

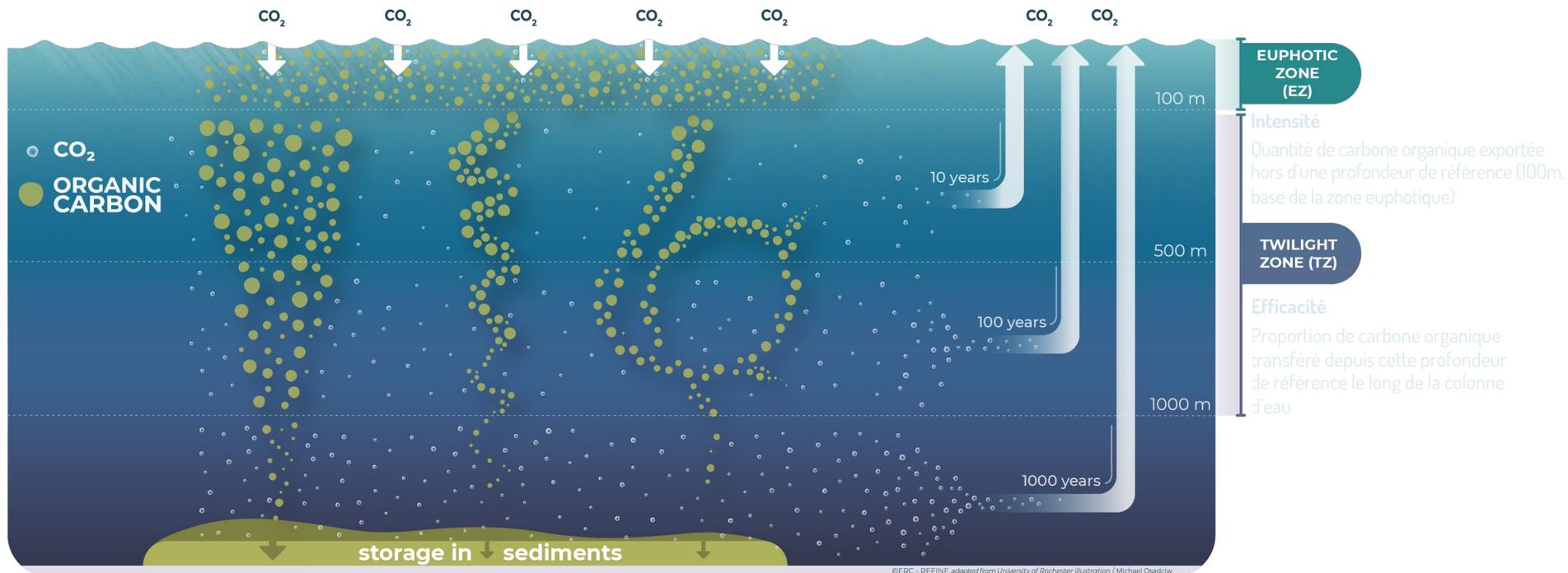
Elsa SIMON
doctorante 1^{ère} année
LOV, SU
elsa.simon@imev-mer.fr

Superviseurs :
Laurent COPPOLA
Hervé CLAUSTRE
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

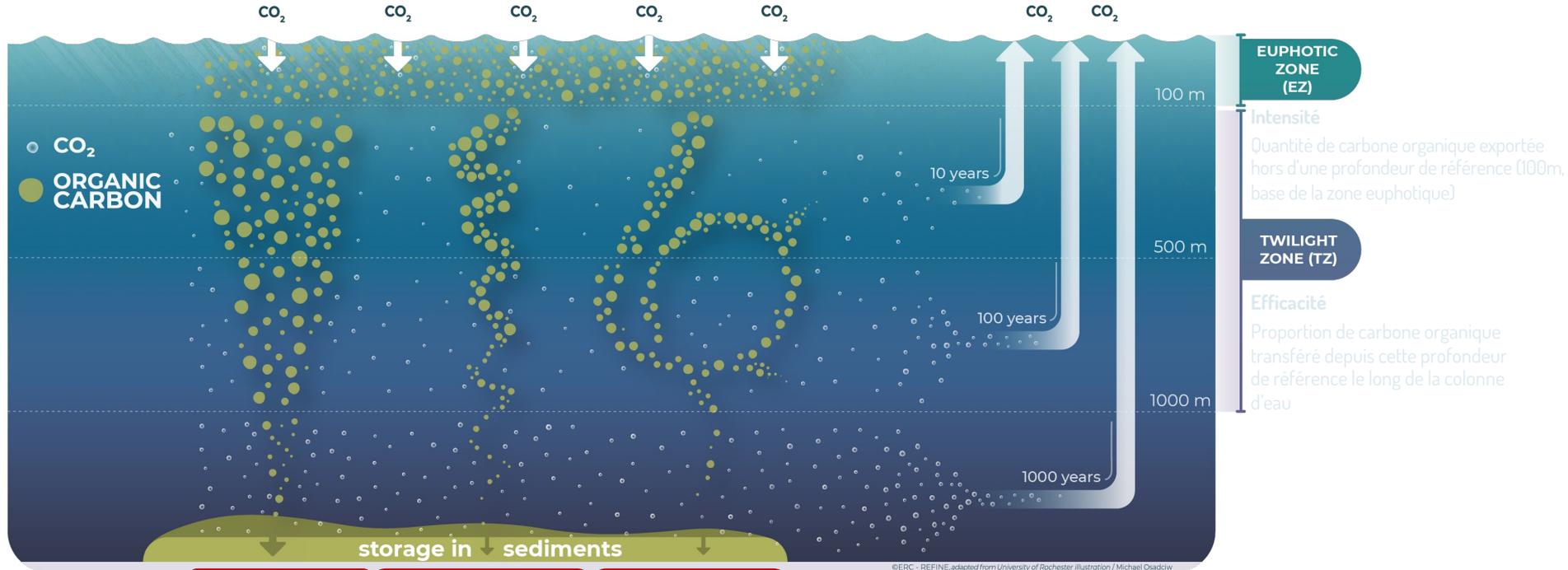
- Seasonal Migration Pump
- Diel Migration Pump

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

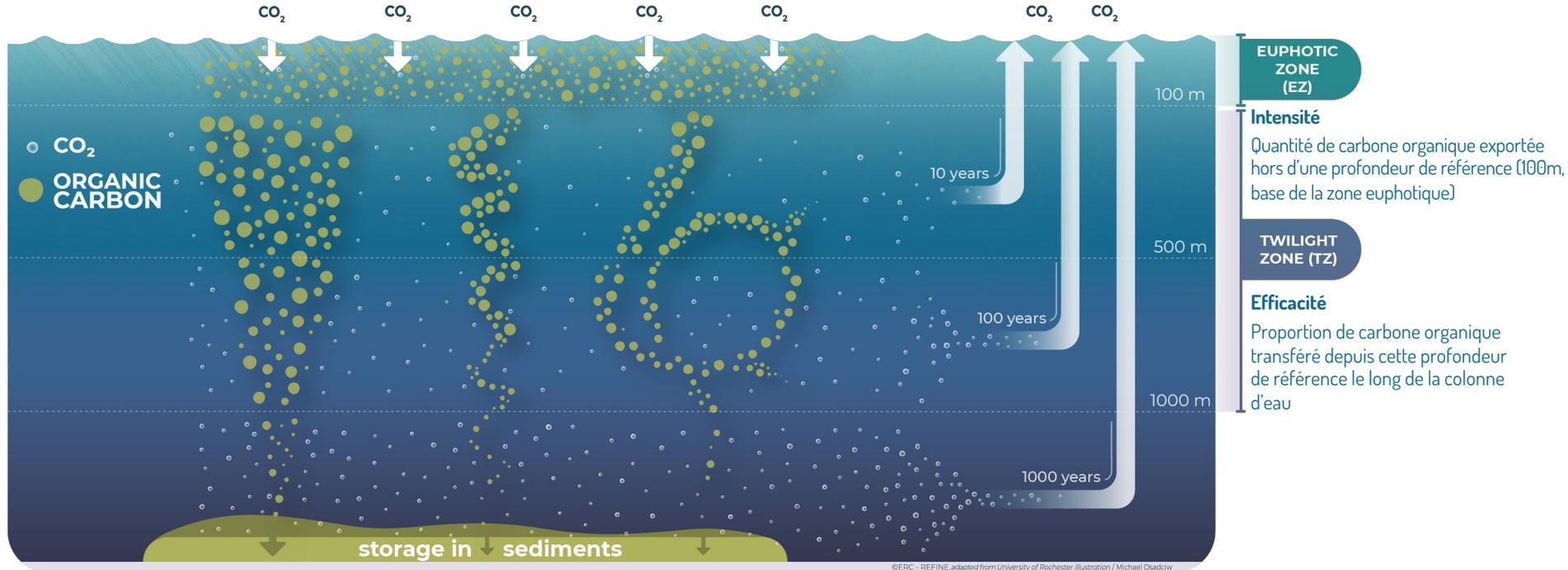
- Seasonal Migration Pump
- Diel Migration Pump

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

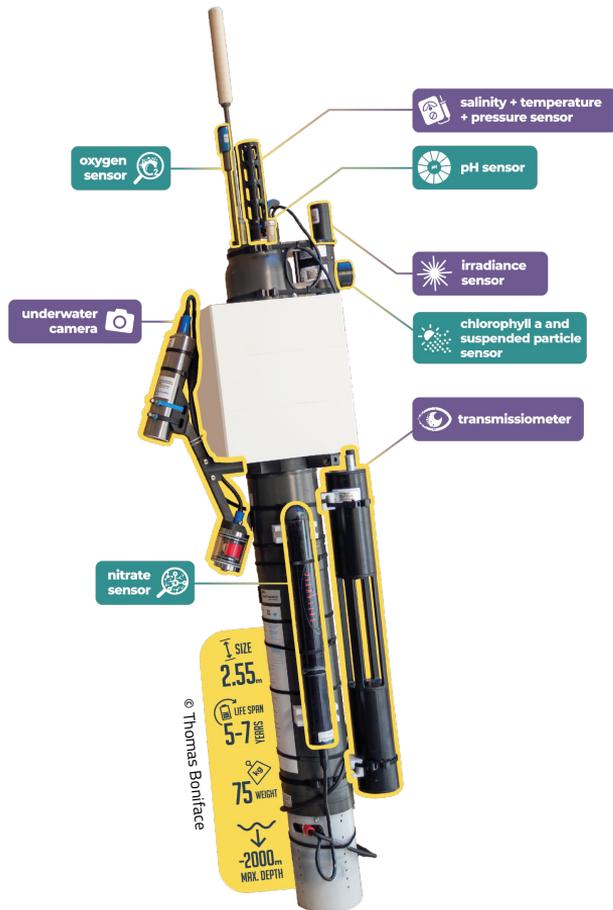
biologically-mediated Pumps

- Seasonal Migration Pump
- Diel Migration Pump

physically-mediated Pumps

- Mixed Layer Pump
- Eddy Subduction Pump

Participe à la **régulation du climat**



Biogeochemical Argo

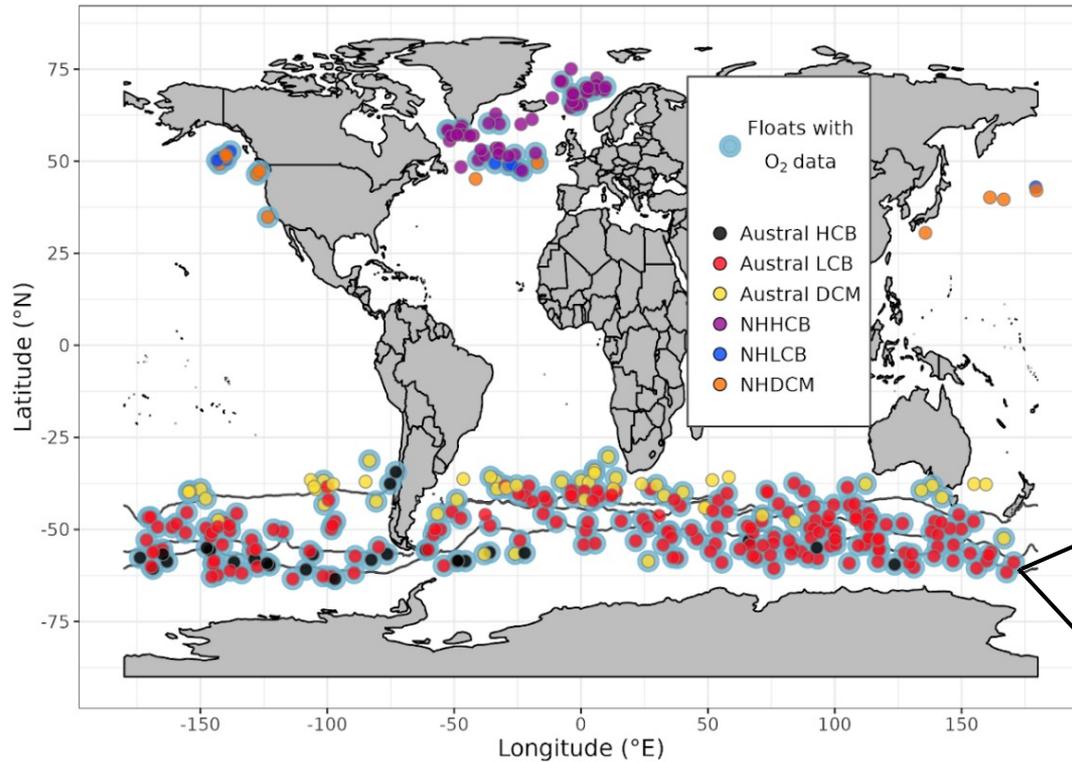
Sensor Types

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

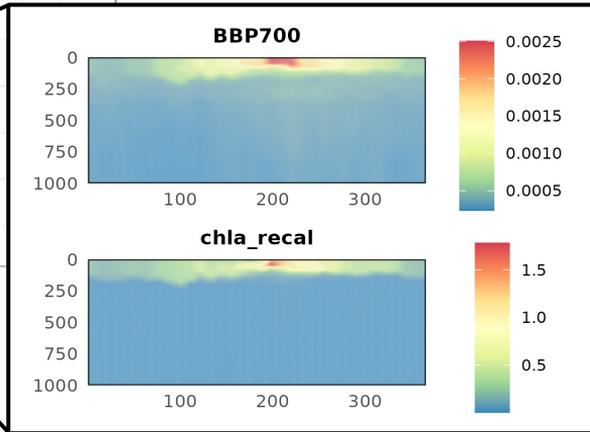
August 2023

- 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 (<100µm)

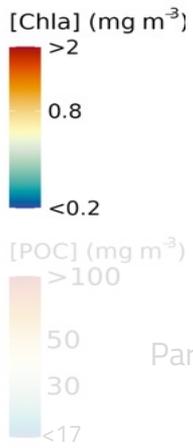
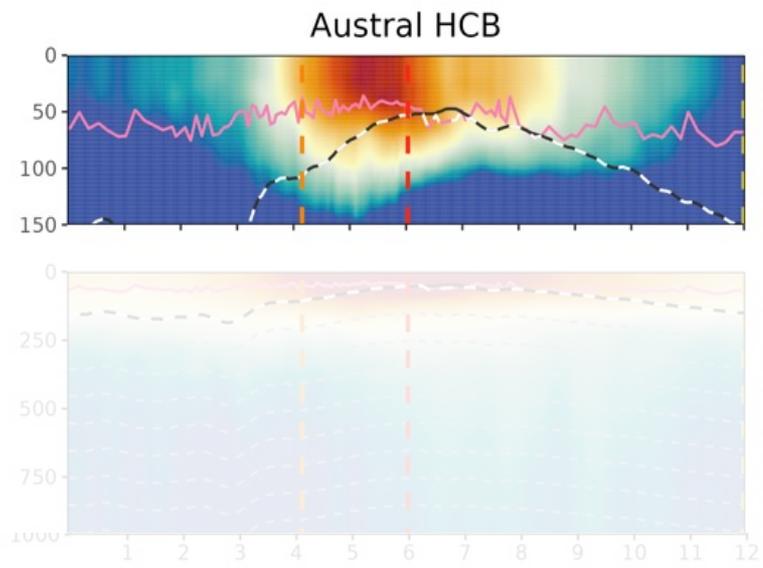


Clustering des **hautes latitudes** par similarité de variations verticales et temporelles de la **chl a** et du **b_{bp}**
 (Bock *et al.*, 2022)

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



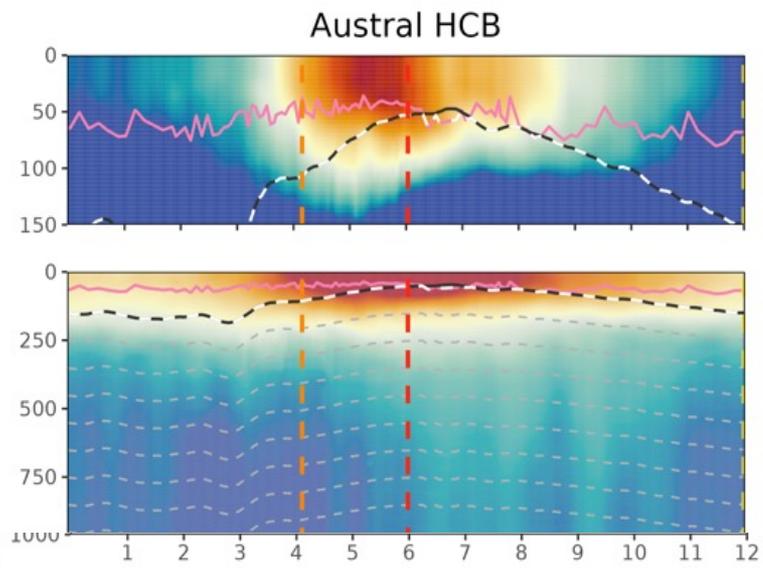
chl_a → biomasse phytoplanctonique
- bloom pendant l'été Austral

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

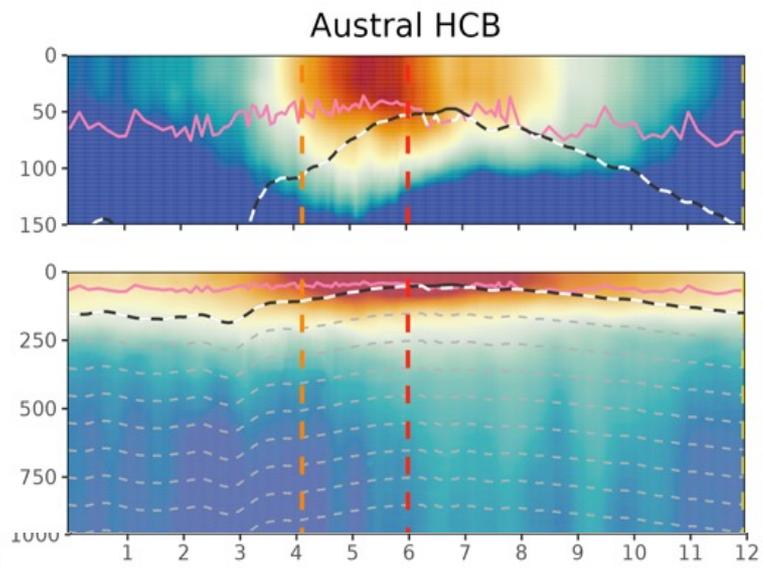


chl_a → biomasse phytoplanctonique
- bloom pendant l'été Austral

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

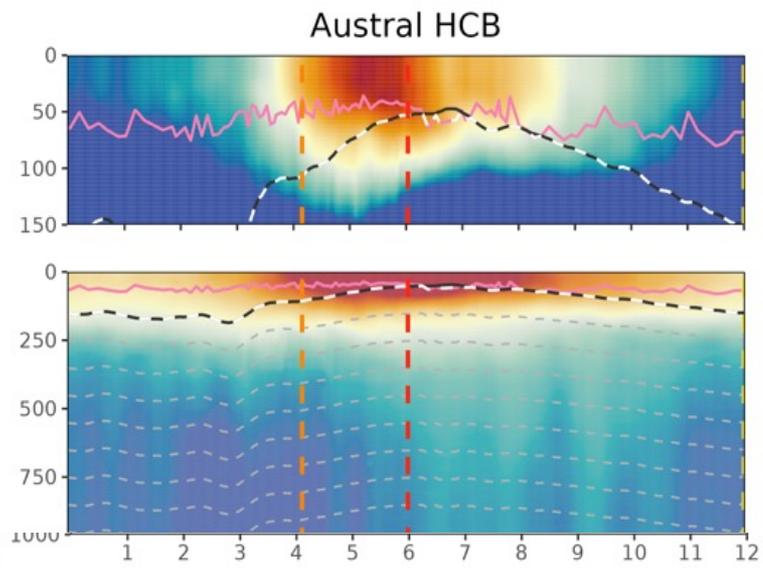


Composition du pool de particules (Rapport chl α :b $_{bp}$) → Shift de la communauté phytoplanctonique hiver/été

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 $\text{chl}a:b_{\text{bp}}$) \rightarrow Shift de la communauté phytoplanctonique hiver/été

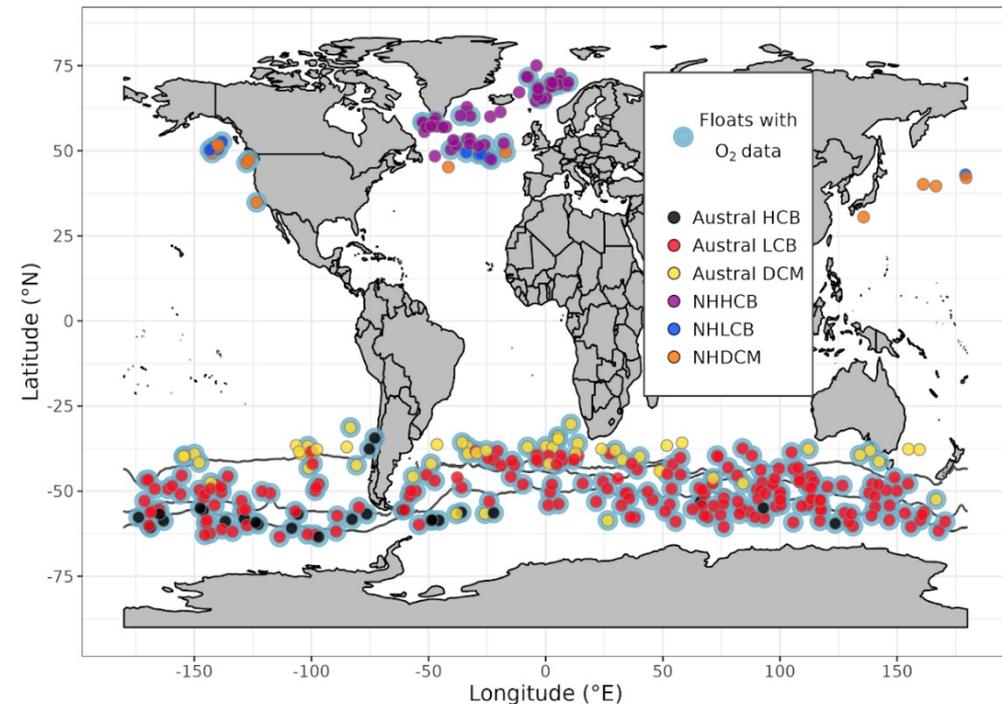
Quantification des flux annuels de carbone organique \rightarrow **Intensité élevée et transfert faible**

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



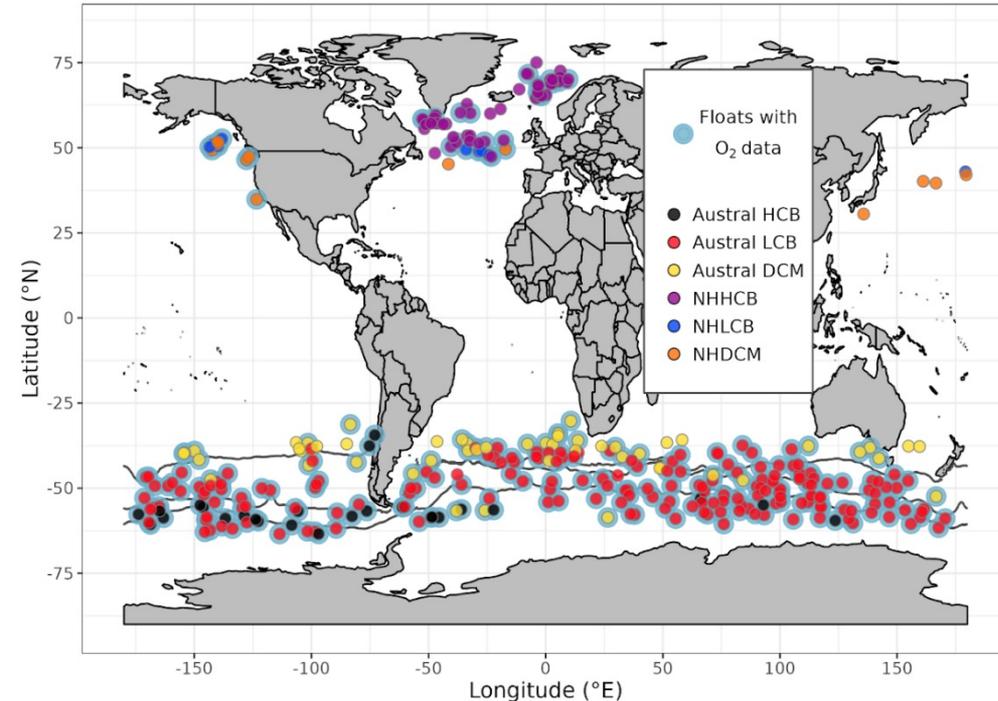
Biorégion	Intensité	Efficacité	Régime de bloom	Composition des particules
Austral HCB	High	Low	Bloom estival ++	Shift -pico/nano vers micro-phytoplankton
Austral LCB	High	Low	Bloom estival +	Shift -pico/nano vers micro-phytoplankton
Austral DCM	Low	Low	DCM	-pico, nano-phytoplankton, non-algal
NHHCB	High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



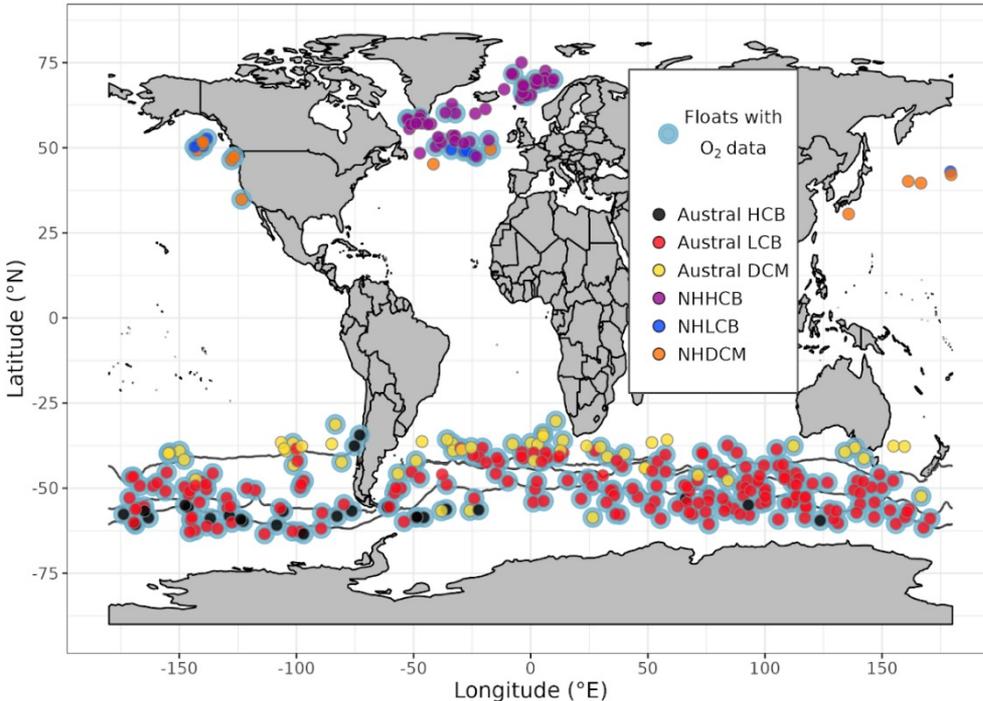
Biorégion	Intensité	Efficacité	Régime de bloom	Composition des particules
Austral HCB	High	Low	Bloom estival ++	Shift -pico/nano vers micro-phytoplankton
Austral LCB	High	Low	Bloom estival +	Shift -pico/nano vers micro-phytoplankton
Austral DCM	Low	Low	DCM	-pico, nano-phytoplankton, non-algal
NHHCB	High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

1 La pompe biologique à l'échelle annuelle :

Explorer le lien entre phénologie du bloom et export de carbone

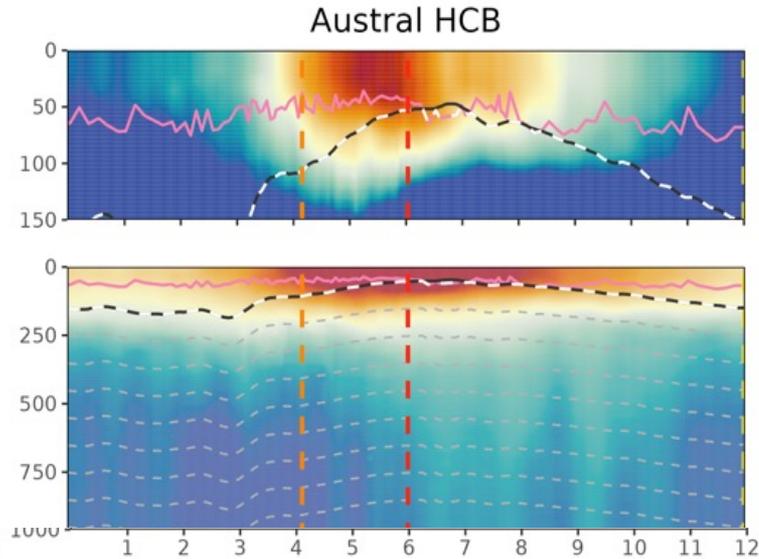
3 régimes généraux :

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



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

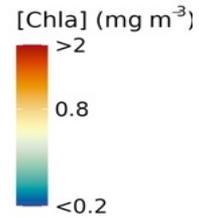
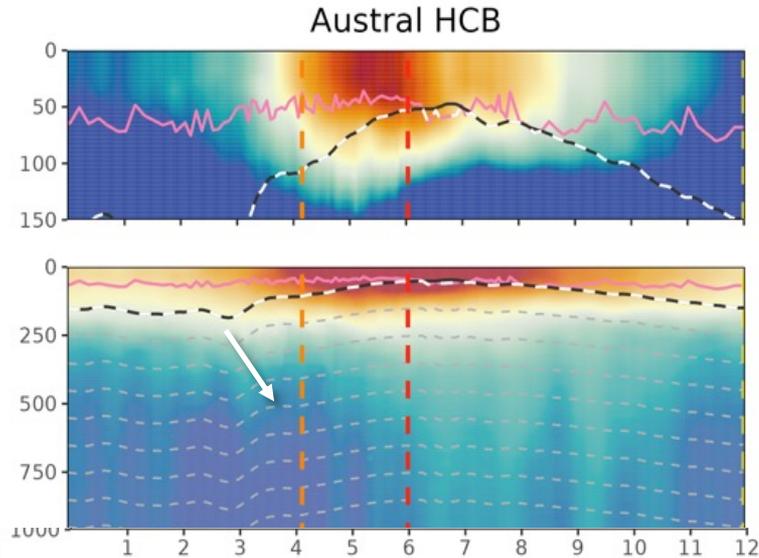
2 Saisonnalité de la pompe biologique à carbone :



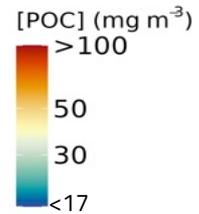
chl*a* → biomasse phytoplanctonique
 - bloom pendant l'été Austral

POC → export POC dans la zone mésopélagique

2 Saisonnalité de la pompe biologique à carbone :

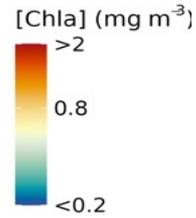
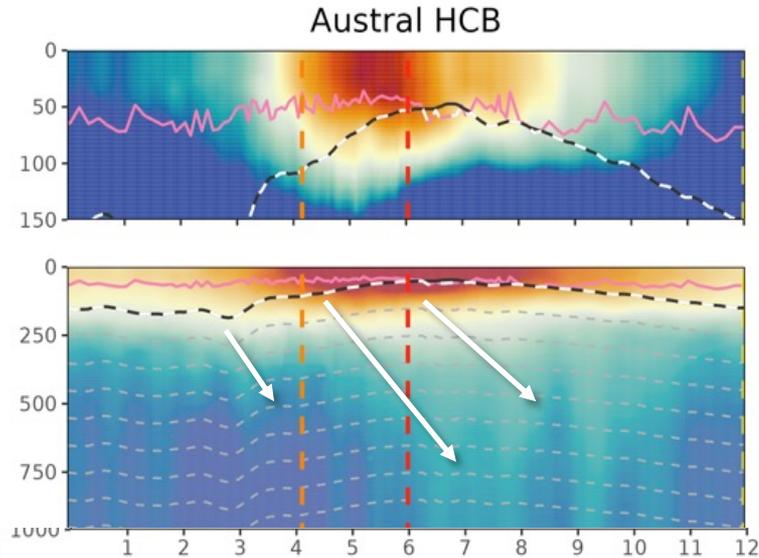


chl*a* → biomasse phytoplanctonique
- bloom pendant l'été Austral

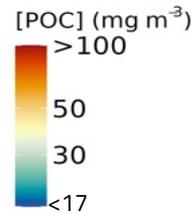


POC → export POC dans la zone mésopélagique
- export par la « mixed layer pump »

2 Saisonnalité de la pompe biologique à carbone :

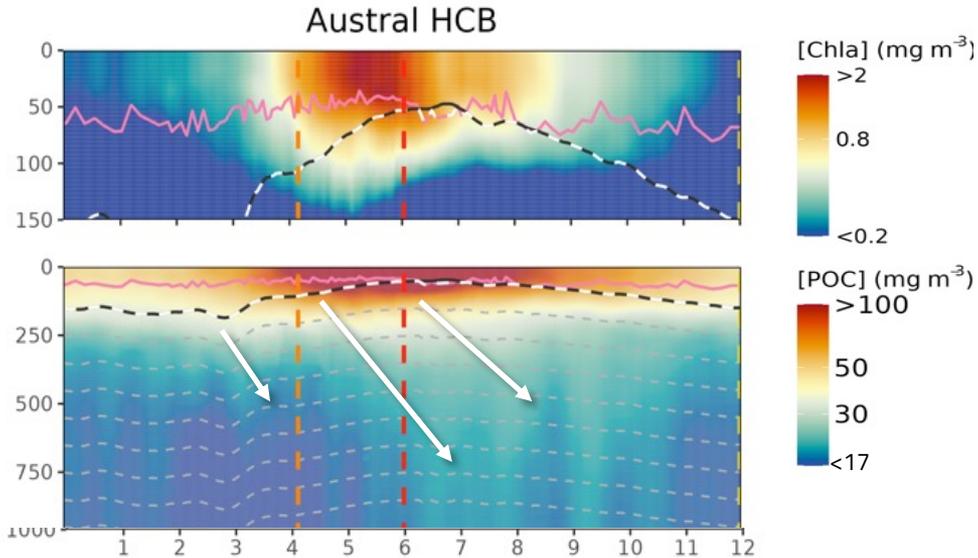


chl a → biomasse phytoplanctonique
 - bloom pendant l'été Austral



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_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

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

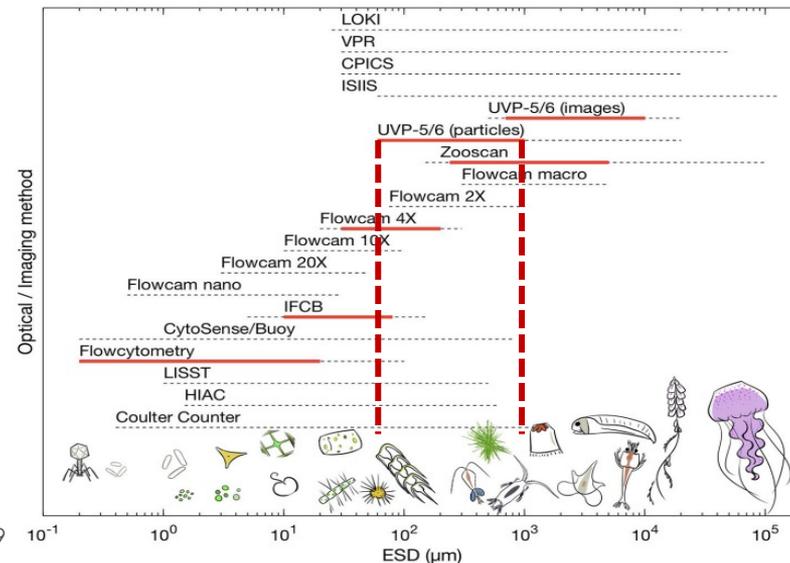
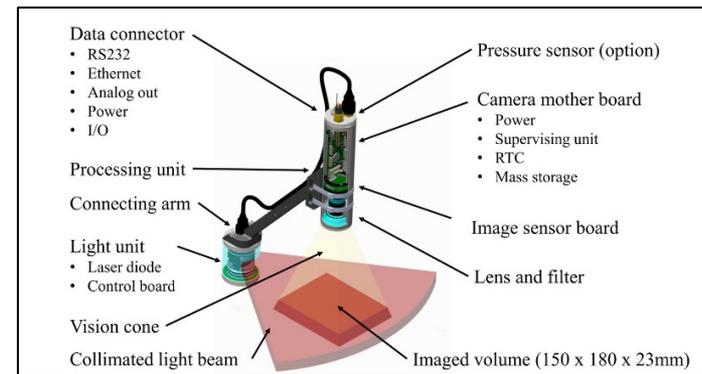
Picheral et al., 2022



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

+

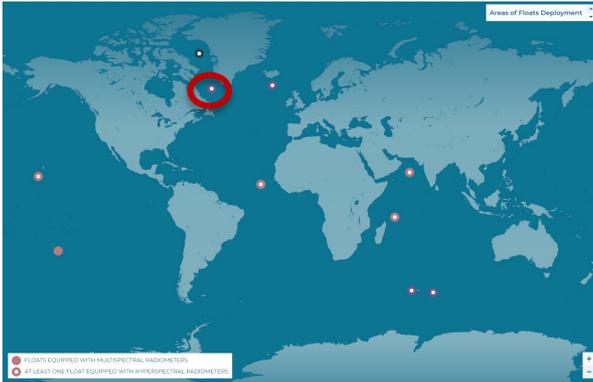
Algorithme de
reconnaissance embarqué
19 classes de zooplancton
(> 645 µm)



Lombard et al., 2019

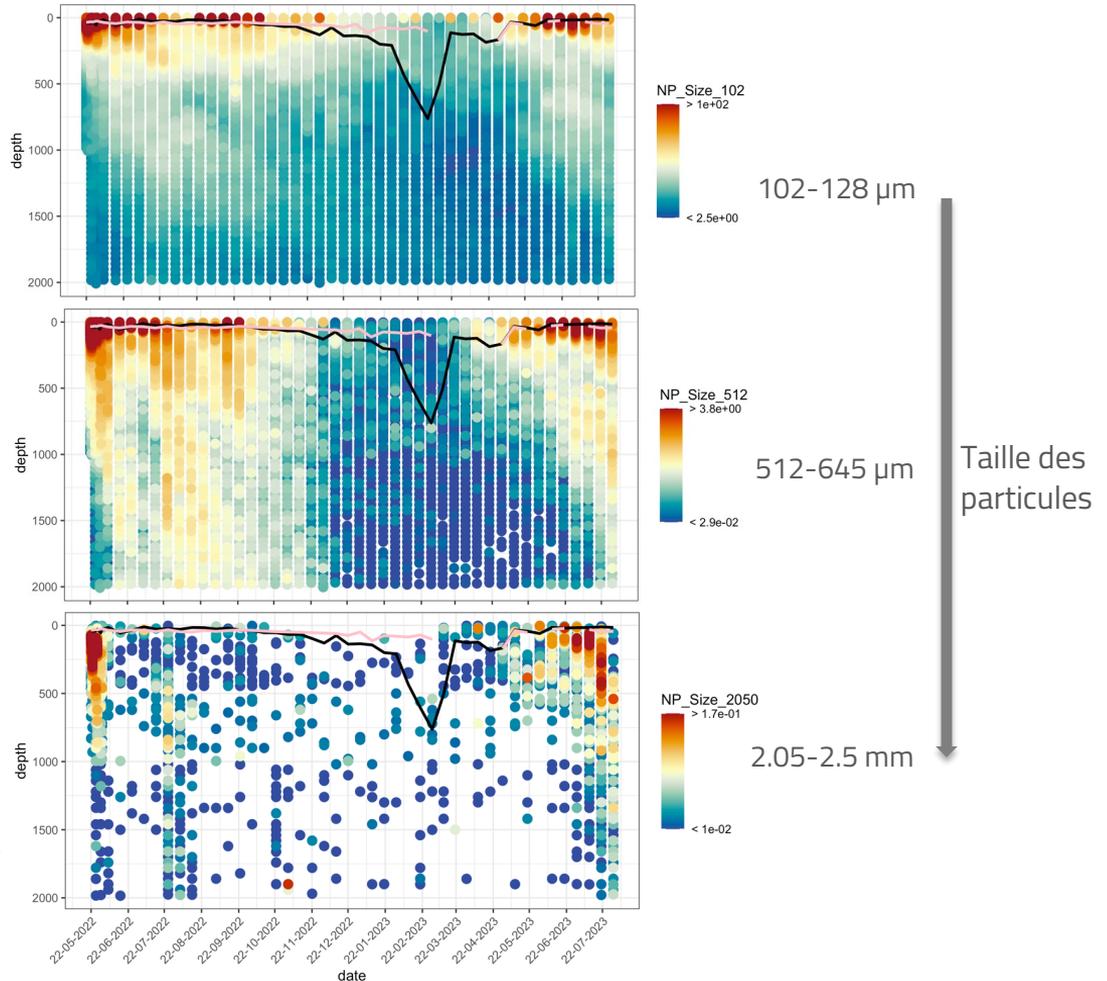
Spectre de tailles de particules entre $\sim 100\mu\text{m}$ et $2,5\text{mm}$

Mer du Labrador (mai 2022)

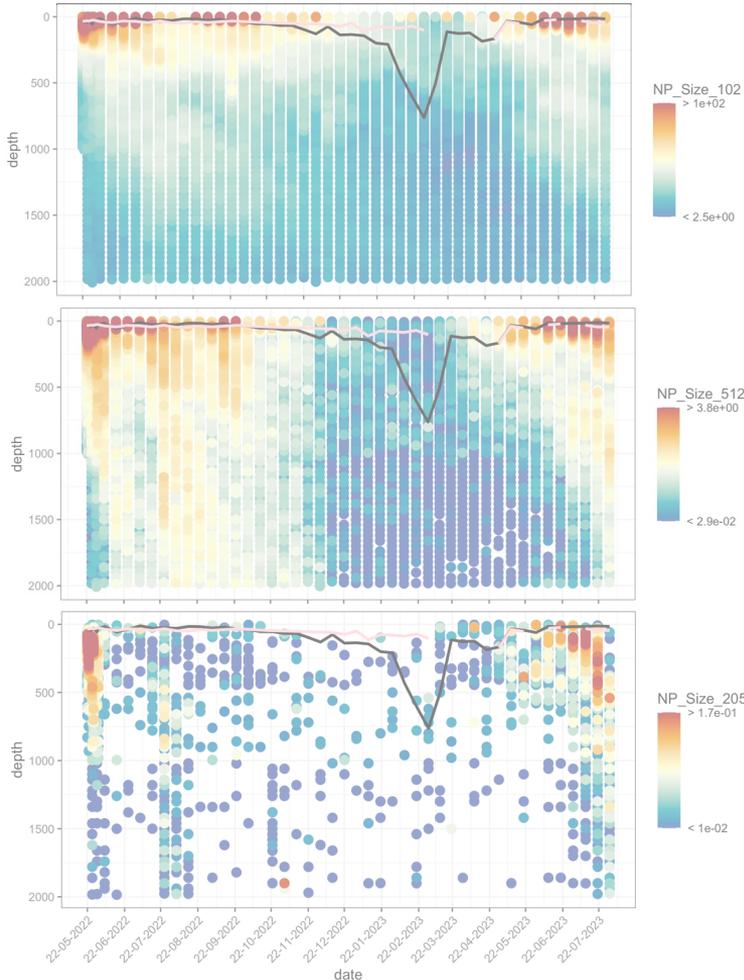


Dynamique saisonnière :

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



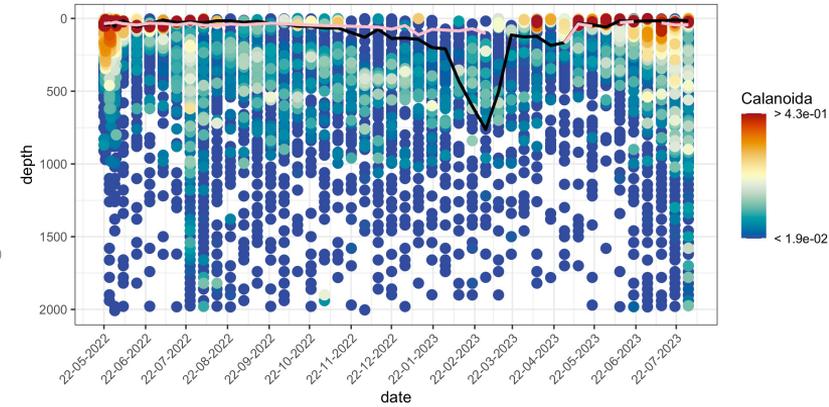
Spectre de tailles de particules entre $\sim 100\mu\text{m}$ et $2,5\text{mm}$



Algorithme de reconnaissance embarqué
19 classes de zooplancton (> $645\mu\text{m}$)



Copépodes



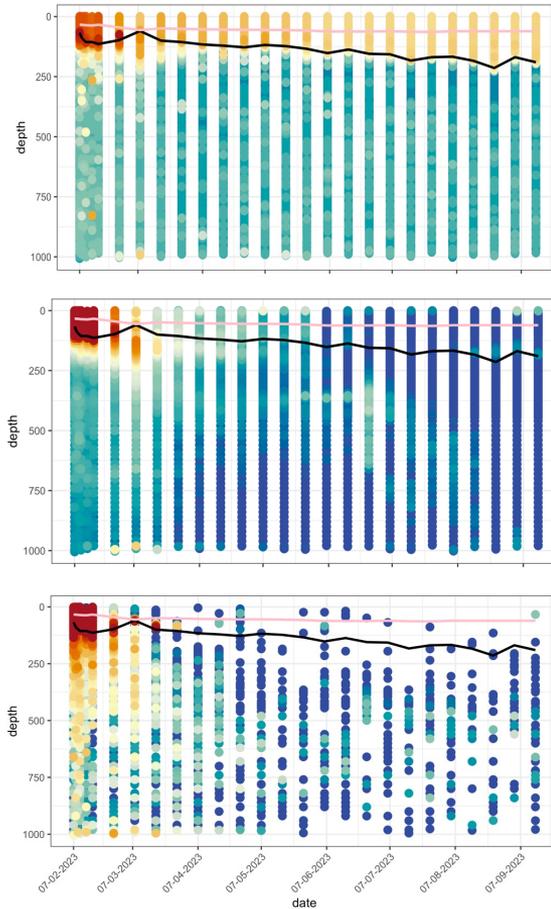
Migrations saisonnières du zooplancton

Kerguelen Est/Ouest (février 2023)

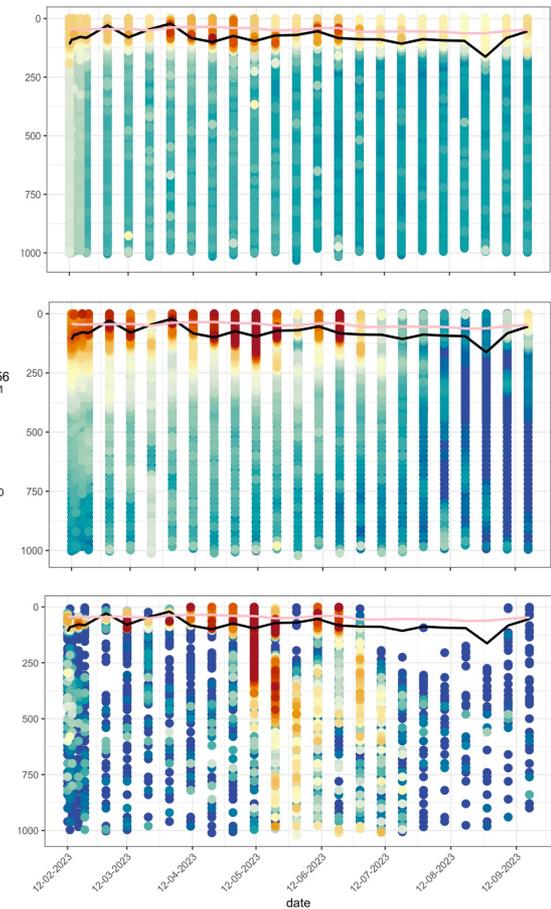


Déployés à quelques jours d'intervalle
(7/02 – 12/02)
Régimes contrastés Est vs Ouest

Ouest



Est



chla

256 μm

ZOO

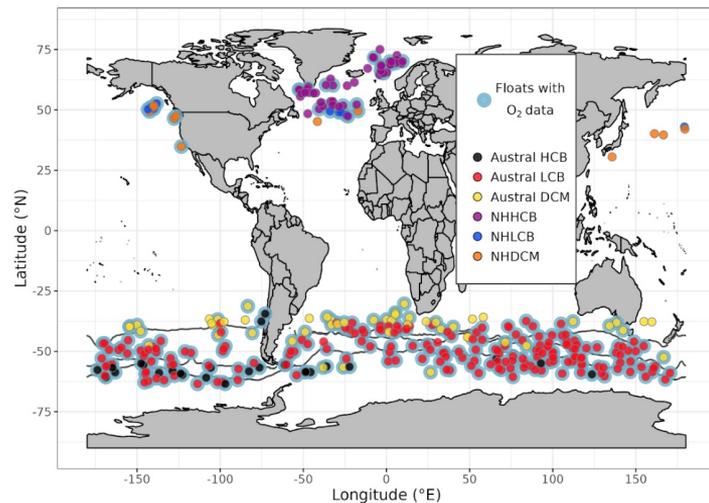
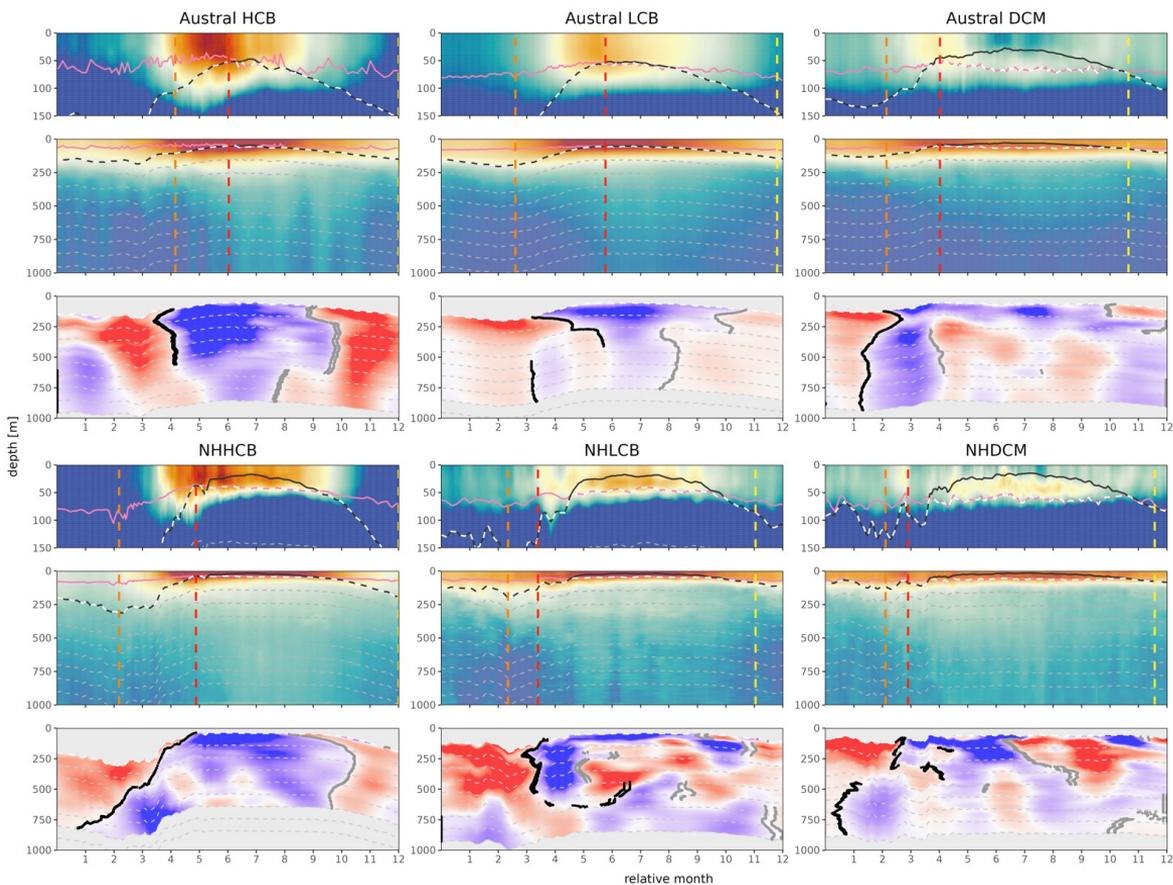
MERCI ! DES QUESTIONS ?



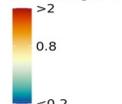
Nombre de séries temporelles

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

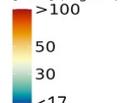
Toutes les biorégions :



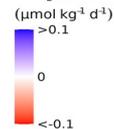
[Chla] (mg m⁻³)

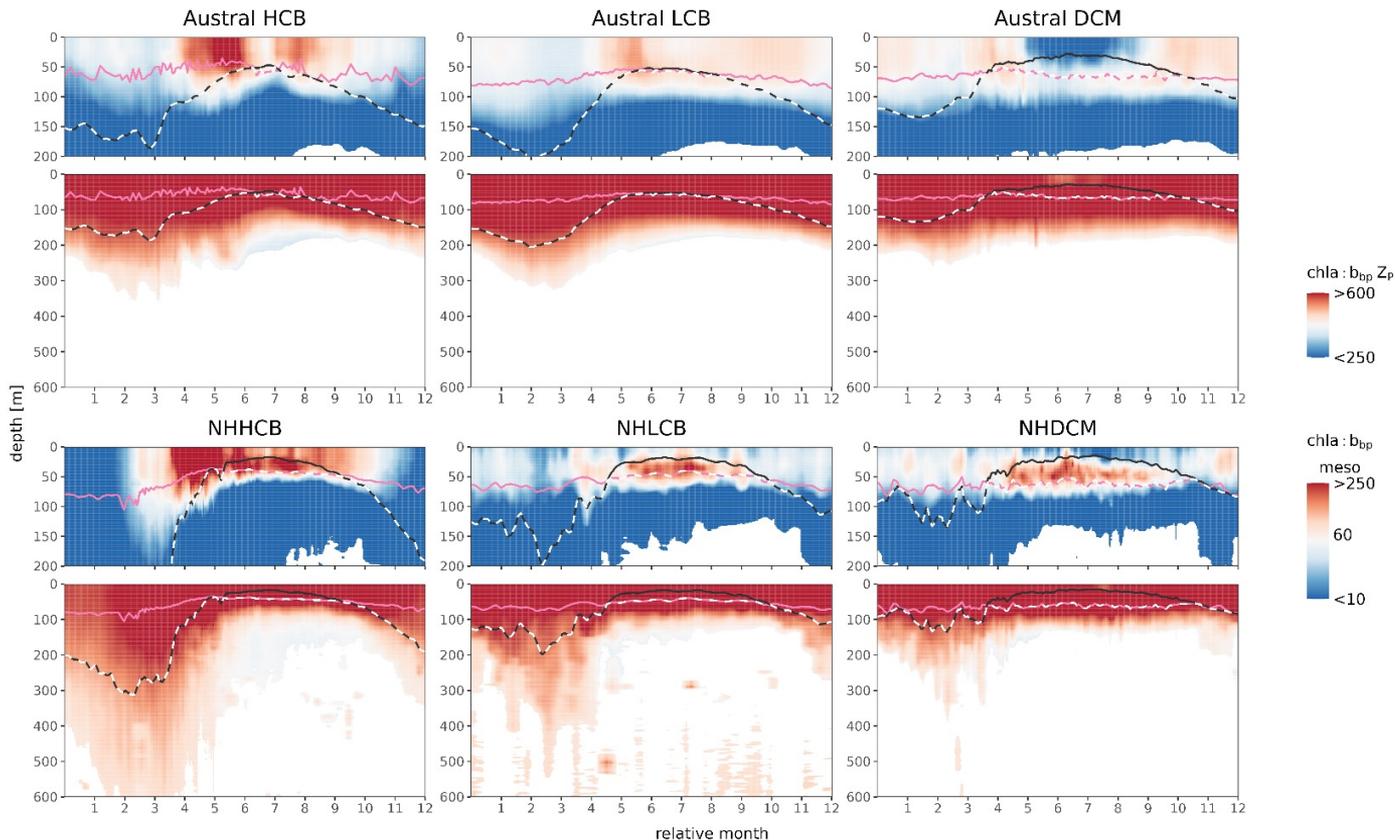


[POC] (mg m⁻³)

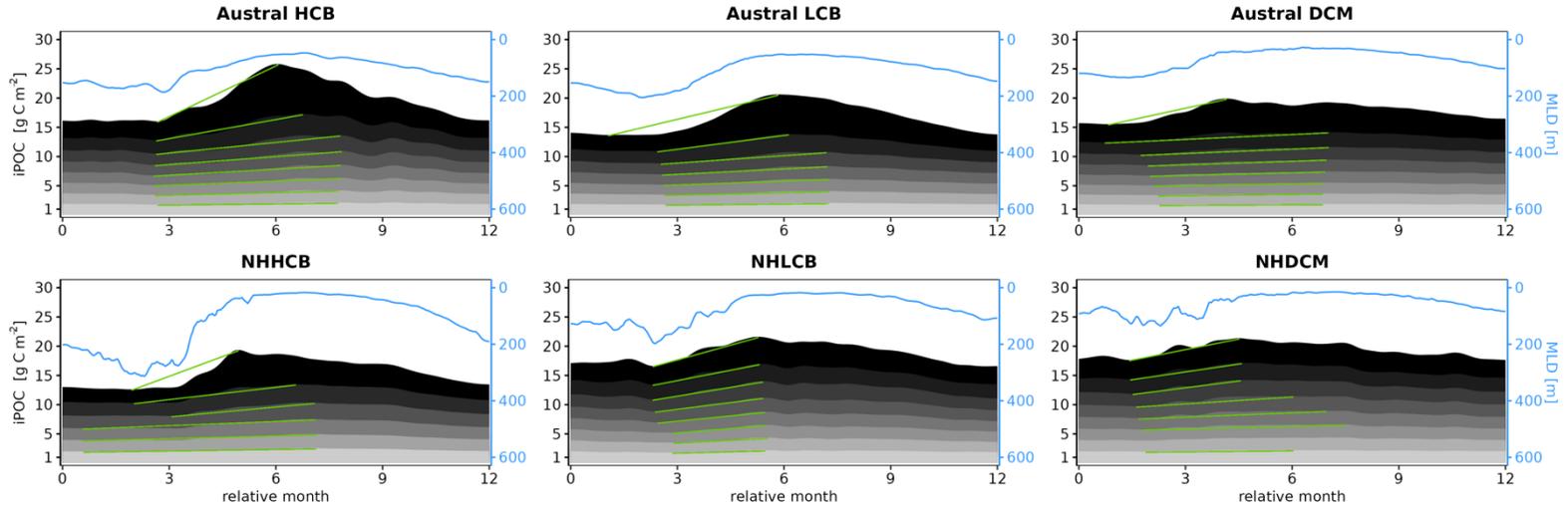


O₂ rates (μmol kg⁻¹ d⁻¹)



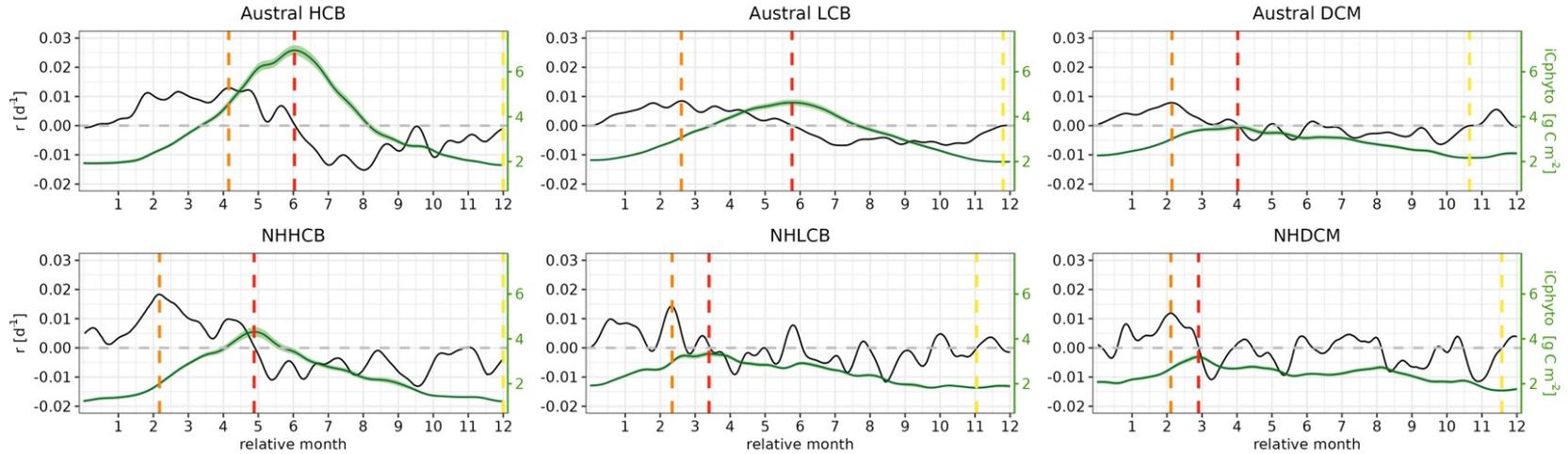


Time series of $chl a : b_{bp}$ ratio. Two different ranges of values are shown for surface and mesopelagic values. A mask is applied on data based on 90th percentile of $[chl a]$ values from 500m to 1000m within the 3 southern bioregions, below which $chl a$ values are considered too low for the ratio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



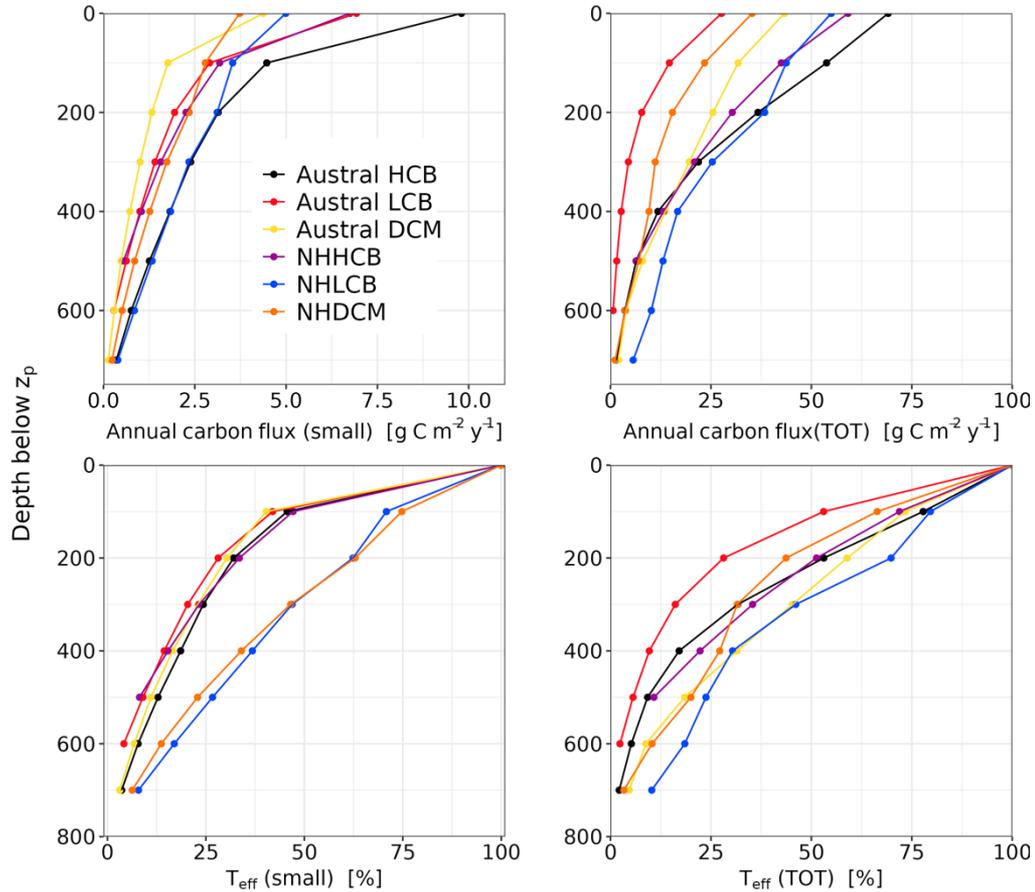
Time series of integrated POC stocks (iPOC).

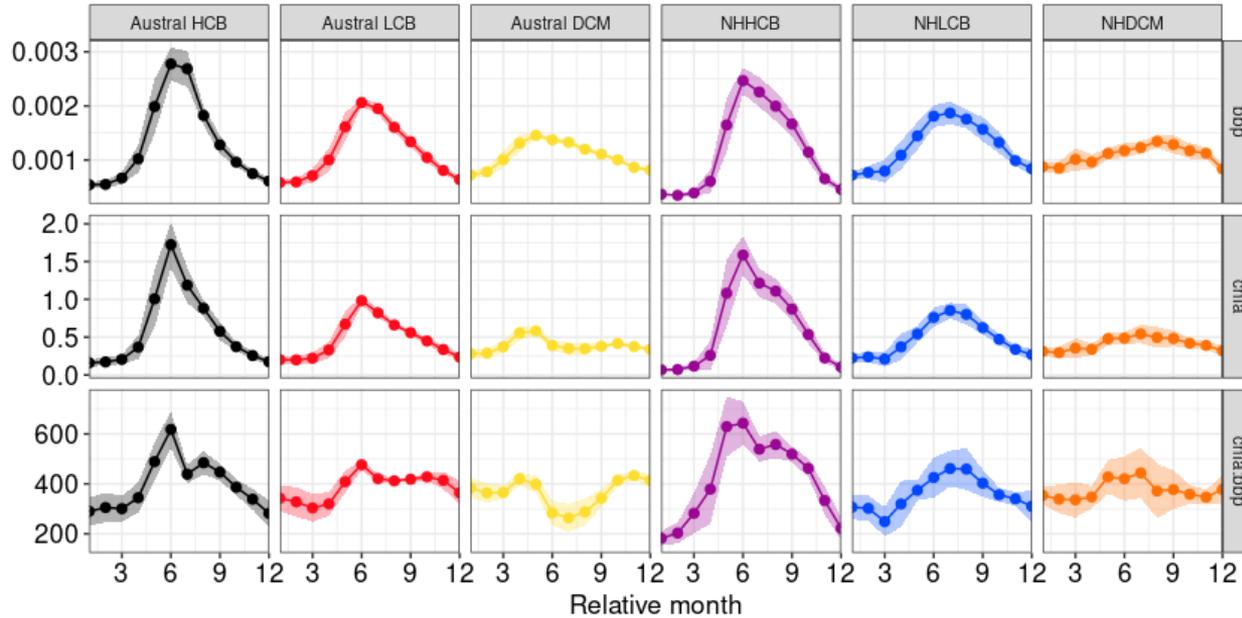
Black areas show $iPOC_{zp}^{zref}$. Lighter areas show progressively deeper layer $iPOC_{zp+100}^{zref}$ until $iPOC_{zref-100}^{zref}$. Blue solid lines show z_{MLD} . Green segments show seasonal net accumulation of iPOC within each layer going from minimum annual iPOC to maximum annual iPOC. Carbon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



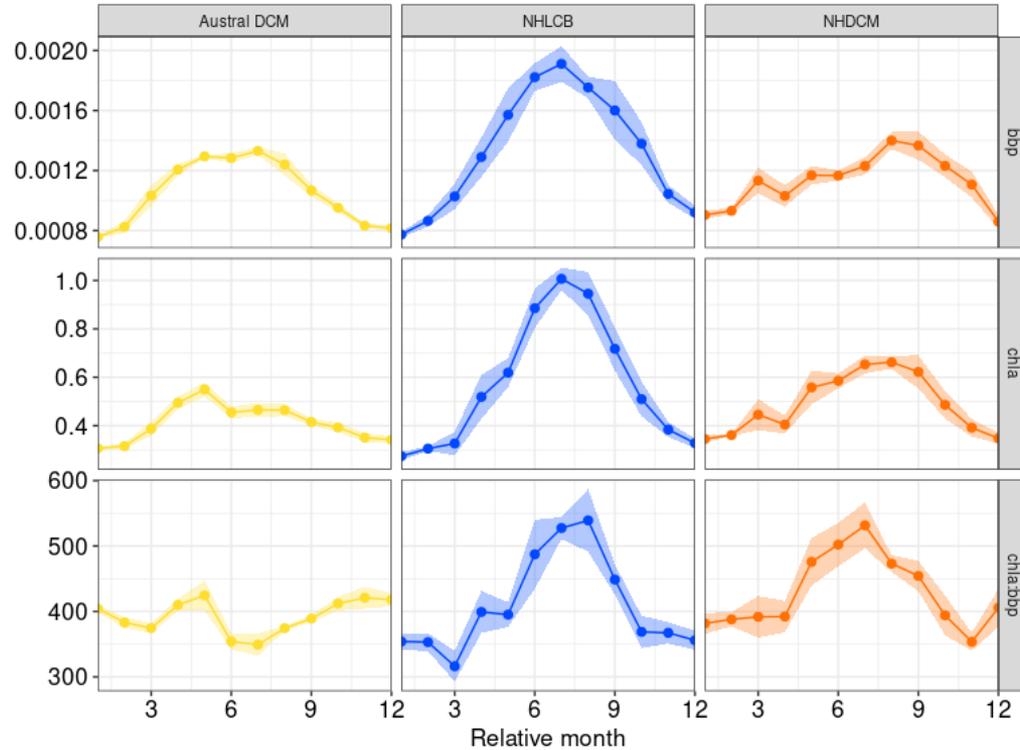
Time series of bulk C_{phyto} masked with the $[chl a]$ threshold.

Green solid lines show bulk C_{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 $mg.m^{-3}$, b_{bp} in m^{-1} , $chla:b_{bp}$ in $mg.m^{-2}$

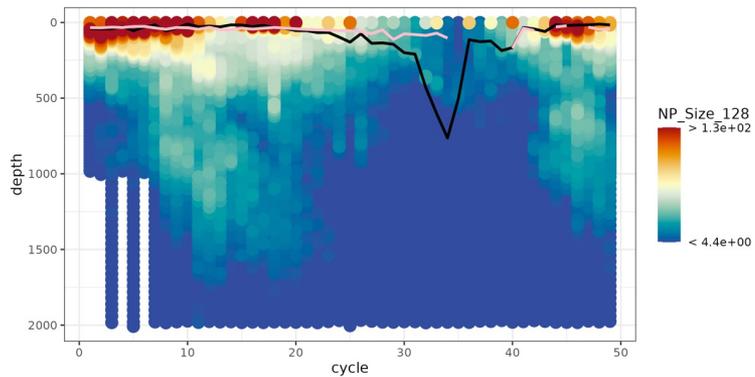


Monthly climatology at the DCM depth

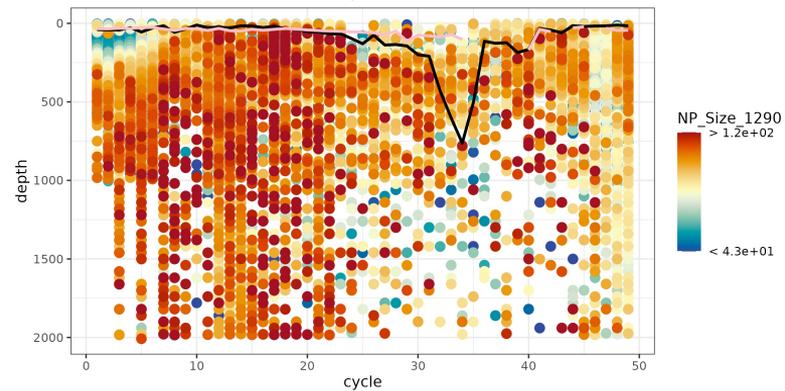
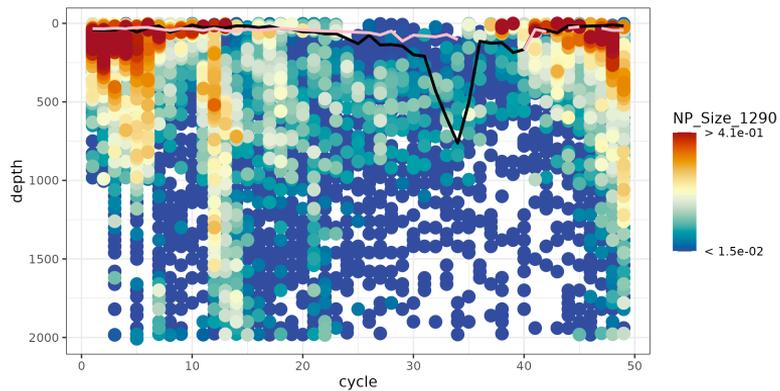
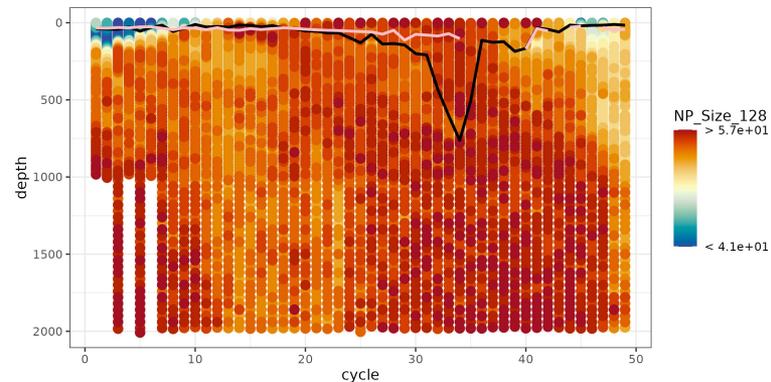
(60m in Austral DCM, 30m in NHLCB, 40m In NHDCM) for $chla$ in $mg.m^{-3}$, b_{bp} in m^{-1} , $chla:b_{bp}$ in $mg.m^{-2}$

Spectre de particules :

Abondance de particules

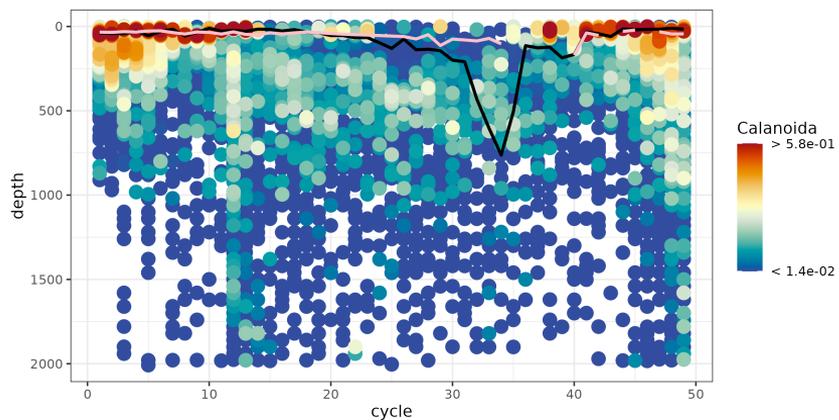


Niveau de gris

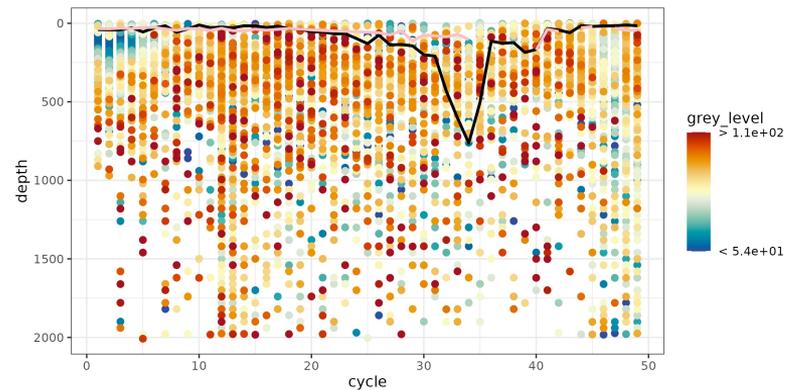


Algorithme embarqué :

Abondance de zooplancton (copépodes)



Niveau de gris moyen



Taille moyenne

