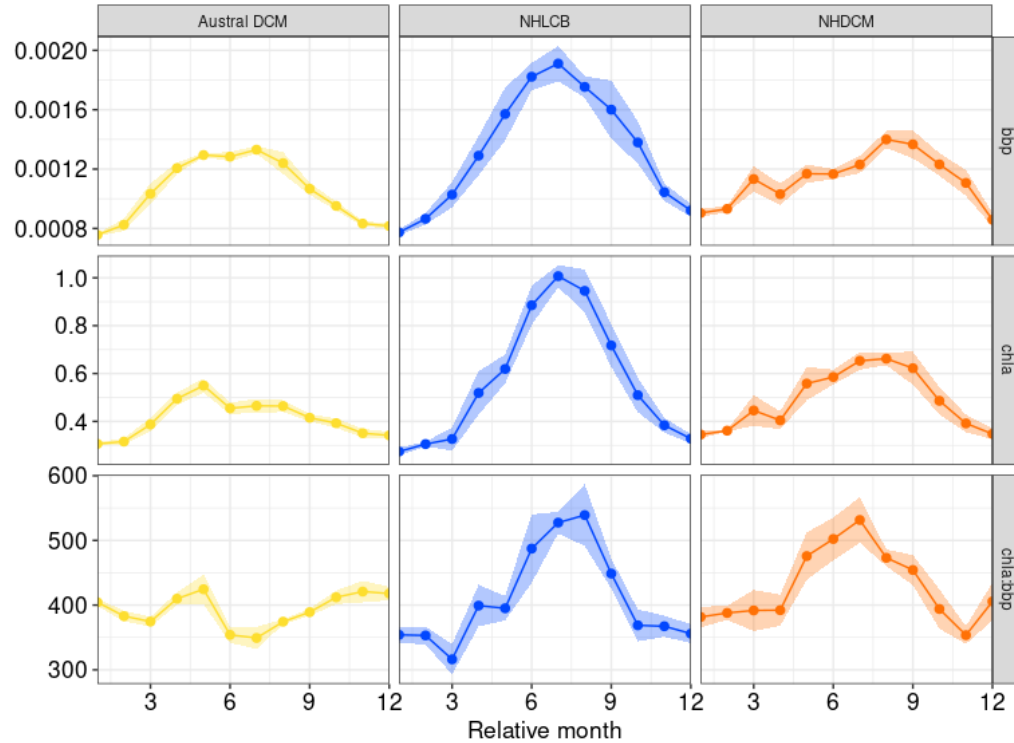
### Time series of bulk $C_{\text{phyto}}$ masked with the $[chl a]$ threshold.

Green solid lines show bulk  $C_{\text{phyto}}$  smoothed with a 30-day window. Black solid lines show accumulation rates ( $r$ ). Vertical dashed lines show bloom timings (i.e., onset in yellow, climax in orange, apex in red).





**Monthly climatology within the productive zone for chla in  $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ,  $b_{bp}$  in  $\text{m}^{-1}$ , chla: $b_{bp}$  in  $\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}$**

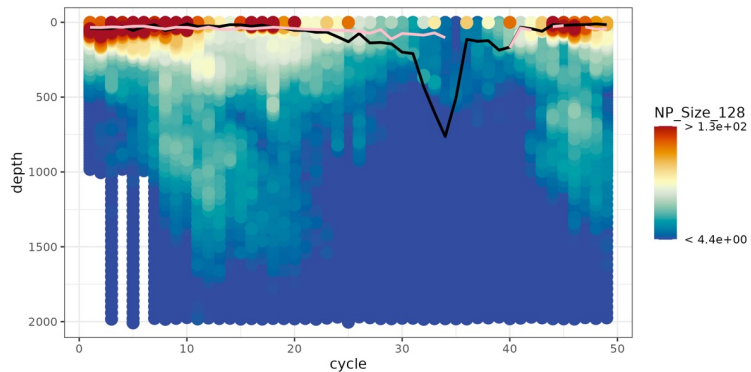


### Monthly climatology at the DCM depth

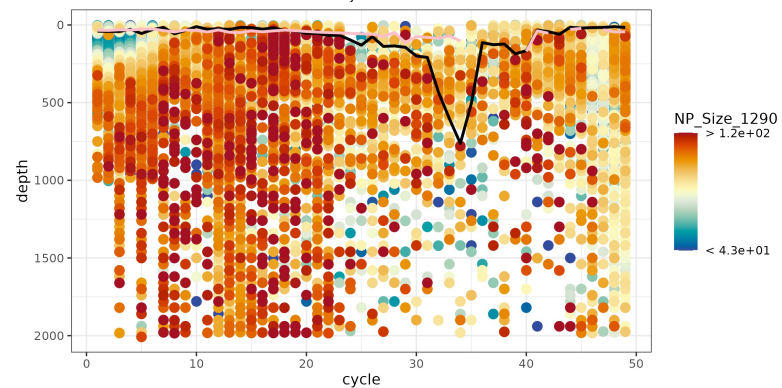
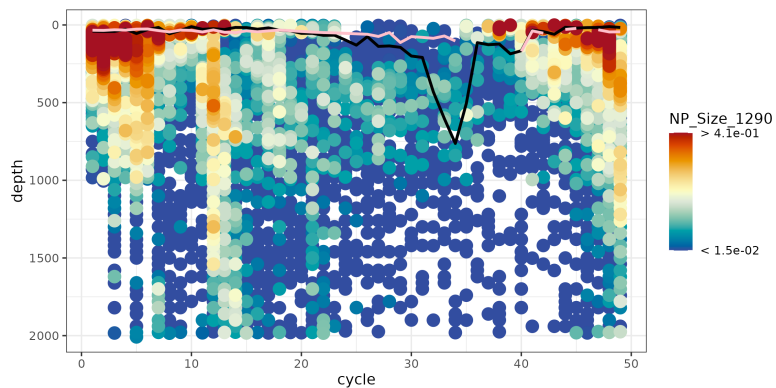
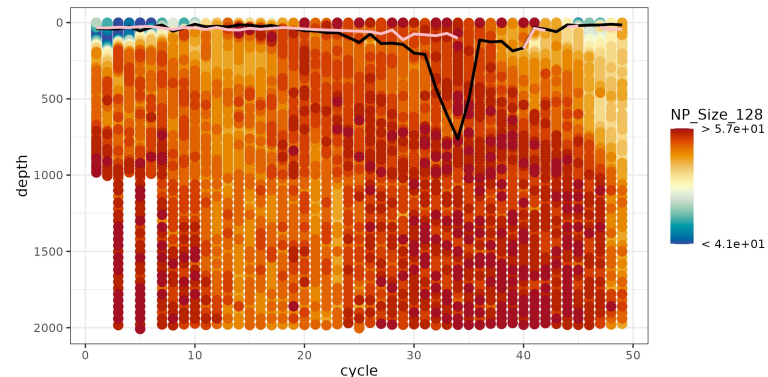
(60m in Austral DCM, 30m in NHLCB, 40m In NHDCM) for chla in  $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ,  $b_{bp}$  in  $\text{m}^{-1}$ ,  $\text{chla}:b_{bp}$  in  $\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}$

## Spectre de particules :

Abondance de particules



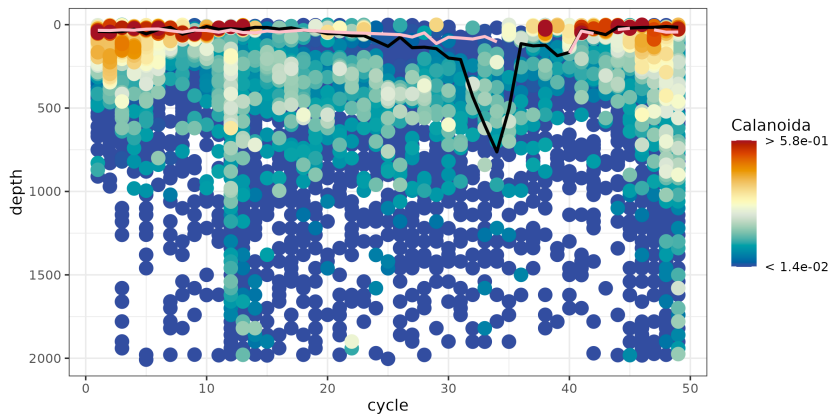
Niveau de gris



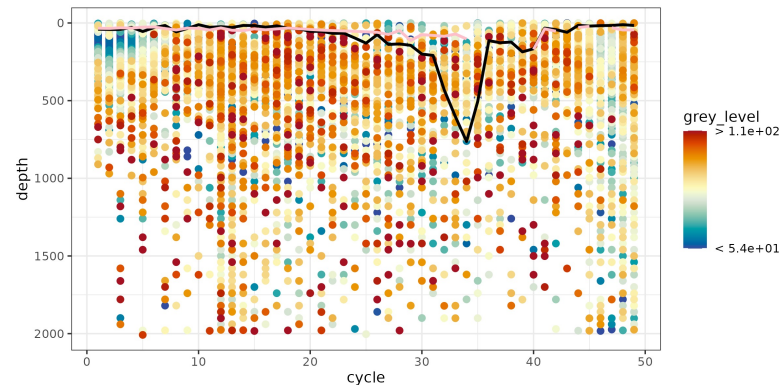


Algorithme embarqué :

Abondance de zooplancton (copépodes)



Niveau de gris moyen



Taille moyenne

