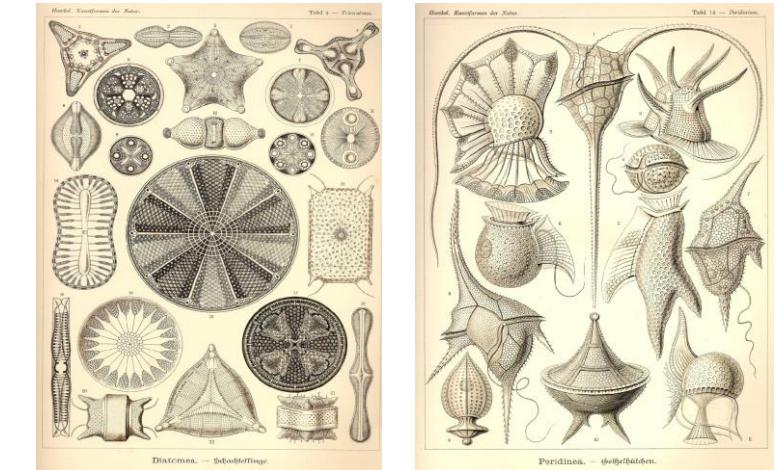
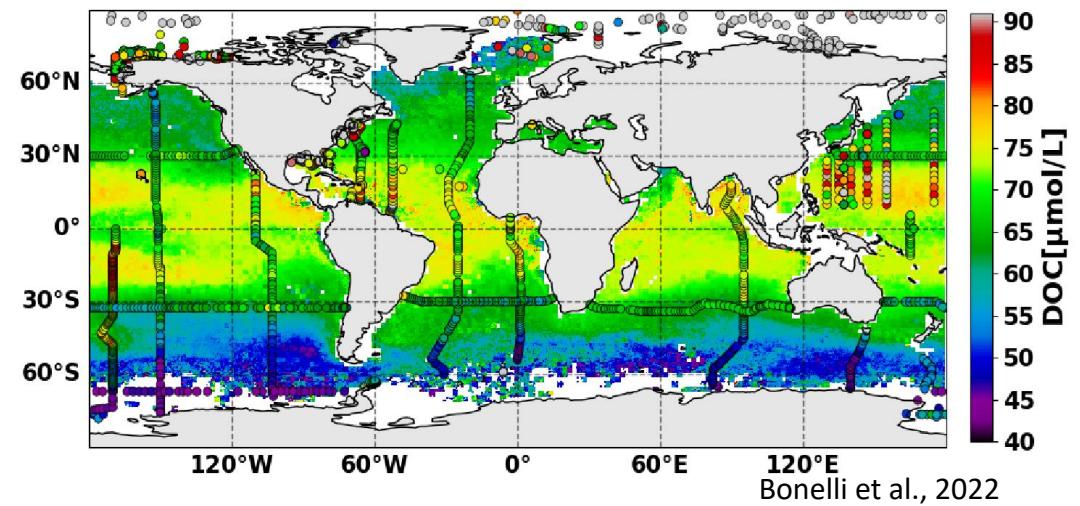
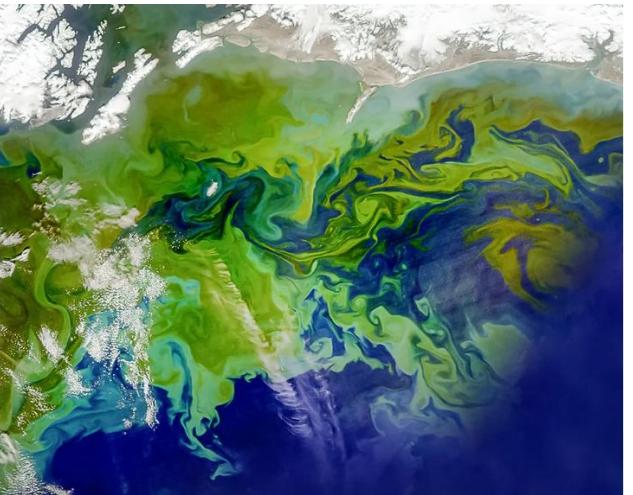


Santé des océans - biodiversité marine et cycle du carbone océanique

Hubert Loisel

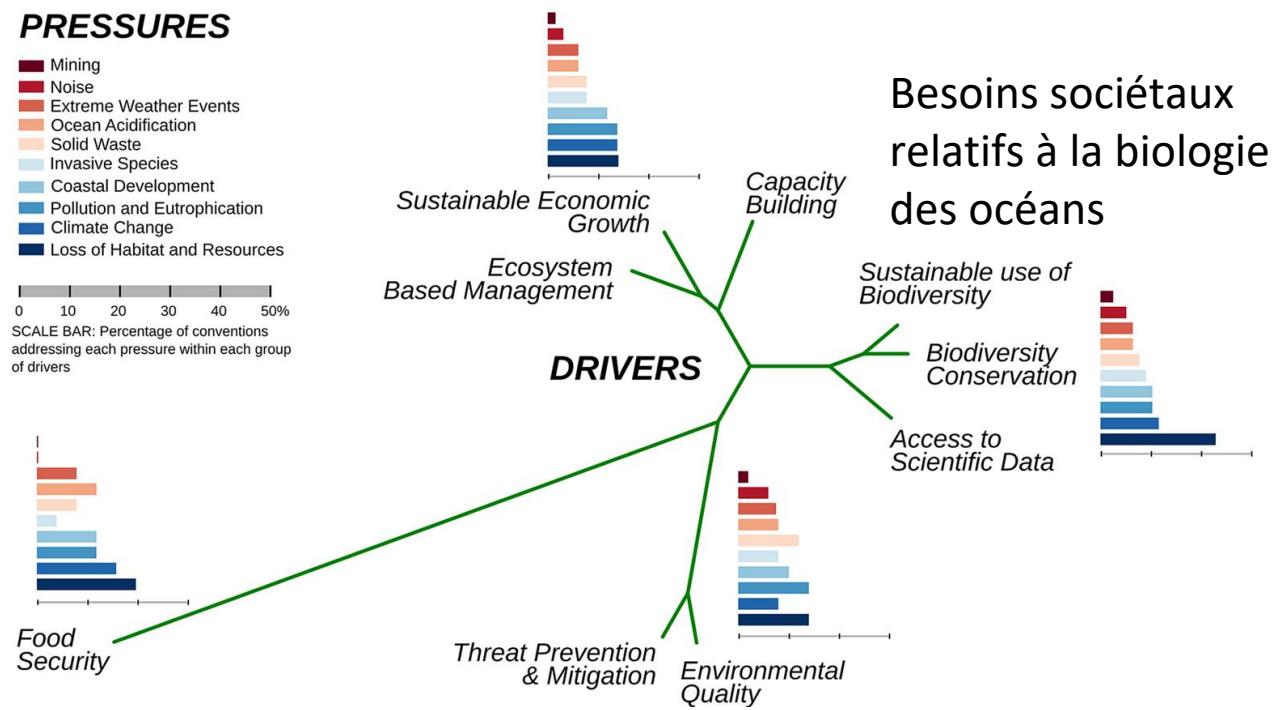
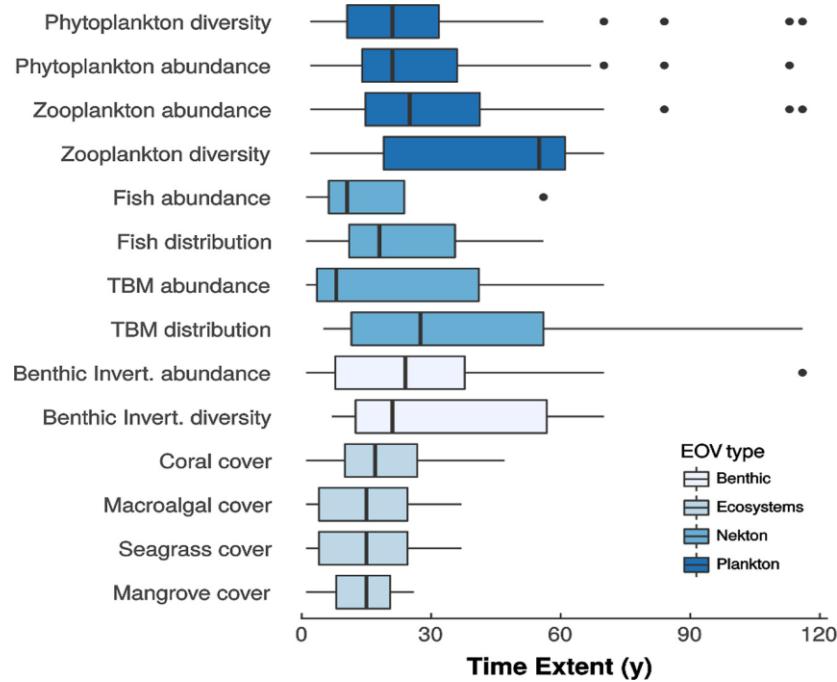


Ernst Haeckel, "Kunstformen der Natur" (Art forms of nature), 1904

Journée de la Science, CNES, 6 Novembre 2025

Dans le contexte actuel d'une baisse de la biodiversité marine, et donc d'un déclin des services rendus, il est essentiel de développer des outils globaux adéquates pour suivre cette biodiversité, et la réponse des écosystèmes marins aux différents forçages et aux mesures prises.

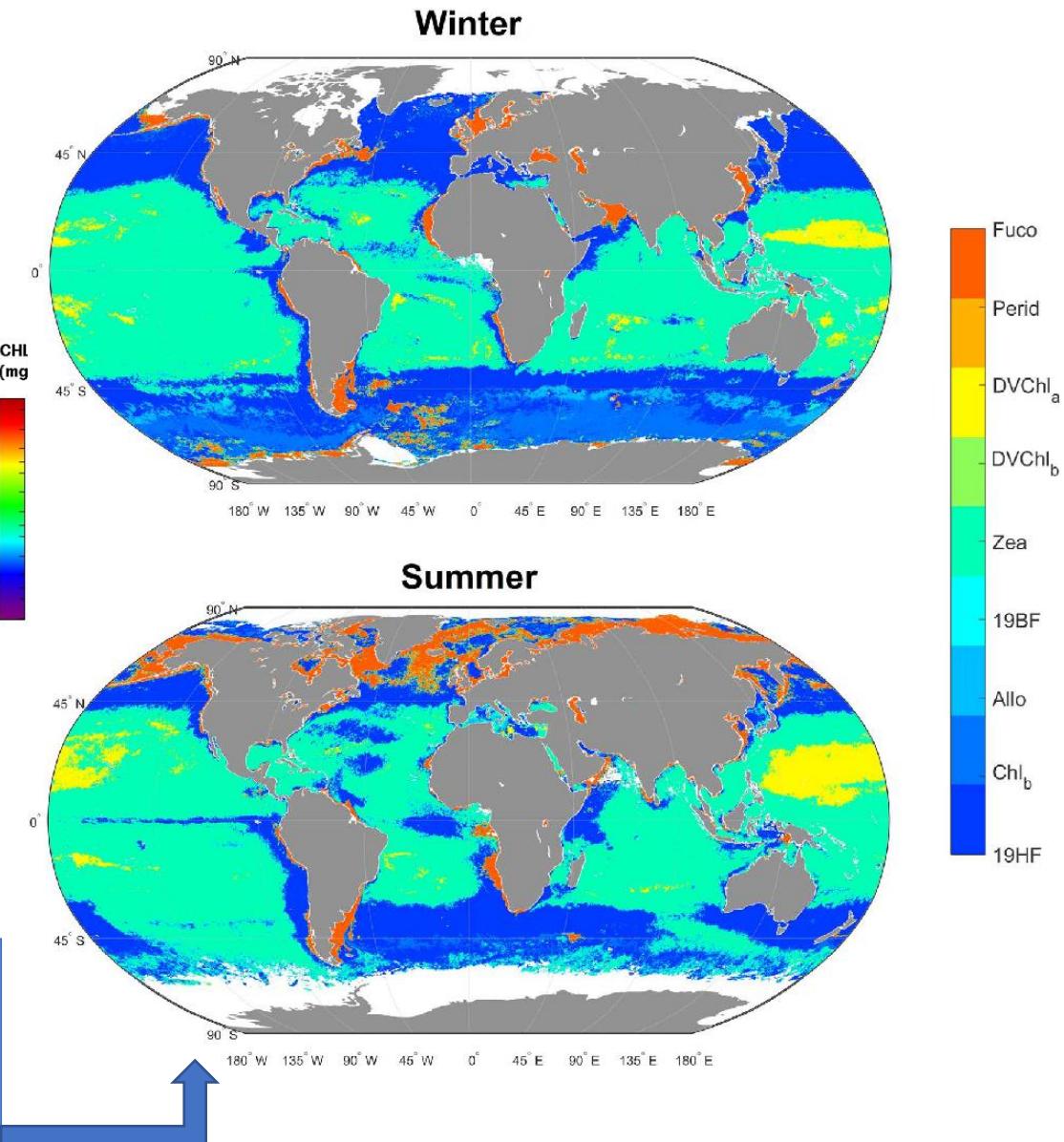
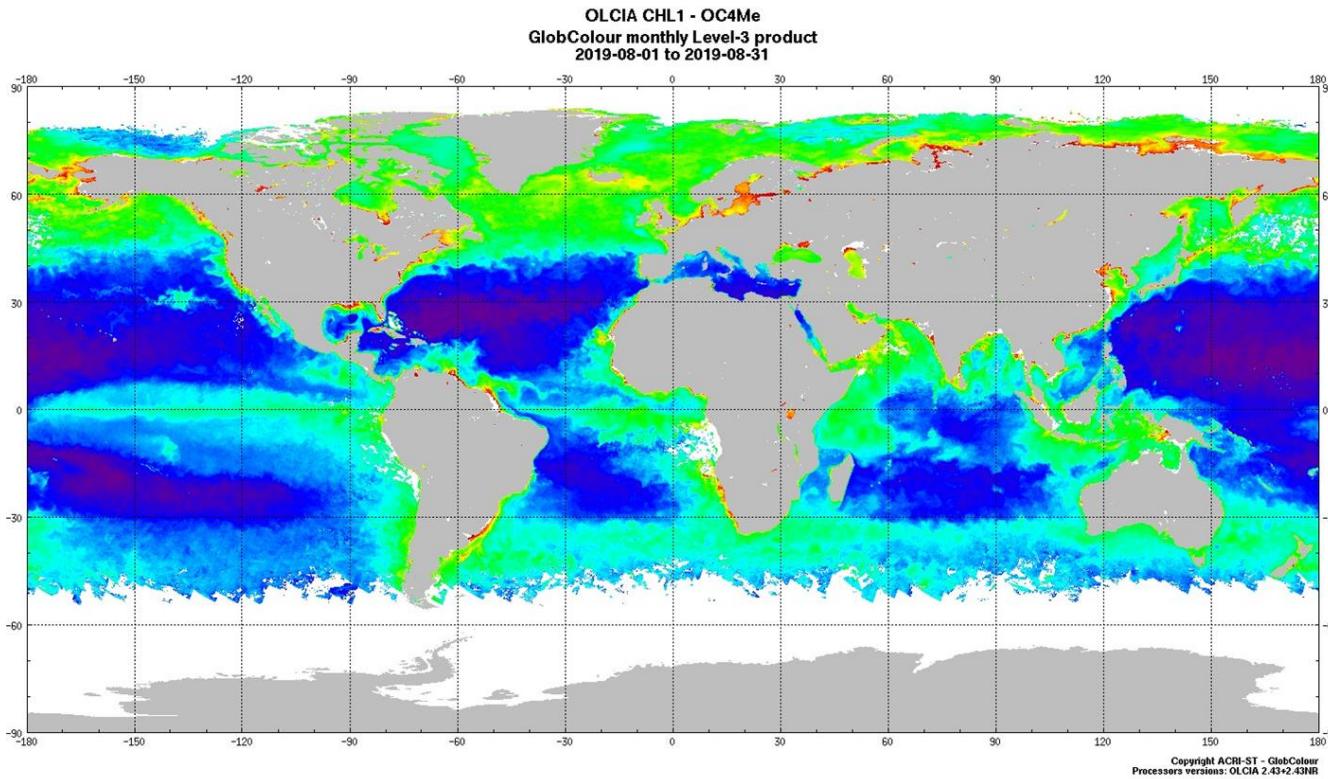
Les **EBVs (Essential Biodiversity Variables)**: ensemble de paramètres qui capturent les aspects essentiels de la biodiversité, depuis la diversité génétique jusqu'à la structure et au fonctionnement des écosystèmes.



Miloslavich et al., 2019

L'observation satellite de la couleur de l'eau est essentielle pour suivre la biodiversité marine

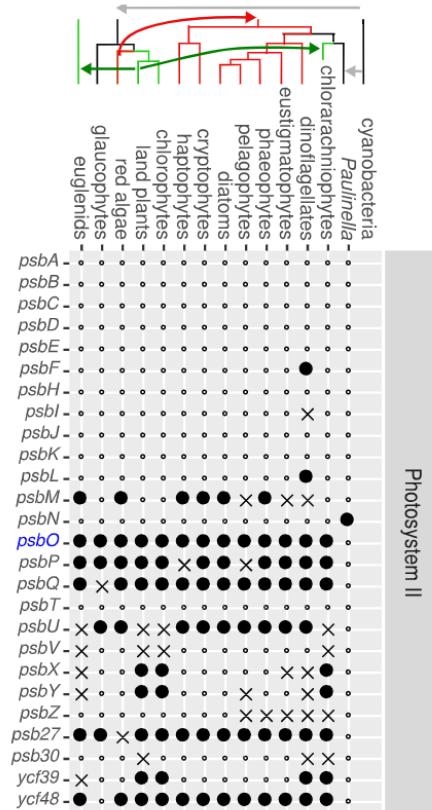
Chl-a a été le premier paramètre estimé par les missions couleur de l'eau: **CZCS** : 1978-1986; **POLDER-1/2**: 1996-1997; 2002-2003; **SeaWiFS**: 1997-2011; **MERIS**: 2002-2012; **MODIS**: 2002-; **OLCI**: 2016-



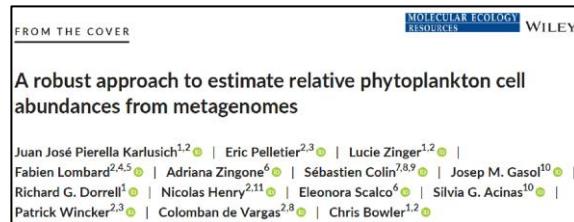
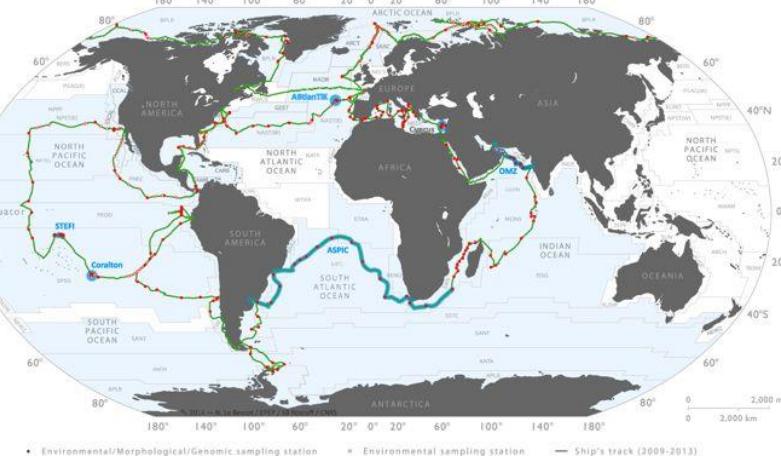
De nouveaux pigments peuvent maintenant être estimés et cela grâce aux approches neuronales appliquées à des bases de données in situ pigmentaires globales.

Vers une meilleure identification des groupes et espèces phytoplanctoniques: couplage DNA et Satellite

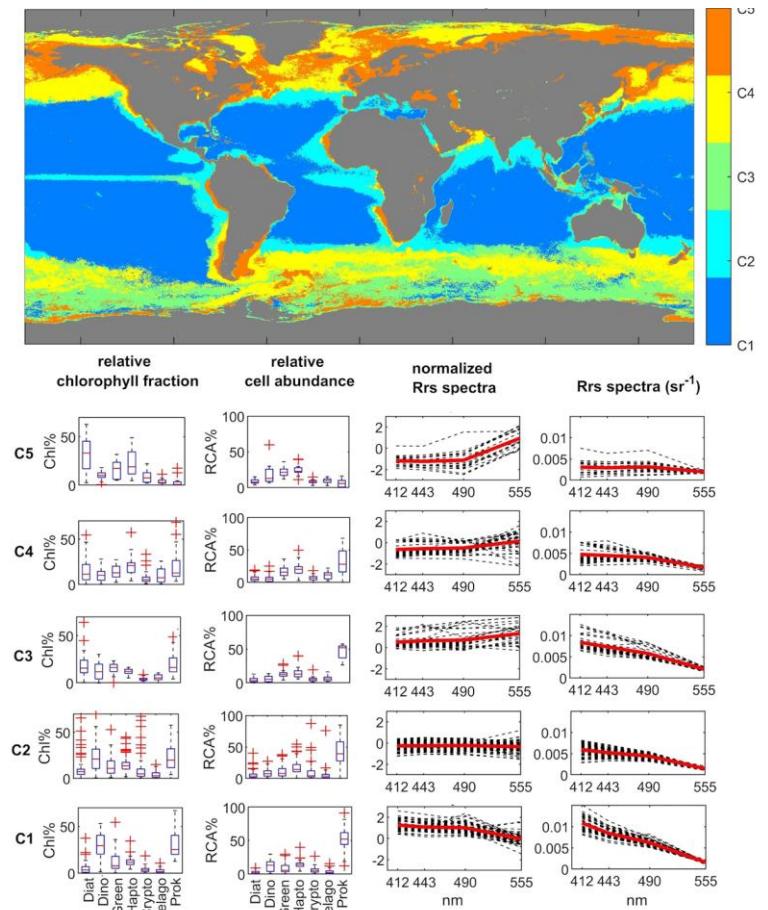
psbO, un gène présent dans les eucaryotes and procaryotes: proxy de l'abondance cellulaire



Une base de données génomique grandissante (missions Tara) couplée aux observation couleurs

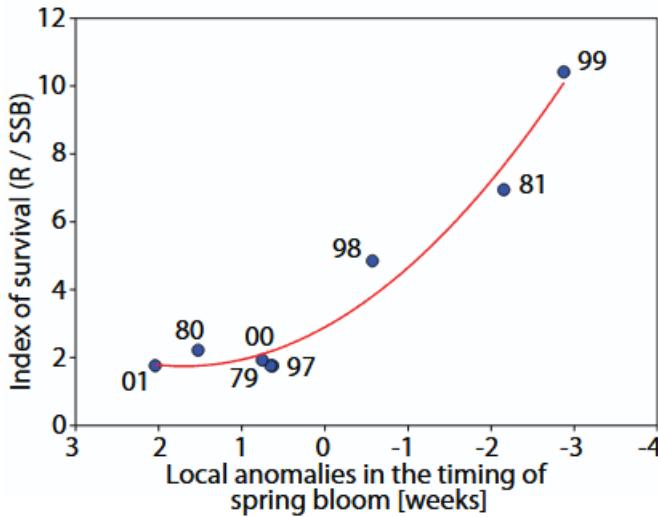


Vers une distribution des structures des communautaires phyto dominantes

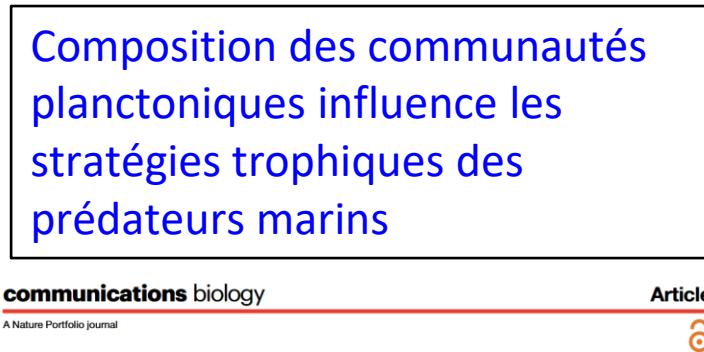


A la base de la chaîne alimentaire, le suivi du phytoplancton et de la couleur de l'eau en général, permet de mieux comprendre l'évolution des niveaux trophiques supérieurs

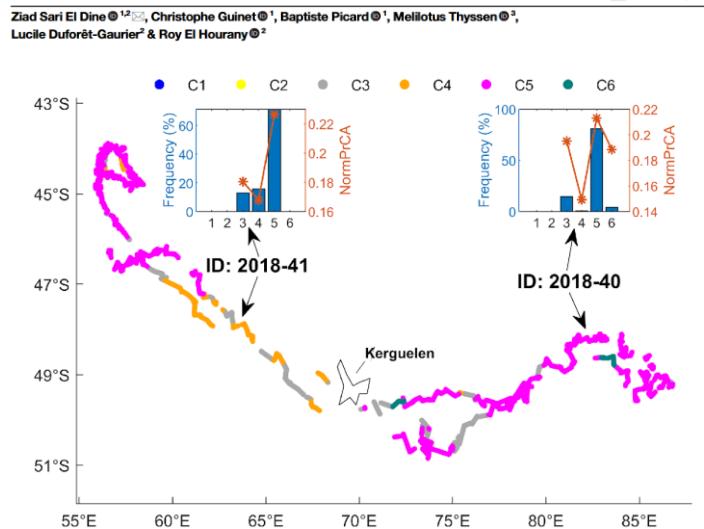
Le timing des blooms vs. Juvéniles essentiel pour le maintien du stock



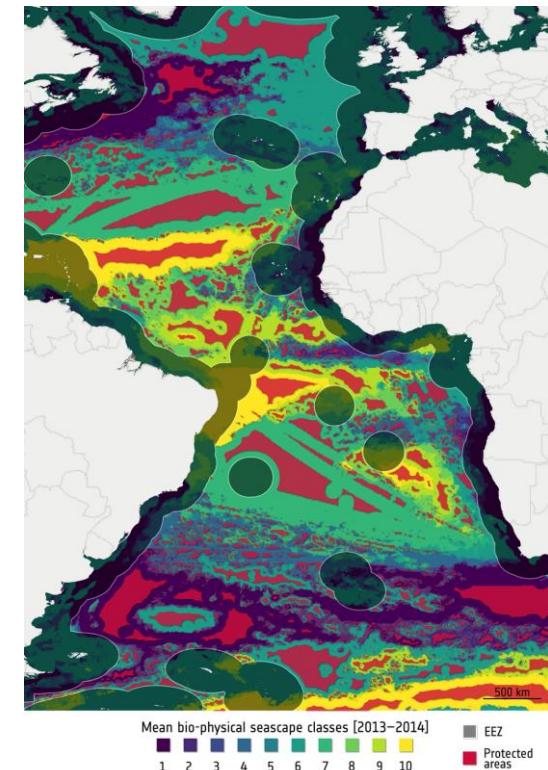
Platt et al., 2003 et IOCCG 2008



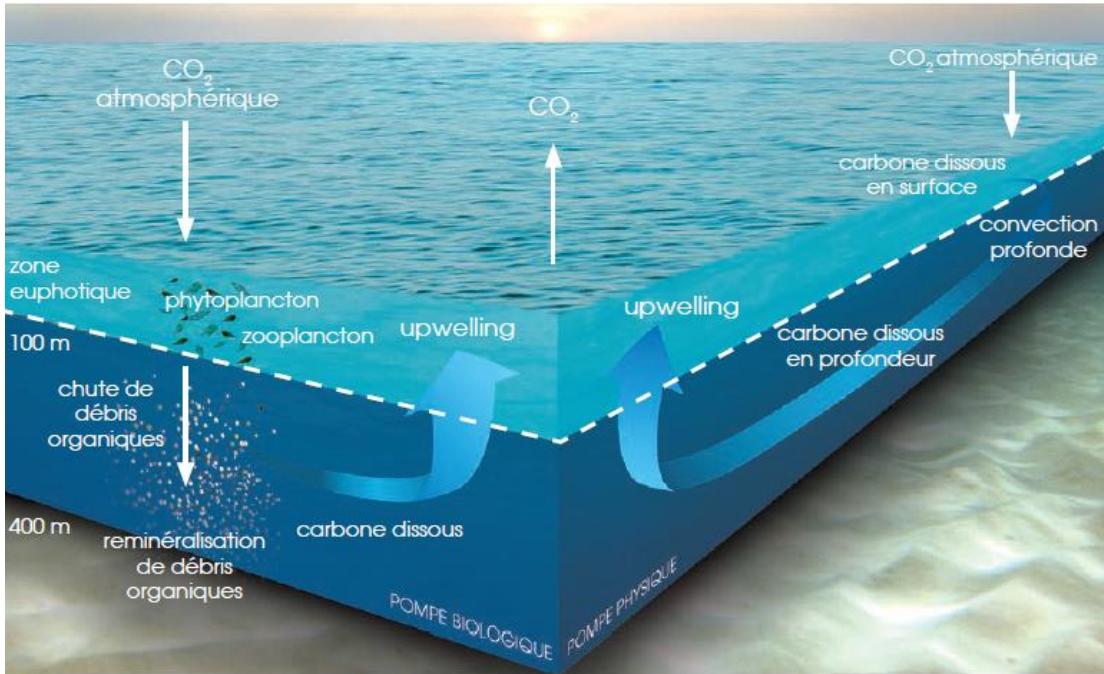
Influence of the phytoplankton community structure on the southern elephant seals' foraging activity within the Southern Ocean



Les données sat pour définir les zones d'aires marines protégés (phyto, poissons, espèces protégées) hors des zones de jurisdictions nationales (UN, 2023)



Le rôle de l'océan dans le cycle global du carbone



L'océan global contient approximativement 50 fois plus de carbone que l'atmosphère (40.000 Milliards de tonnes)

L'océan absorbe approximativement 25% du CO₂ atmosphérique d'origine anthropique.

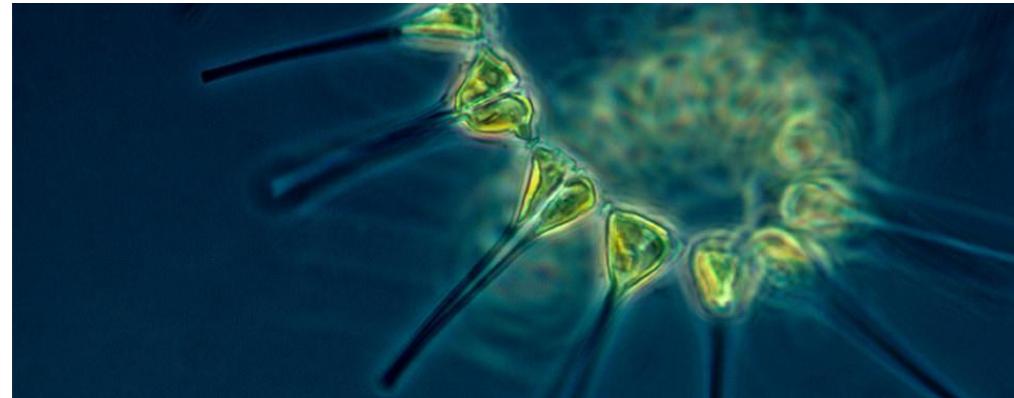
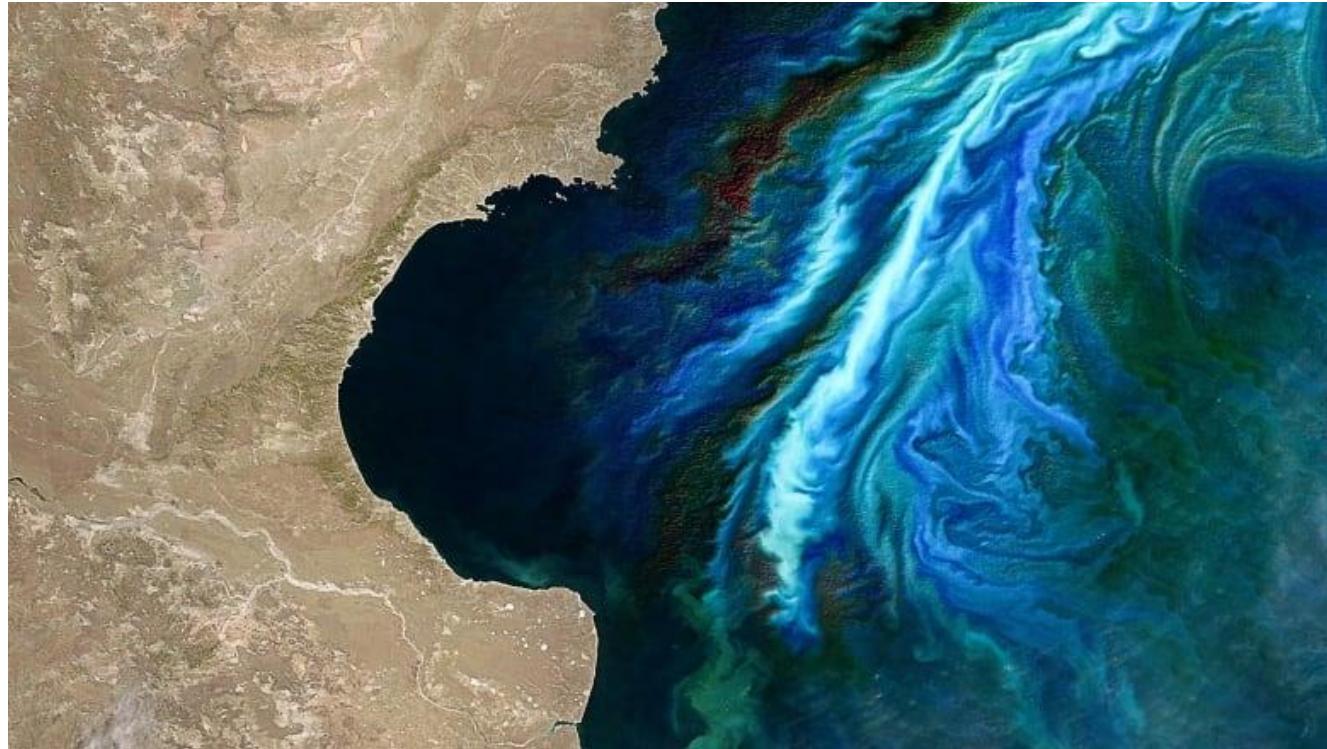
Les échanges de CO₂ océan/atmosphère se font de l'échelle journalière à plusieurs centaines d'années, et une partie du carbone reste stocké dans du matériel sédimentaire pour des millénaires.

L'océan capte et stocke le CO₂ atmosphérique grâce à deux processus:

- **Physico-chimique**: solubilité du CO₂ dans l'eau fonction de la température ([pompe de solubilité](#))
- **Biologique**: photosynthèse réalisée par le phytoplancton ([pompe biologique](#))

Également fonction de la dynamique océanique

Le phytoplancton marin ne représente qu'une petite fraction du carbone organique (3 Milliards de tonnes) mais, en raison de son taux de renouvellement très rapide, il est capable de générer une grande quantité de carbone organique chaque année (45-50 milliards de tonnes par an)



On peut distinguer quatre réservoirs de carbone océanique qui interagissent via des processus biologiques, chimiques, et physiques complexes.

DIC: Carbone Inorganique Dissous

POC: Carbone Organique Particulaire

DOC: Carbone Organique Dissous

PIC: Carbone Inorganique Particulaire

Processus principaux:

- La production primaire
- Reminéralisation
- L'export
- Apports côtiers de matériel plus ou moins réfractaire

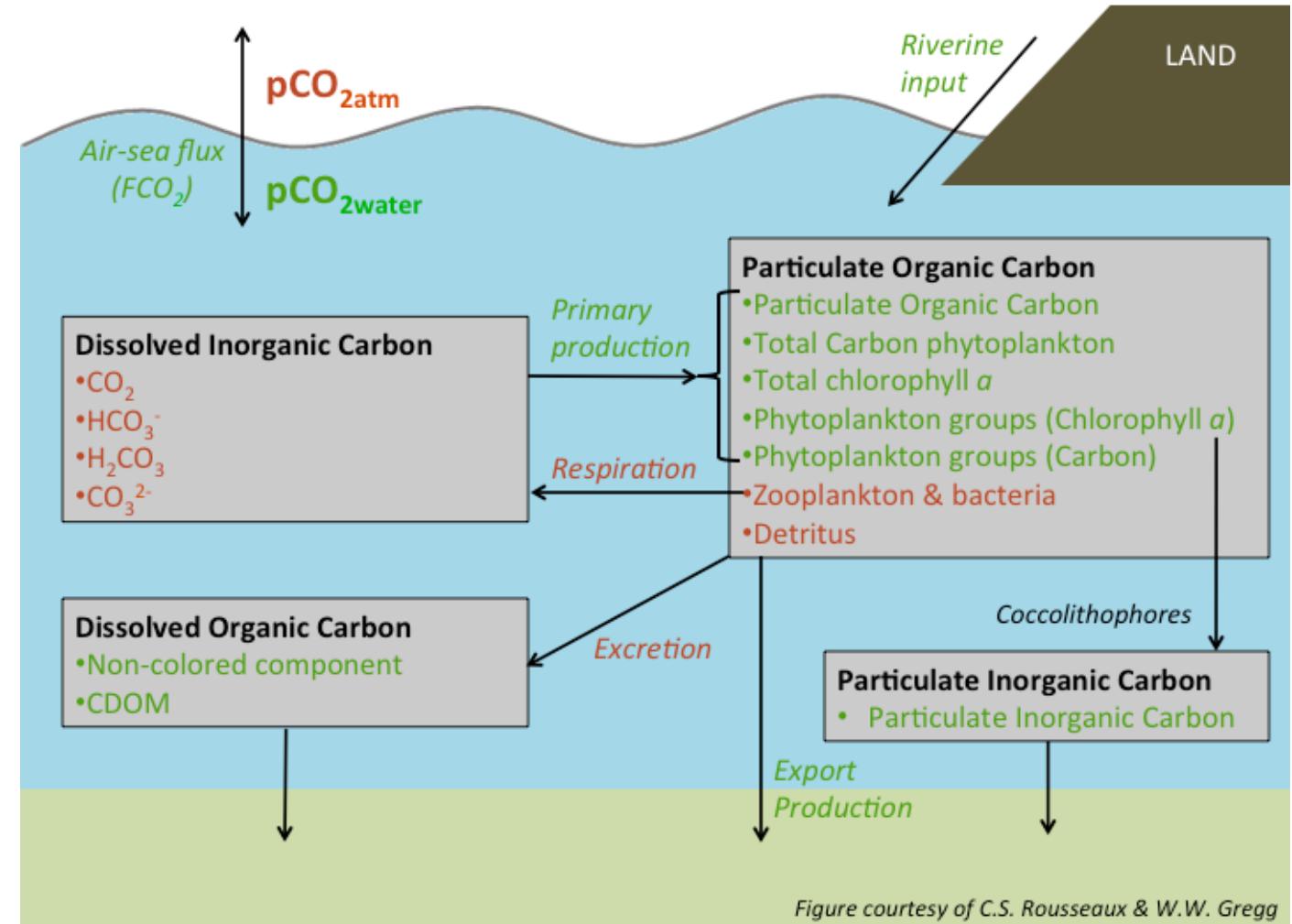
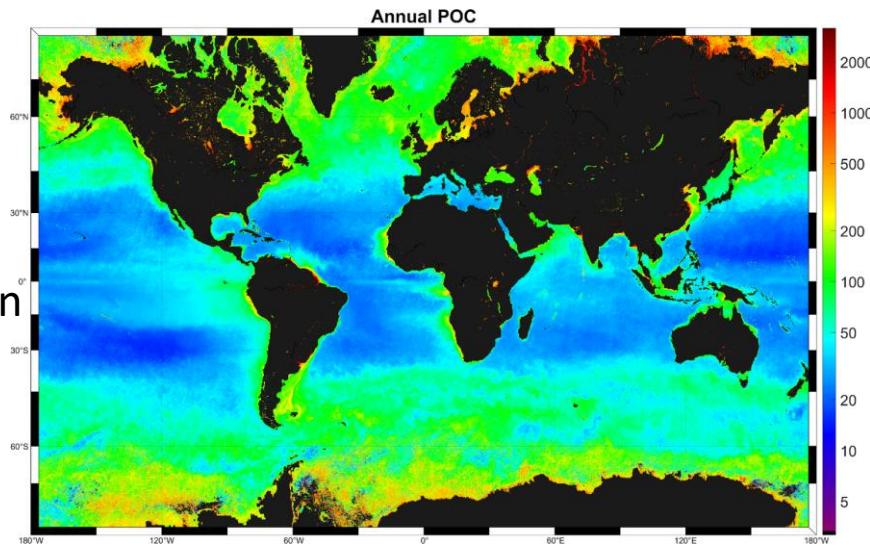


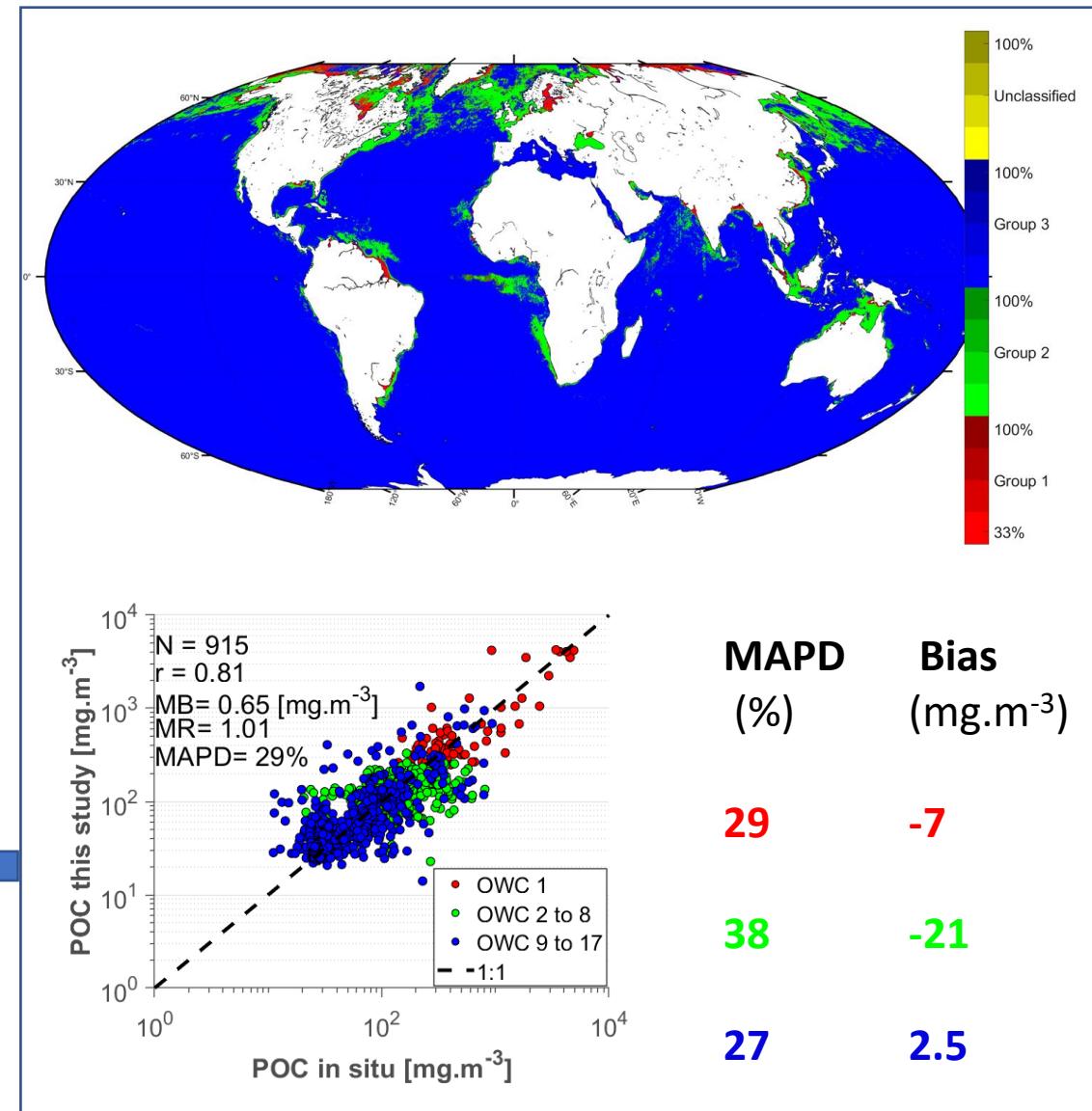
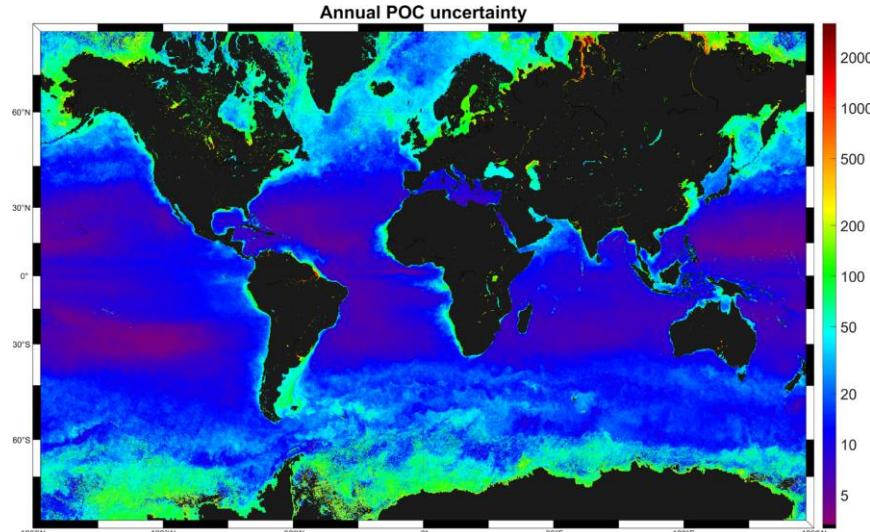
Figure courtesy of C.S. Rousseaux & W.W. Gregg

La complexité optique des eaux océaniques et côtières est maintenant appréhendée dans les algorithmes (approche par classification) permettant de mieux contraindre les incertitudes par pixel.

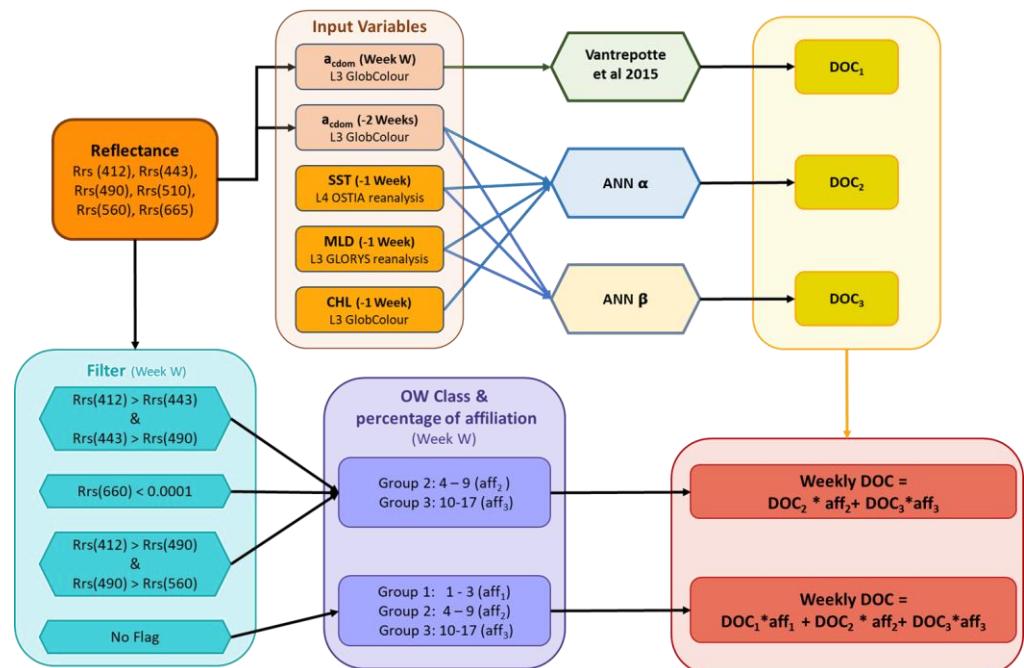
Concentration



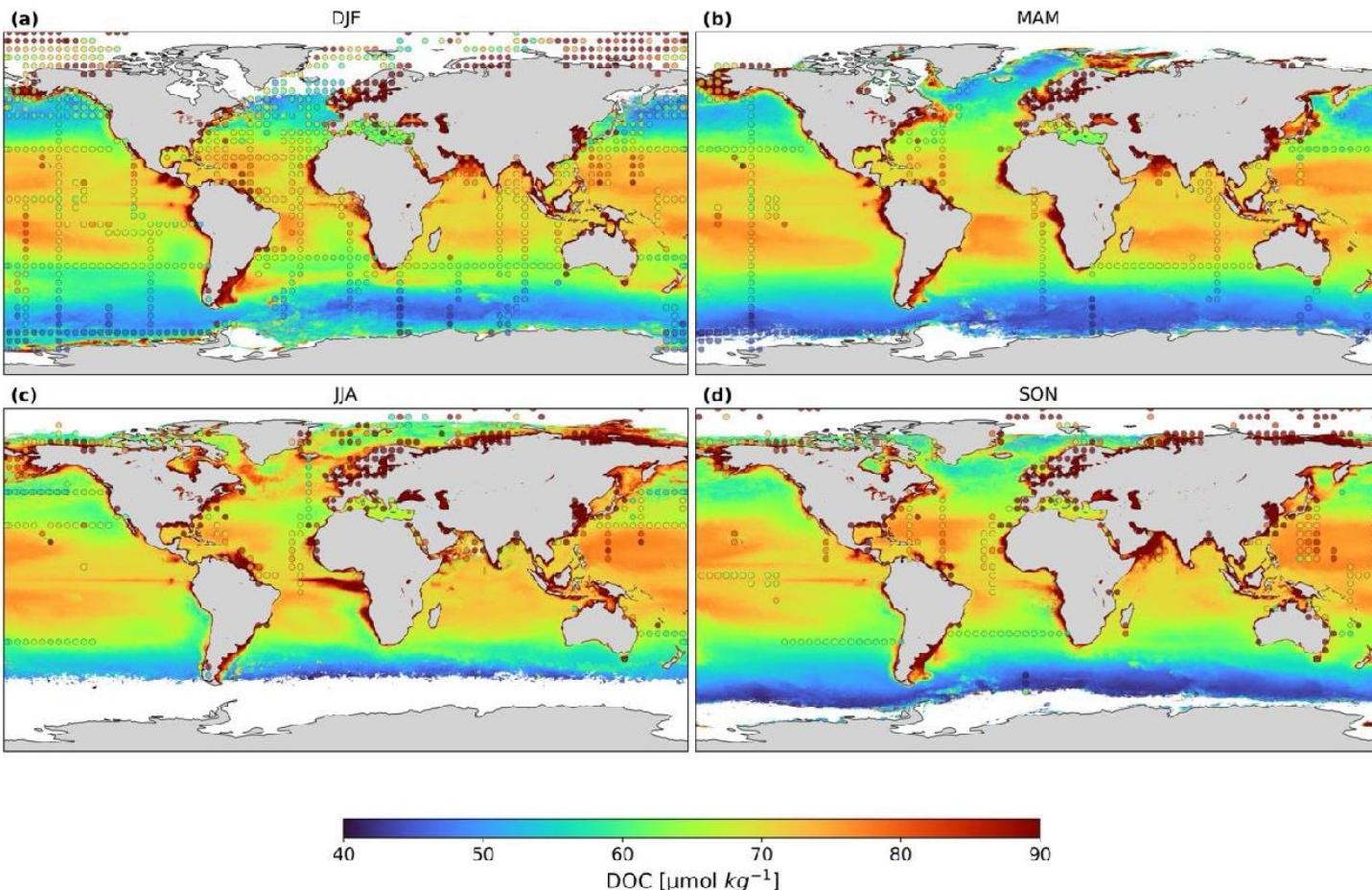
Incertitude



Le **DOC**, principal réservoir de carbone organique, peut depuis très récemment être estimé depuis l'espace grâce à une approche algorithmique combinant des informations physiques (**MLD, SST**) et bio-optique (*Chla, $a_{cdom}(\lambda)$*) à différents pas de temps (prenant alors en compte les délais entre fixation de C et production de DOC).

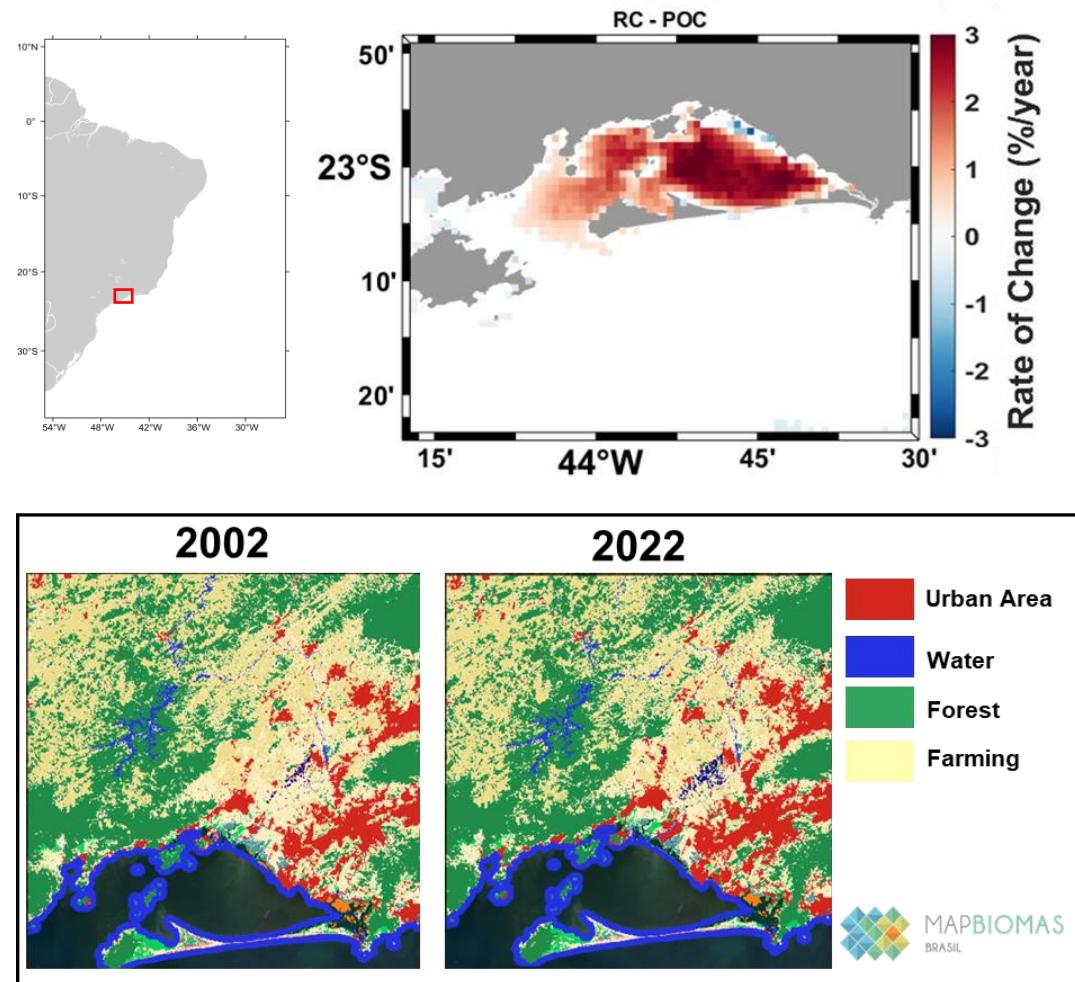


Bonelli et al., 2022
Montero et al. soumis

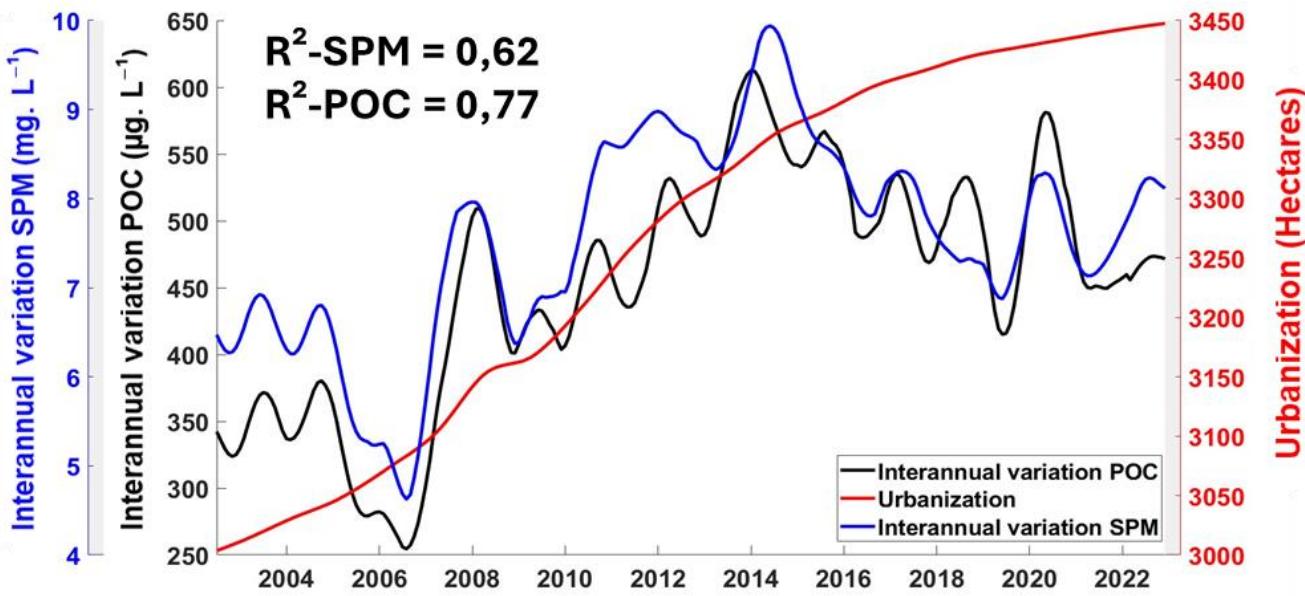


Les chaines de DOC et POC, développées dans le cadre de projet TOSCA, sont en cours de transmission au **Copernicus Marine Service** pour délivrer les produits vers la communauté.

La disponibilité des produits POC et DOC en global nous permet de mener des études sur les milieux côtiers où de très grandes incertitudes persistent quand leur rôle sur le cycle océanique du carbone (stocks, flux, évolution faces aux forçages naturels et anthropiques)

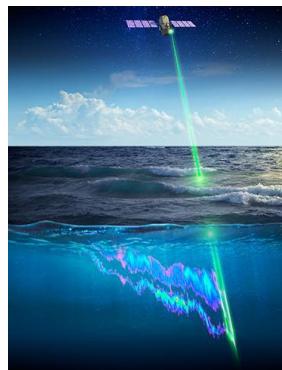


La très forte augmentation de POC dans la baie de Sepetiba (Brésil) est cohérente avec l'augmentation de l'urbanisation.

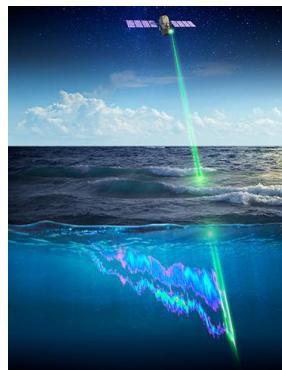


Les avancées et priorités récentes pour l'observation de la couleur de l'eau

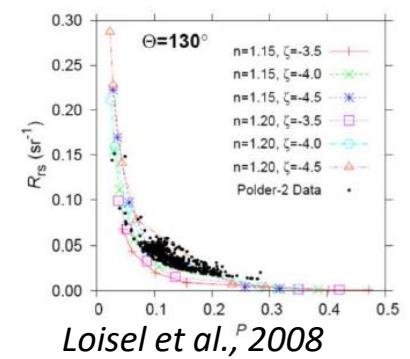
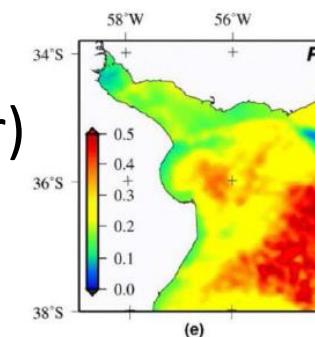
- **Hyperspectral** (meilleure identification des pigments, moins sensible au matériel détritique): PACE, OLCI-NG (ESA)



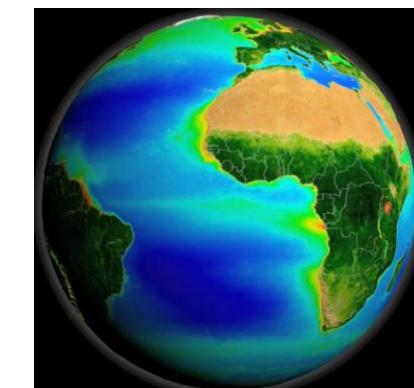
- **Lidar** (structure verticale)



- **Polarisation**: minéral vs. organique (POLDER a été pionnier)
3Mi, PACE



- **Géostationnaire couleur**: priorité remontée par la communauté couleur (océan ouvert, côtier, Physique et Biologique de l'océan)



La grande variété de couleurs rencontrée dans les eaux océaniques et côtières témoignent des interactions physiques, biologiques, et chimiques entre l'eau, la terre, et l'atmosphère.



Nicolas Floc'h: La couleur de l'eau