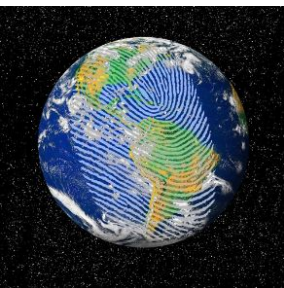
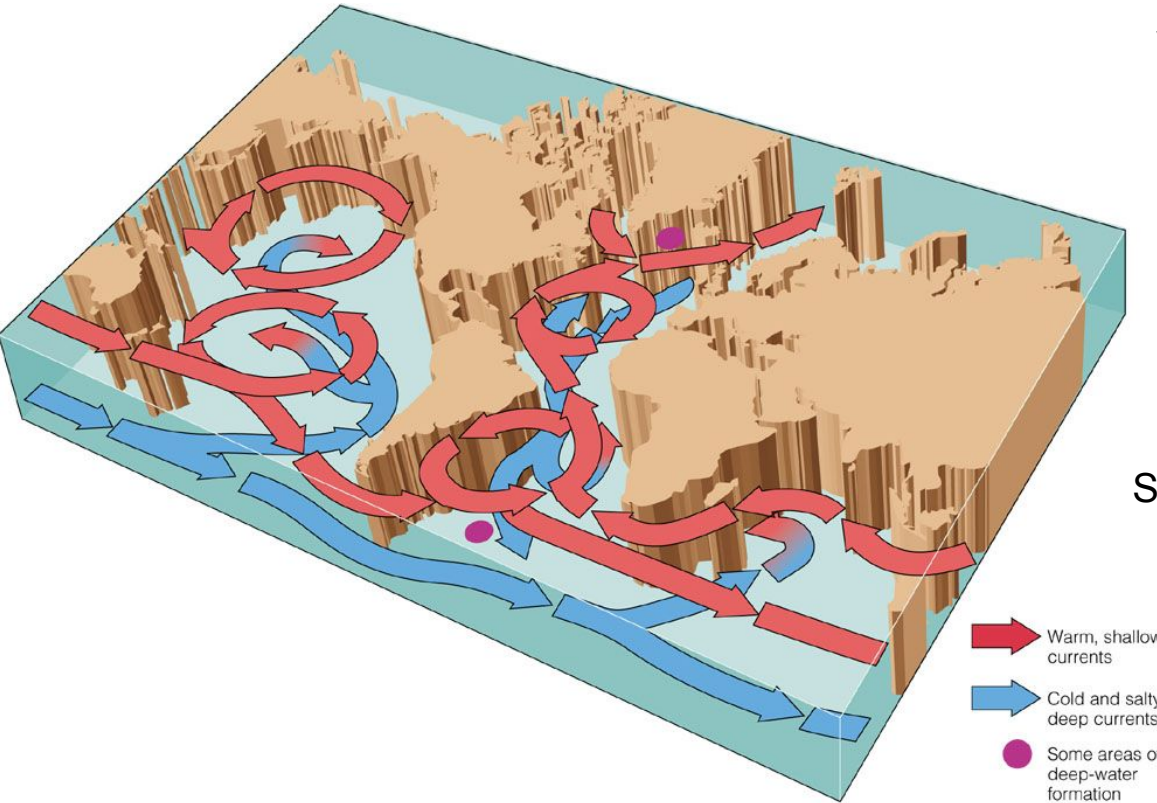


# AMOC & MOCC



impact anthropique




# AMOC : Atlantic Meridional Overturning Circulation (Circulation méridienne de retournement de l'Atlantique)



Vaste système de circulation océanique  
courants horizontaux et verticaux  
(stratification de la colonne d'eau)

Ce trajet peut durer  
des centaines d'années

S'intègre dans une circulation plus globale  
avec les autres bassins océaniques  
(El Niño...)

-  Warm, shallow currents
-  Cold and salty deep currents
-  Some areas of deep-water formation

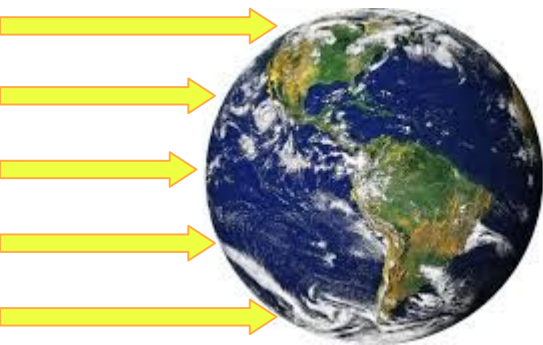
rôle majeur :  
régulation du climat  
(transport de chaleur)

# Comment se forme l'AMOC

## le soleil est le moteur

en fonction de la latitude

différence d'incidence => différence de température

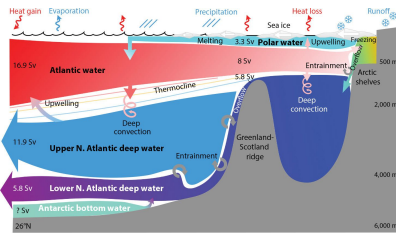


circulation **thermohaline**  
(thermo = température, haline = sel).

## la différence de densité est la clé du mécanisme

on a un courant vertical d'eau froide et salée qui descend vers les profondeurs

**convection profonde**



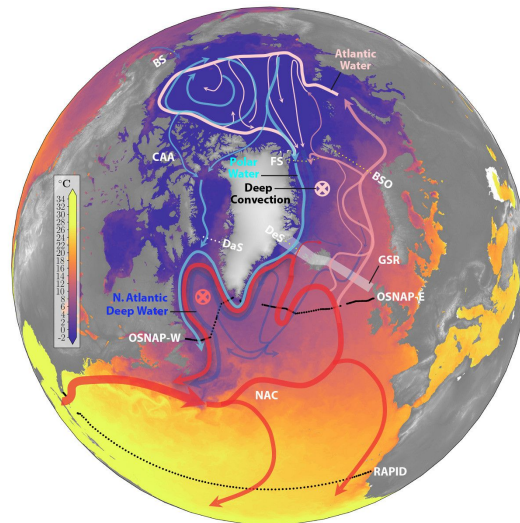
proche des pôles, l'eau s'enfonce :

car la densité augmente

- l'eau **refroidie** (densité max à 4°)

- la **salinité** de l'eau augmente (glace d'eau douce)

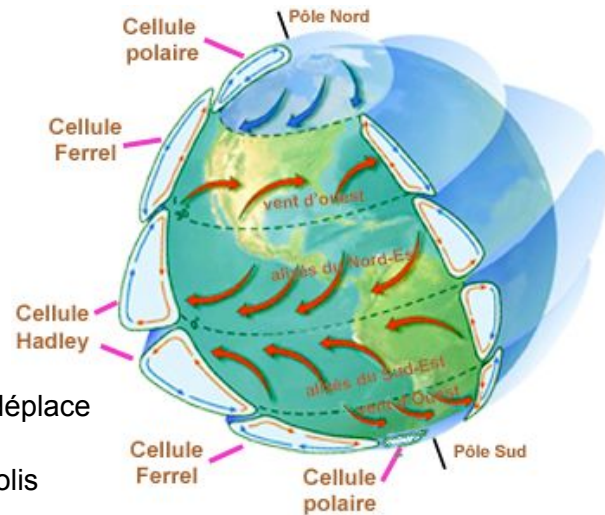
**phénomène de downwelling**



proche de l'équateur, l'eau est chauffée

=> la densité de l'eau diminue

=> l'eau chaude reste en surface.

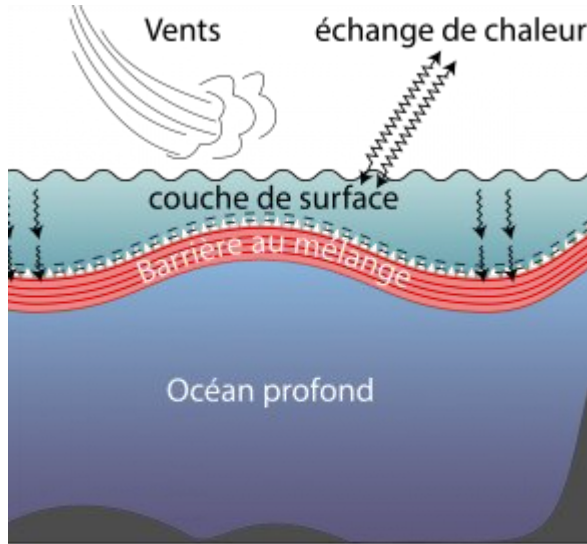


L'eau de surface se déplace

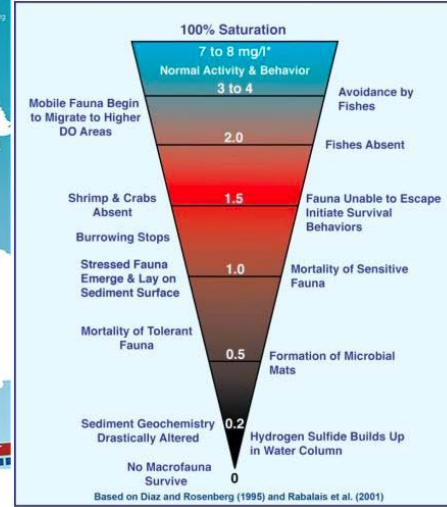
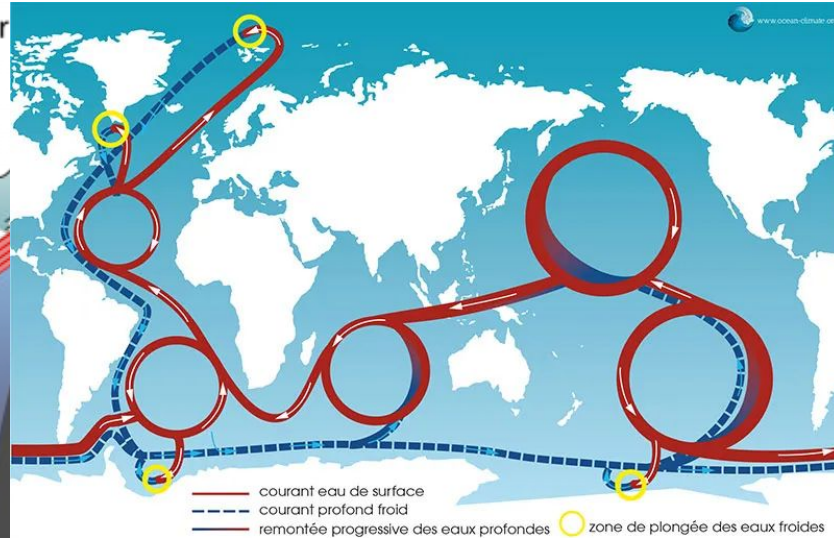
avec les vents

avec la force de Coriolis

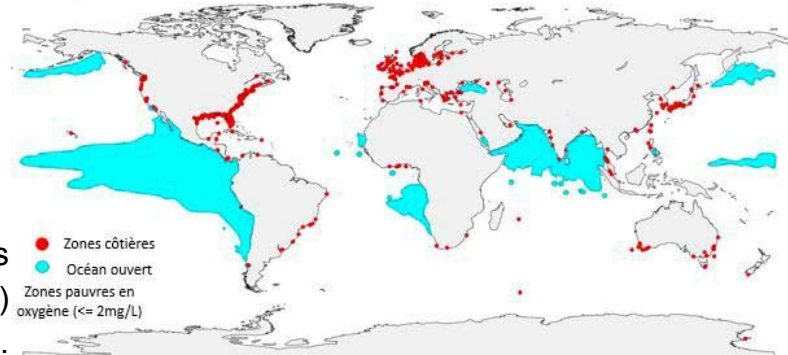
# Une eau de surface qui va oxygéner les profondeurs



Equateur



**L'eau froide  
dissout mieux  
l'Oxygène**

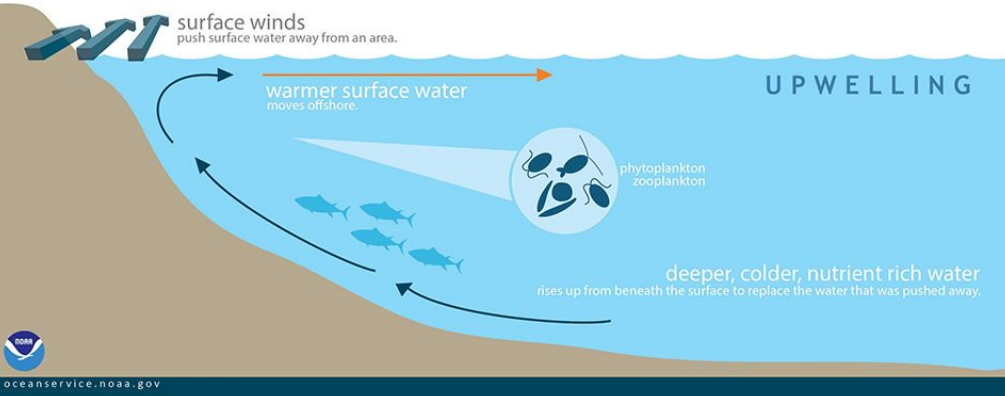


L'oxygénation des océans dépend de deux choses :

- l'échange en surface avec l'atmosphère
- la circulation vers les profondeurs.

elle empêche l'apparition de zones mortes  
soutient les cycles biogéochimiques (carbone, azote)  
plus d'hypoxie → modification des communautés microbiennes.

# L'eau profonde remonte enrichie



## upwelling

eau froide chargée en nutriment remonte à la surface (nitrates, phosphates, silice, ...)

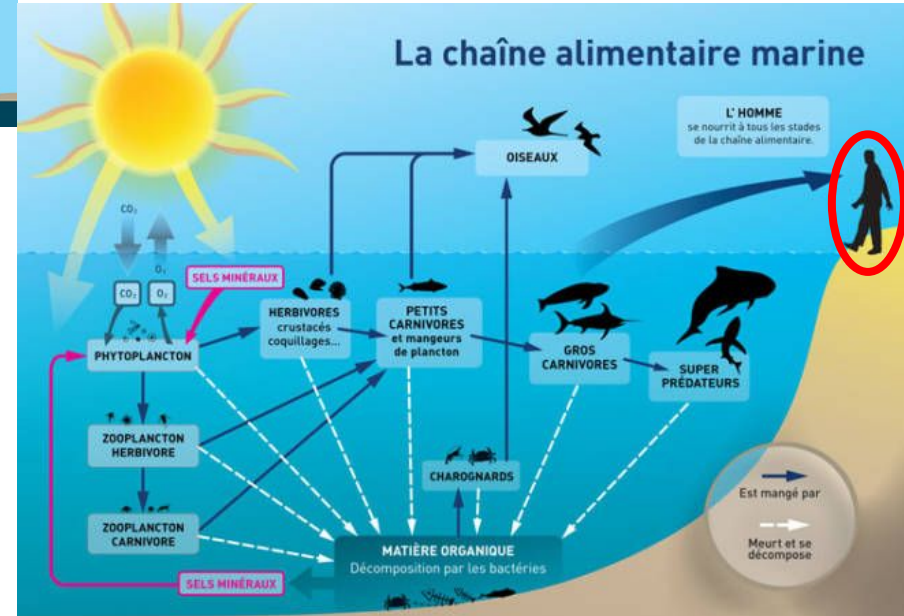
Ces nutriments nourrissent le phytoplancton base de toute la chaîne alimentaire.

Blooms de phytoplancton dépendent de trois facteurs : lumière / **nutriments** / **mélange vertical de l'eau**

AMOC → production du vivant



lumière et stratification de la colonne d'eau en fonction des saisons



# Biodiversité et courants marins



## Migration

passive (plancton)

subie (rémora)

active (necton)

alimentaire

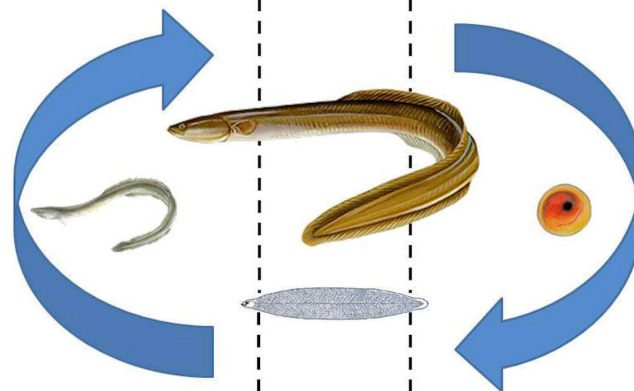
reproductrice

## cycle de vie catadrome

eau douce

estuaire

eau marine



eau douce

estuaire

eau marine

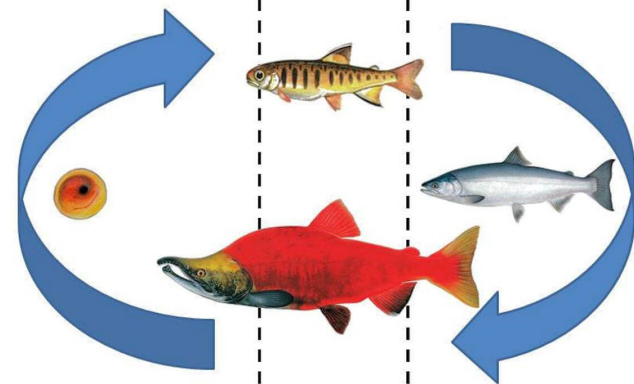
[www.aquaportail.com](http://www.aquaportail.com)

## cycle de vie anadrome

eau douce

estuaire

eau marine



eau douce

estuaire

eau marine

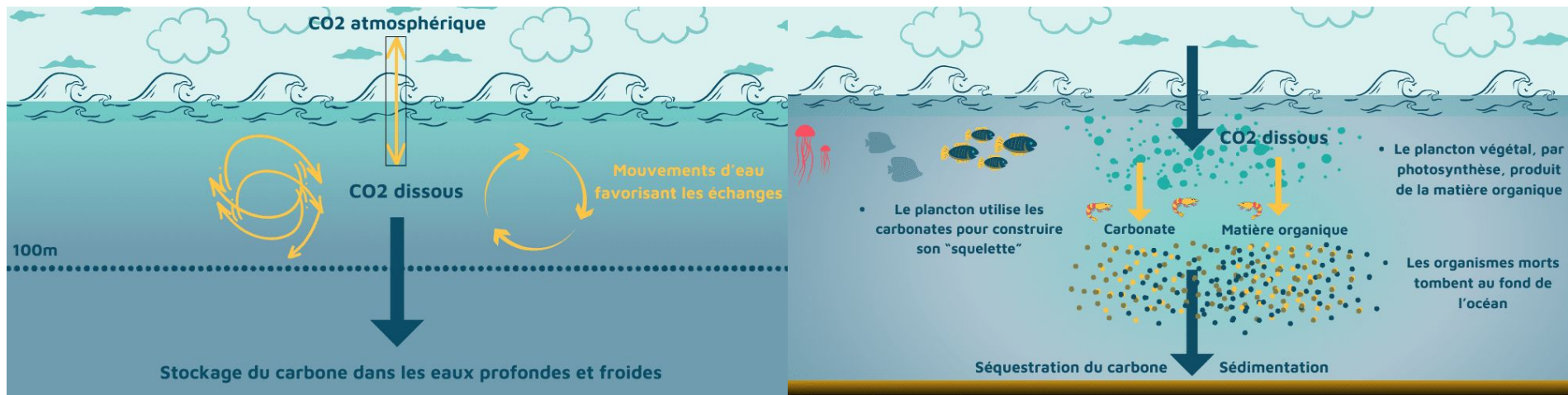
[www.aquaportail.com](http://www.aquaportail.com)

Une partie est proche de nous  
et l'autre est parfois loin de nous



# MOCC - Microbial Ocean Carbon Cycle

Cycle du carbone dans l'océan mais vu au travers des micro-organismes



L'AMOC fixe les conditions physiques dans lesquelles les micro-organismes du MOCC vivent.

Les micro-organismes du MOCC déterminent combien de carbone est absorbé.

Domaine : biogéochimie, écologie microbienne, océanographie biologique.

Echelles : Microscopique à biogéochimique (processus par lequel les éléments sont transformés par les êtres vivants)





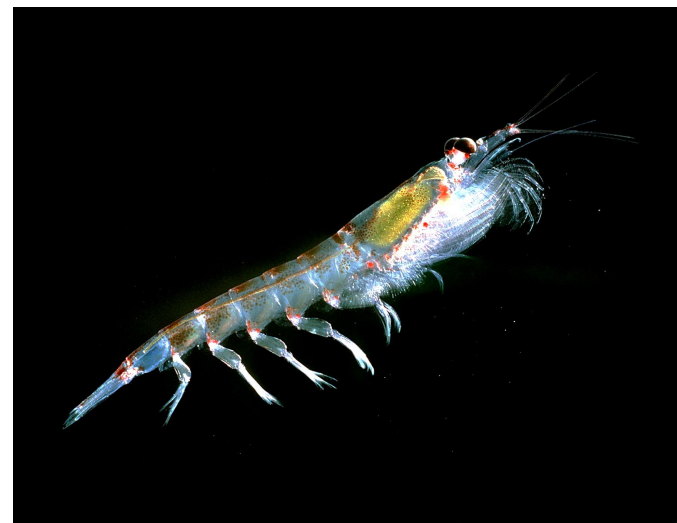
cyanobactérie

krill

diatomée pennée



pyrosome géant



Un géant planctonique

En pleine eau, la taille de cet individu a été estimée à 2 mètres.

Philippines, 10 m

[Michel DUNE](#)

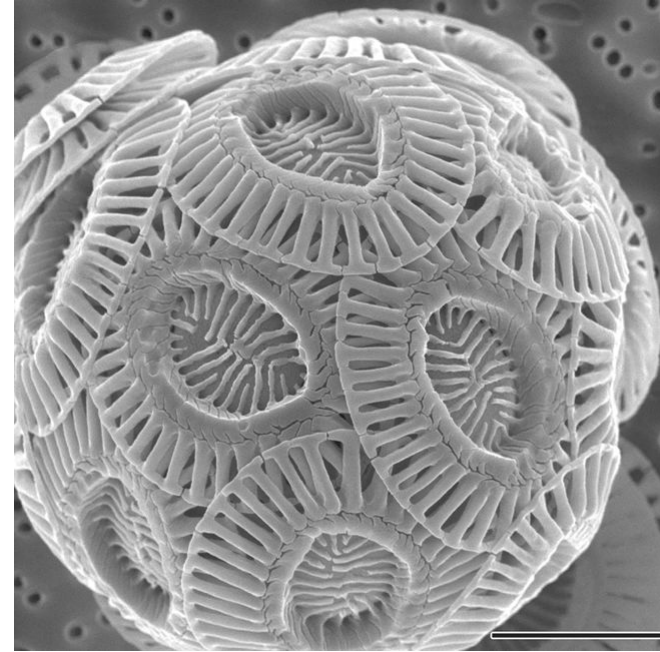
03/2016

Les coccolithophores sont des micro-algues.  
particularité : elles forment autour de leur unique cellule de minuscules plaques de calcaire

Efflorescence de coccolithophores vue de satellite



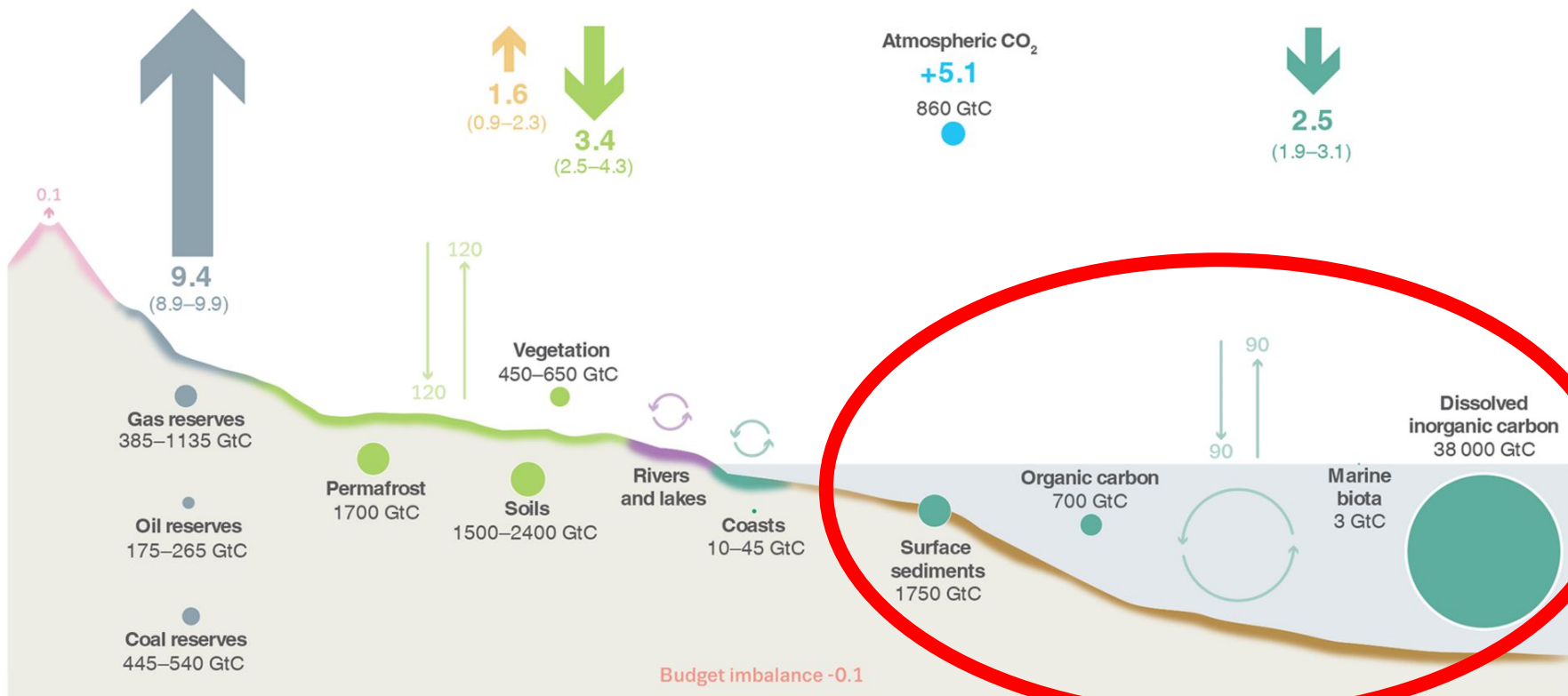
*Emiliana huxleyi*



**Impact anthropique**

dans qqs minutes

# The global carbon cycle



Anthropogenic fluxes 2010–2019 average GtC per year



Fossil CO<sub>2</sub> E<sub>FOS</sub>



Land-use change E<sub>LUC</sub>



Land uptake S<sub>LAND</sub>



Ocean uptake S<sub>OCEAN</sub>

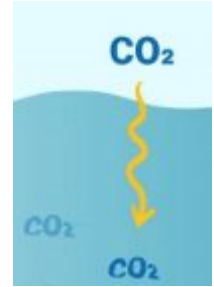
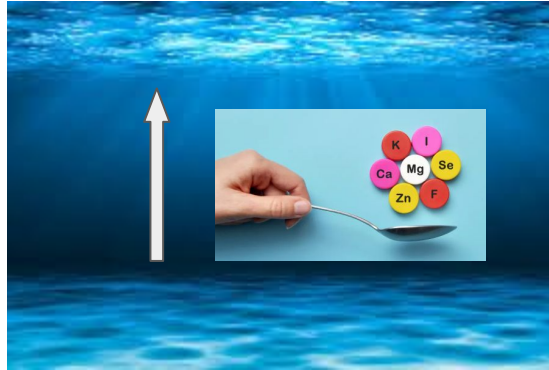
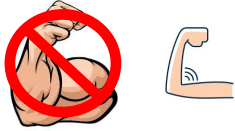
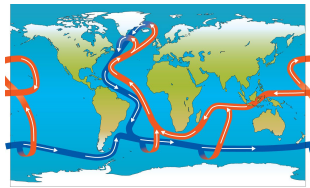
+ Atmospheric increase G<sub>ATM</sub>

■ Budget Imbalance B<sub>IM</sub>

↑ Carbon cycling GtC per year

● Stocks GtC

# L'AMOC influence le MOCC



**inhibition**  
~~stimulation~~ du  
phytoplancton



~~réduit~~ **augmente**  
la capture de CO<sub>2</sub>

croissance microbienne  
photosynthèse  
respiration  
oxygénation de l'océan profond  
**réduction de ces processus**



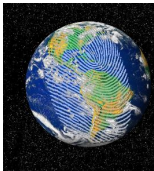
**faible**  
~~forte~~ montée des eaux profondes  
riches en nutriments

**réduit**  
~~augmente~~ la densité  
(température et salinité)

avec  
le réchauffement  
la fonte des glaces  
la modification du cycle hydro

AMOC fort => MOCC efficace

**Impact anthropique**



# Le MOCC stabilise ou déstabilise l'AMOC selon les conditions



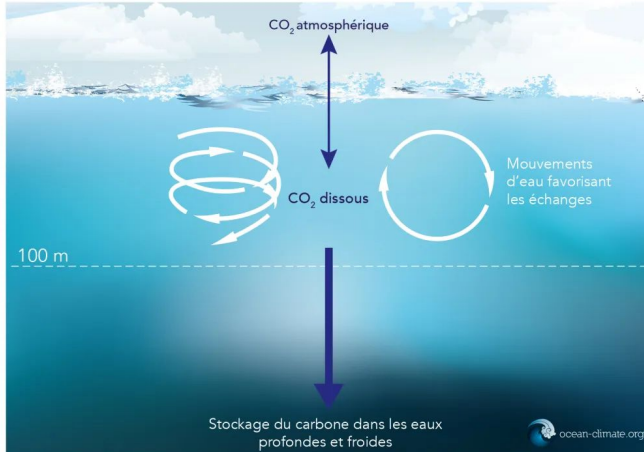
activité microbienne

- => séquestration de beaucoup de carbone en profondeur
- => l'océan absorbe plus de CO<sub>2</sub> atmosphérique
- => le climat se refroidit légèrement
- => ca renforce la densité des eaux nordiques



AMOC

réduction du processus



Pompe à carbone physique



autres phénomènes "naturel" ...

moins intuitif mais réel



activité microbienne en surface

amplification  
du processus

- => augmente la stratification
- => ralentit la plongée des eaux



AMOC

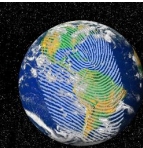
La décomposition microbienne libère chaleur et carbone dans l'eau profonde

- => influence la densité
- => modifie la circulation

déséquilibre

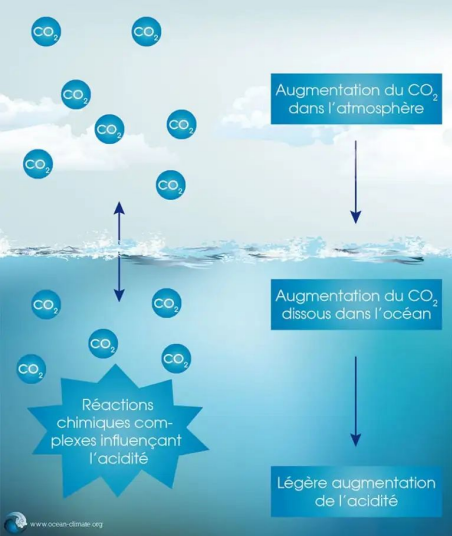
Tout est question de localisation et d'équilibre ...

Impact anthropique

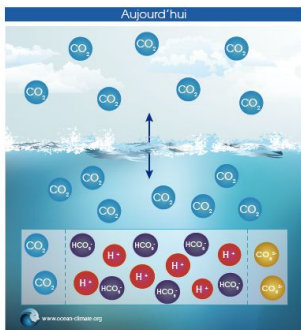
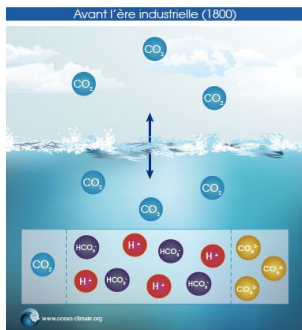


Risque d'effondrement ... mais l'océan peut être plus résilient qu'on le pensait

un AMOC fort avec une forte capacité de l'océan à absorber le CO<sub>2</sub> est aussi préjudiciable



En savoir plus sur le mécanisme chimique de l'acidification des océans



CO<sub>2</sub>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> et CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> sont en proportions stables

L'équilibre est déplacé:  
 CO<sub>2</sub> et HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> augmentent  
 CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> diminue  
 augmentation d'H<sup>+</sup> = augmentation de l'acidité

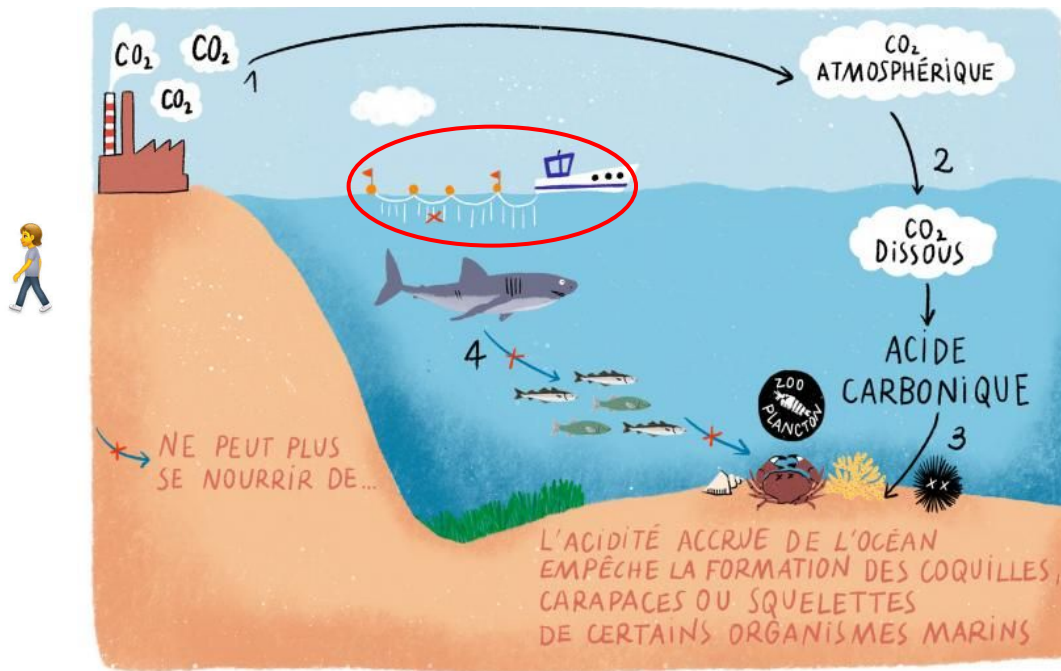
LÉGENDE

CO<sub>2</sub> = gaz carbonique  
 H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> = acide carbonique  
 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> = ion bicarbonate  
 CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> = ion carbonate  
 H<sup>+</sup> = ion hydrogène

À SAVOIR

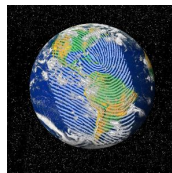
Dans l'eau, les trois composés CO<sub>2</sub>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> et CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> sont en proportions stables en fonction des conditions.

Le CO<sub>2</sub> dissous réagit avec l'eau:  $CO_2 + H_2O \rightleftharpoons H_2CO_3$   
 L'acide carbonique se dissocie:  $H_2CO_3 \rightleftharpoons HCO_3^- + H^+$   
 L'ion bicarbonate aussi:  $HCO_3^- \rightleftharpoons CO_3^{2-} + H^+$



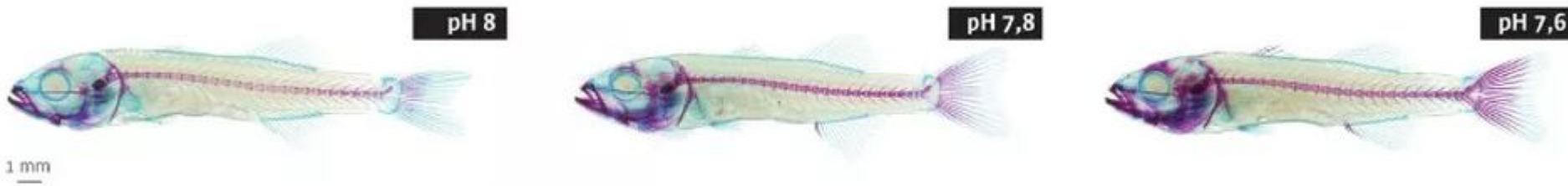
acidification des océans

Impact anthropique



# Impact de l'acidification sur les êtres vivants

Ossification des larves de bar selon le pH de l'eau (45 jours après l'éclosion)

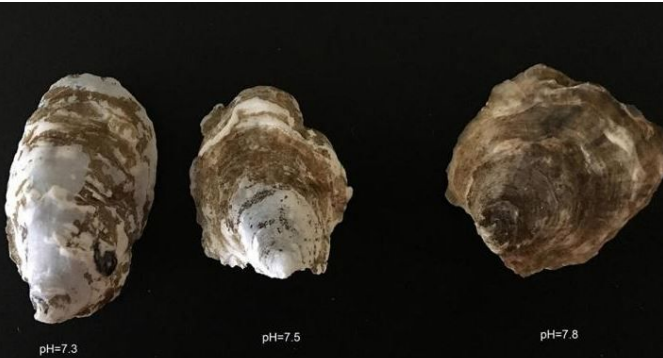


Eau de mer actuelle      Eau de mer plus acide

- dépense d'énergie pour réguler ses cellules
- néfaste à la création de coquille
- perturbe l'odorat et le comportement des poissons

=> diminution de la croissance, de la reproduction

=> augmentation de la prédation



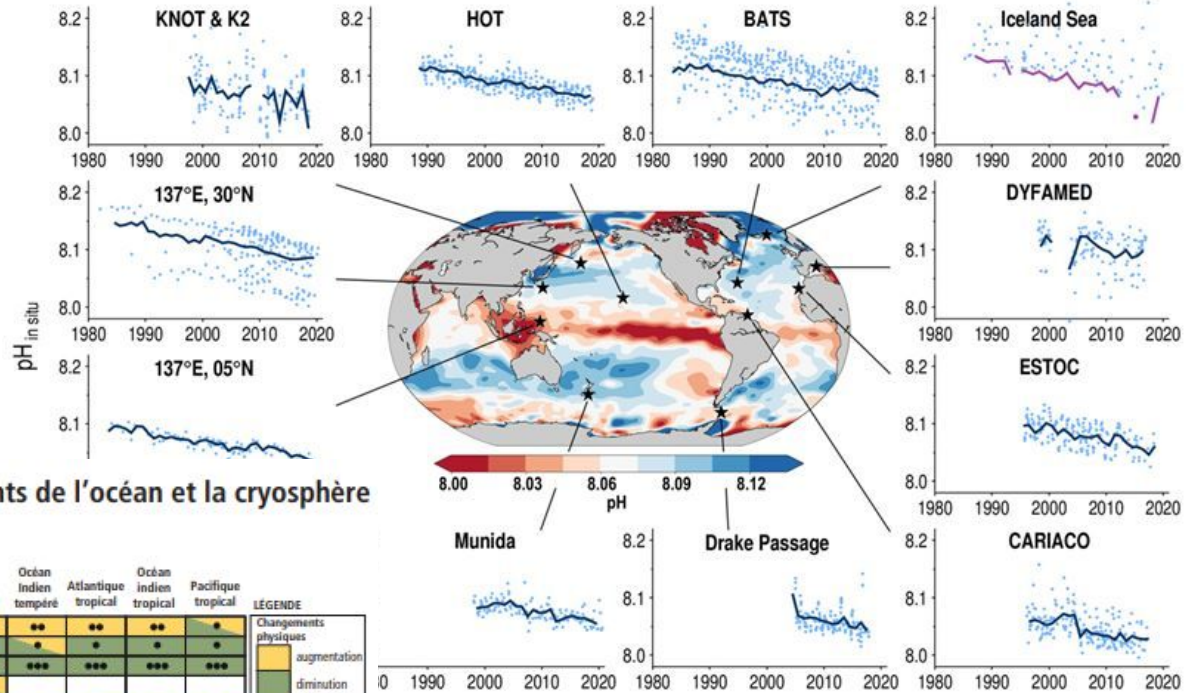
vu un peu plus tot ...



la taille des sardines est passée de 15 à 11 cm  
leur poids de 30 g à 10 g

# Acidification des océans

effet non linéaire



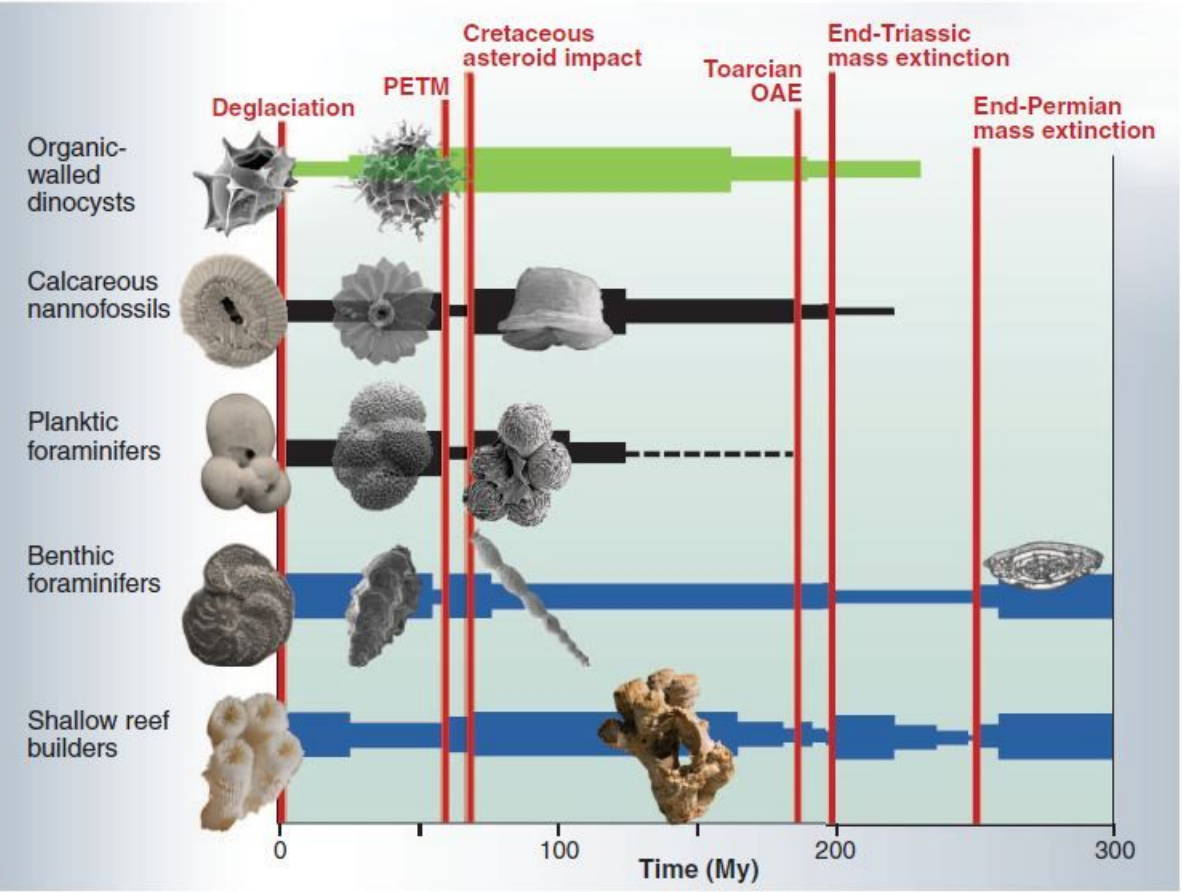
## Impacts régionaux observés résultant de changements de l'océan et la cryosphère

Attribution	Océan	Océan										LÉGENDE			
		Arctique	EBUS <sup>1</sup>	Atlantique Nord	Pacifique Nord	Atlantique Sud	Pacifique Sud	Océan Austral	Océan Indien tempéré	Atlantique tropical	Océan Indien tropical		Pacifique tropical		
Gaz à effet de serre	Changements physiques	Température	**	*	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
		Oxygène		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
		pH de l'océan	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
		Étendue de la glace de mer	***												
Changements climatiques	Écosystèmes	Niveau de la mer	*	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
		Partie supérieure de la colonne d'eau	**	*	***	**	**	**	**	*	**	**	**	**	**
		Coraux						**			**	**	**	**	**
		Zones humides côtières			**	**	**	**		**	**	**	**	**	**
		Forêts de laminaires	**	**	**	**	**	**		**	**	**	**	*	*
		Côtes rocheuses			***	**	**	**		*	*	*	*	*	*
		Grands fonds													
		Benthos polaire	**	*					**	*	*	*	*	*	*
		Liés à la glace de mer	**	*					**	*	*	*	*	*	*
		Systèmes humains et services écosystémiques	Systèmes humains et services écosystémiques	Pêcheries	**	*	***	*	*	*	*	*	*	*	*
Tourisme	**			*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Services d'habitat	**			*	**	**	**	**	*	*	*	*	*	*	*
Transport/navigation	**			*					*	*	*	*	*	*	*
Services culturels	**			*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Piégeage côtier de carbone	**			*	**	**	*	*	*	*	*	*	*	*	*

<sup>1</sup> Zones de remontée d'eau profonde sur les marges Est des bassins océaniques (courants de Benguela, des Canaries, de Californie et de Humboldt) (encadré 5.3)



A Ischia, en mer éolienne, près du Stromboli, des bulles froides de CO<sub>2</sub> s'échappent naturellement du fond de l'océan. Une étude menée par le laboratoire de Villefranche a montré que les herbiers à Posidonies profitent de ce phénomène.



par le passé le cocktail

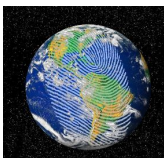
- perte d'oxygène
- réchauffement climatique
- acidification des océans

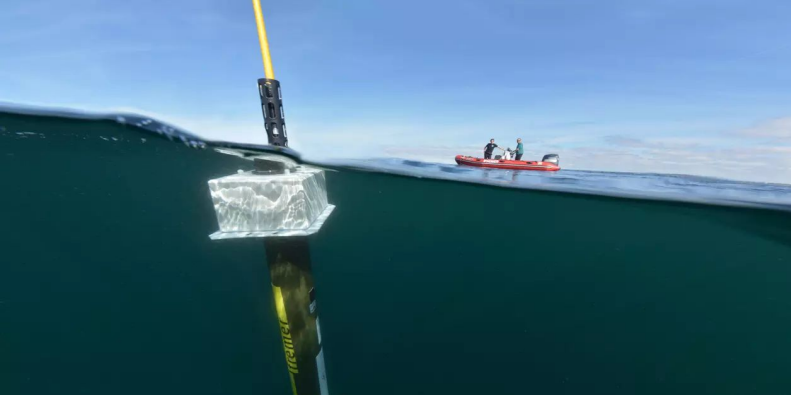
a systématiquement mené à une

# Extinction de masse



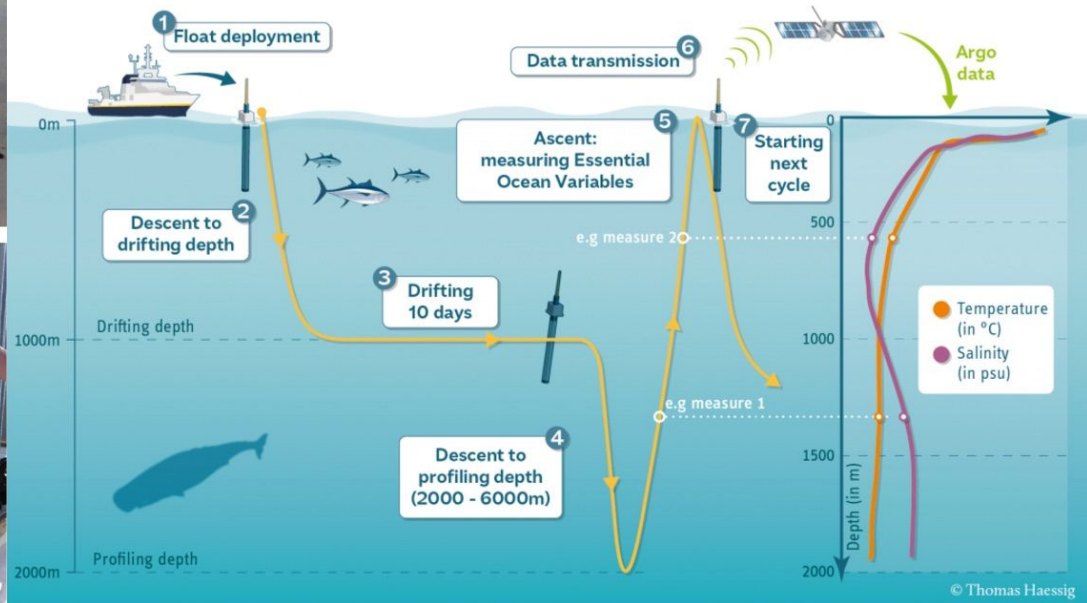
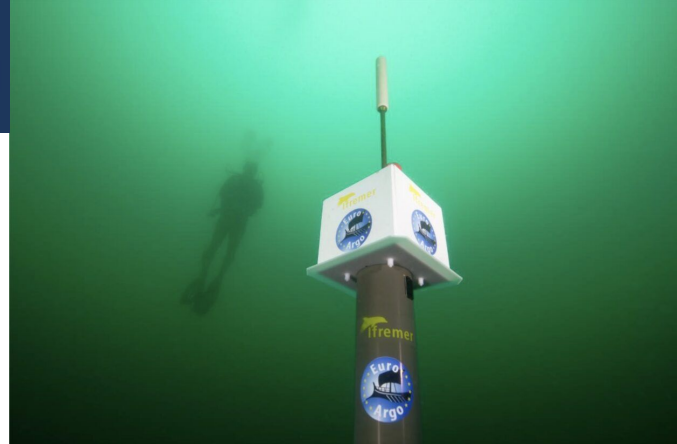
Impact anthropique

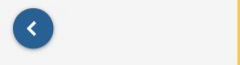




Fondation  
**tara océan**  
explorer et partager

**ARGO** France  
Observatoire Océanographique Global





### About Float

WMO  
6902864

Float serial number  
A12600-17FR021

Transmission system  
IRIDIUM

Owner  
IFREMER

Sensors  
CTD\_PRES, CTD\_TEMP, CT

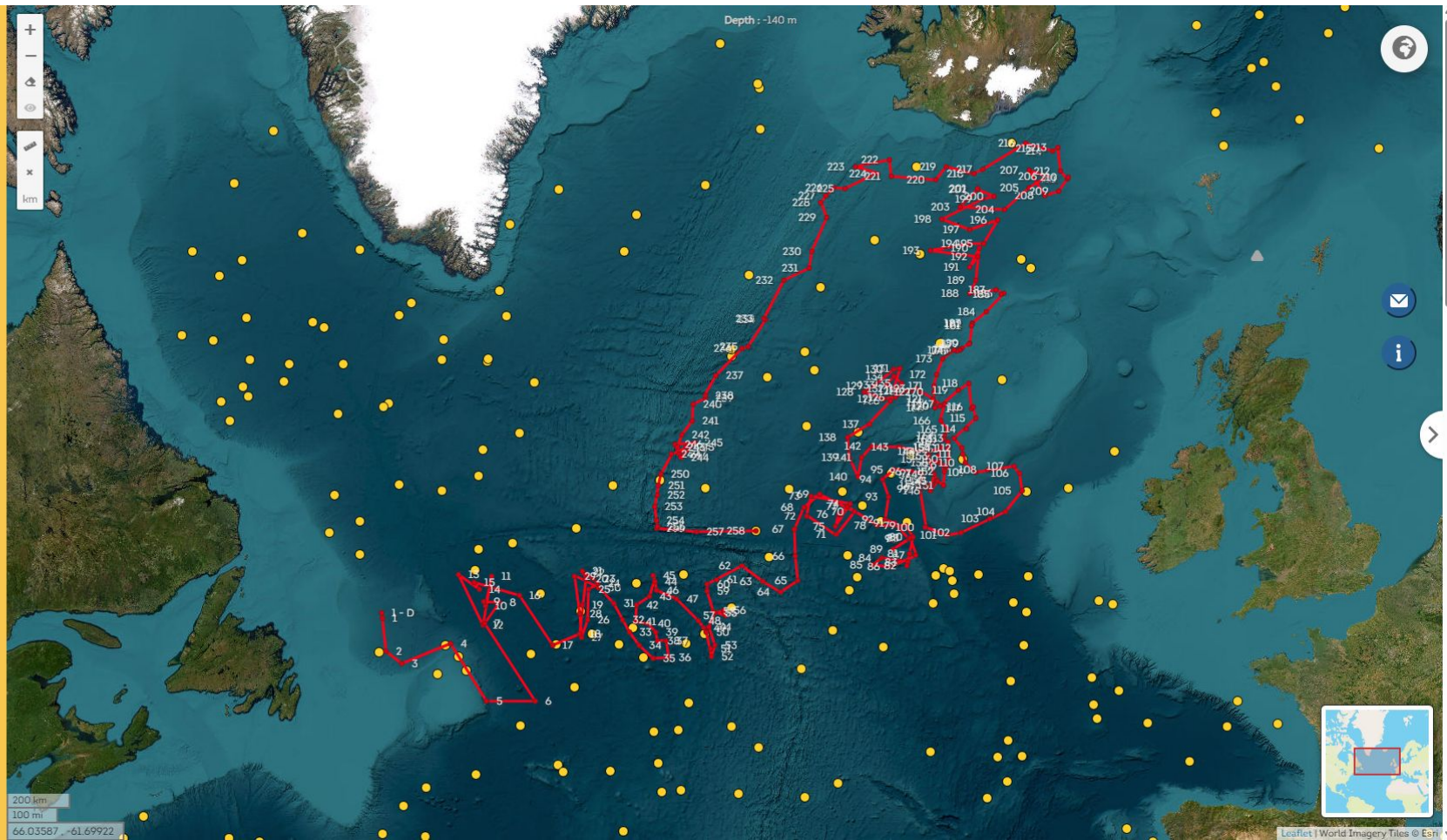
### Deployment

Launched 7 years ago  
29/11/2018 12:47:00

Deployment Latitude  
50.18

Ship  
Hudson uri:https://vocab.n

Project  
GMMC OBLADY



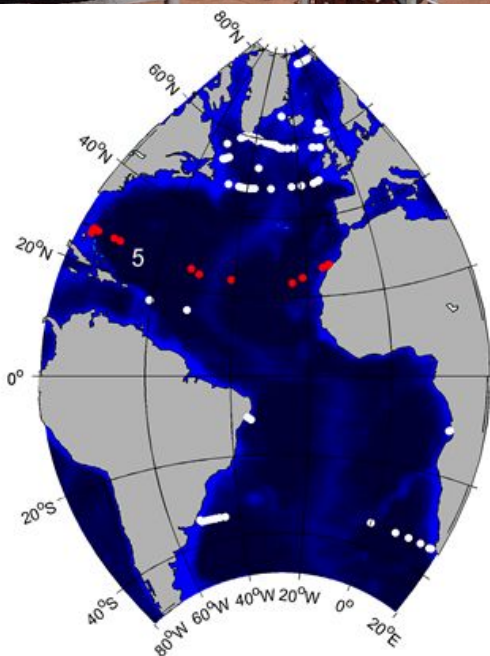
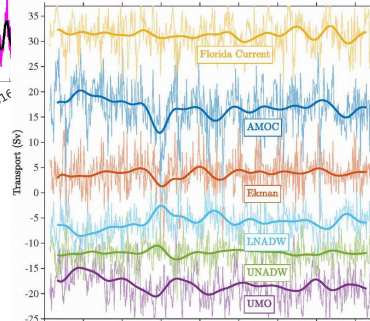
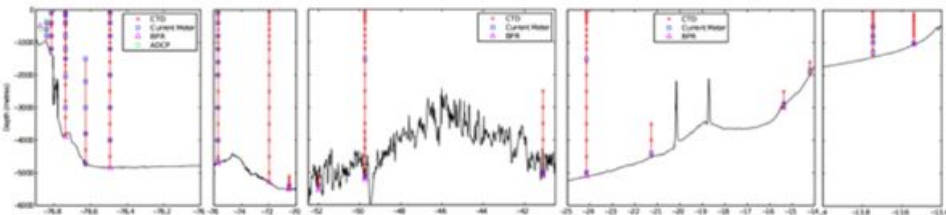
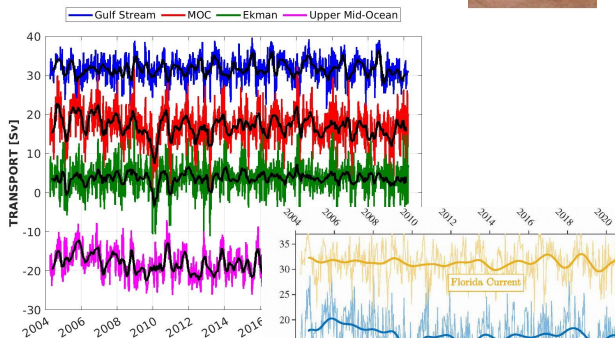
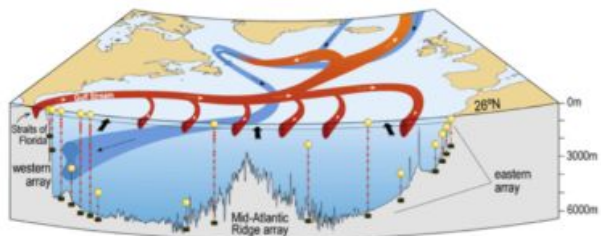
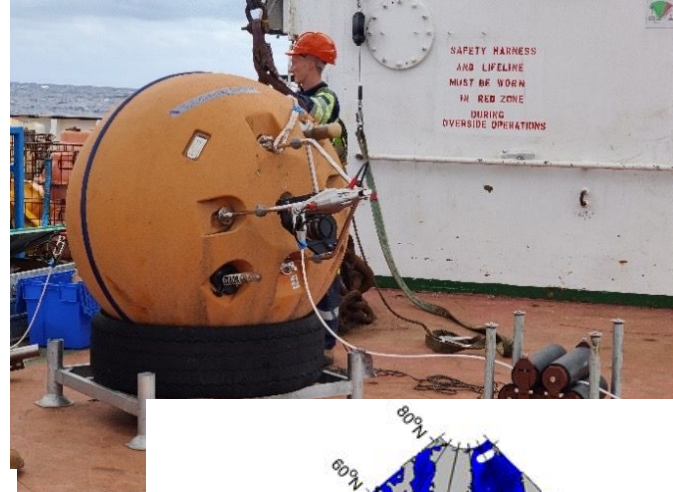
200 km  
100 mi  
66.03587 -61.69922

# Rapid Climate Change

## Meridional Overturning Circulation Heat-flux Array

L'intensité de l'AMOC à une latitude donnée (par ex. 26,5°N) est définie comme :

- le transport total d'eau vers le nord dans les couches supérieures,
- compensé par un transport vers le sud en profondeur,
- exprimé en **Sverdrup** (1 Sv vaut 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/s)

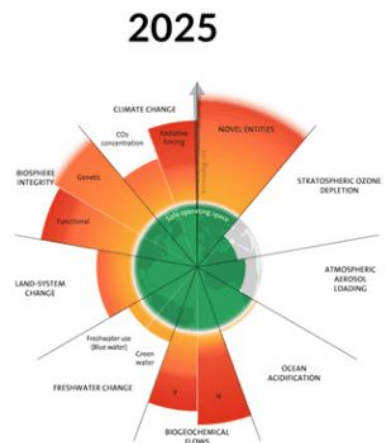
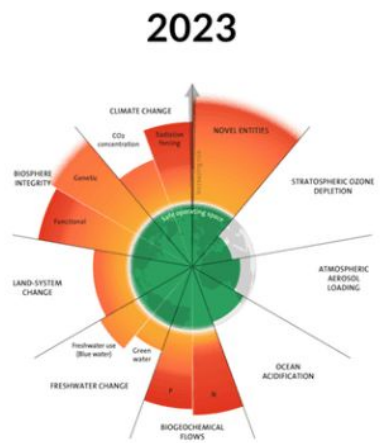
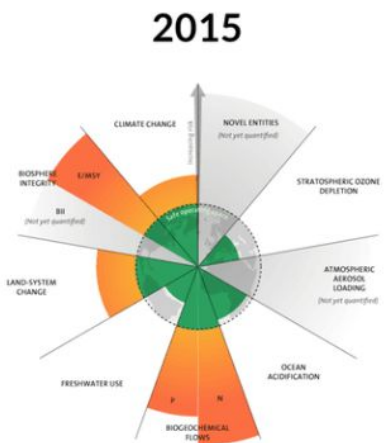
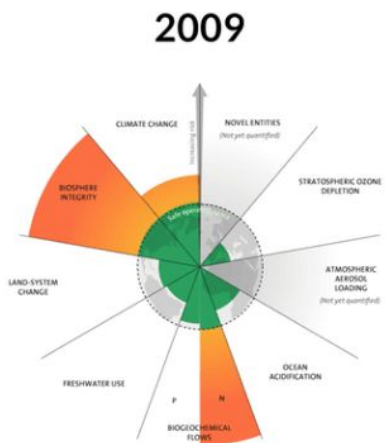
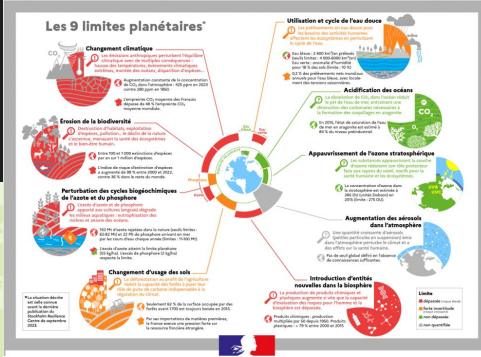


# L'Agenda 2030 en France


## Le site des objectifs de développement durable (ODD)


### La septième limite planétaire franchie : acidification des océans

Publié le 28 septembre 2025





# le couple AMOC & MOCC est l'architecte de la vie

Transport de chaleur : ~~Détermine~~ les zones habitables  / ~~Influence~~ migrations et reproduction  
**Déplace** **Perturbe**

Transport de nutriments (upwelling) : ~~Alimente~~ le phytoplancton / ~~Soutient~~ toute la chaîne alimentaire /  
~~Favorise~~ les pêcheries  **Prive** **Réduit**  
**Pénalise**

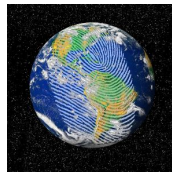
Oxygénation des profondeurs : ~~Permet~~ la vie abyssale / ~~Limite~~ les zones mortes  
**Limite** **Augmente**

Stabilité des courants : ~~Maintient~~ les routes migratoires essentielles pour thons, anguilles, baleines.   
**Casse**

Régulation du climat côtier : ~~Influence~~ les écosystèmes côtiers / ~~Aide~~ herbiers, récifs froids, larves   
**Déséquilibre** **Affecte**

Variabilité de productivité biologique : ~~Favorise~~ les stocks de poissons / ~~Fixe~~ les zones de pêche   
**Pénalise** **Déplace**

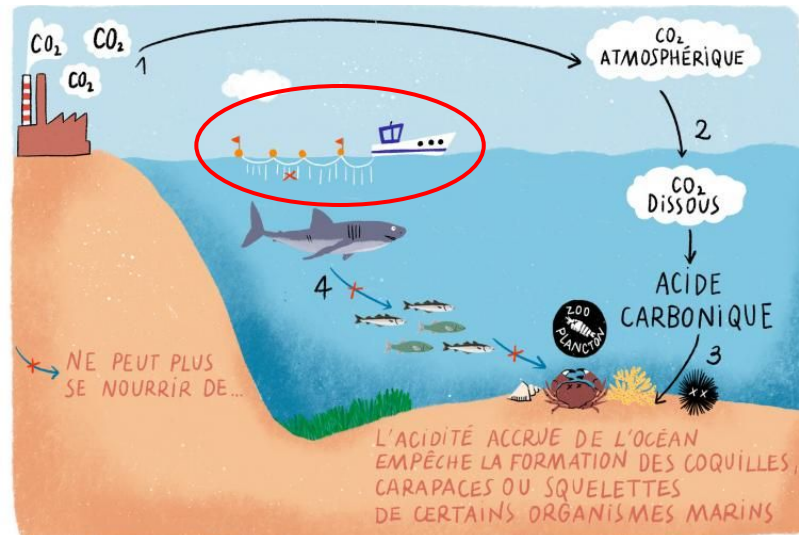
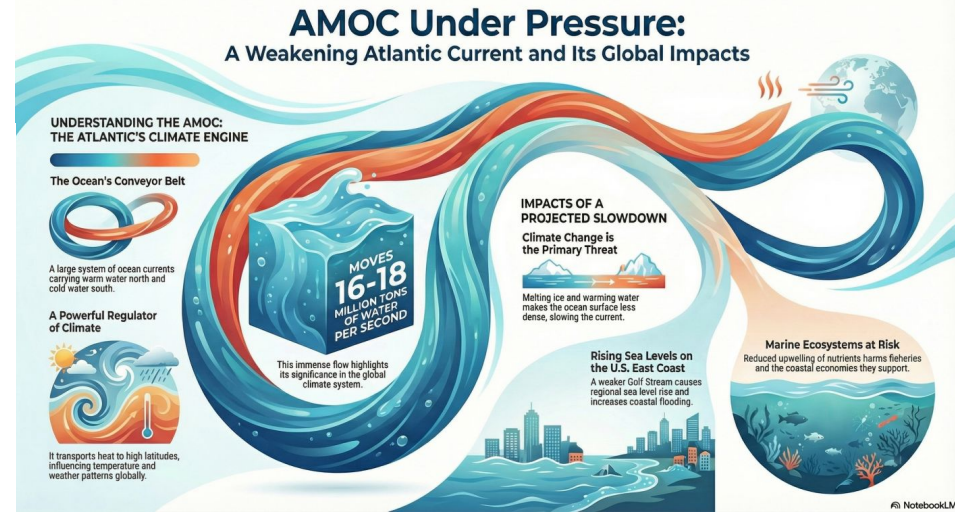
**Impact anthropique : transverse et rétroactif sur l'homme**



# Pour conclure...

Les océans sont traversés  
par de grands courants  
qui agissent comme des tapis roulants,  
ils régulent, équilibrent...

et finalement permettent la vie.



L'homme agit localement,  
de petites actions, à son petit niveau,  
mais ...  
sans réfléchir, il perturbe cette horlogerie,  
sans se rendre compte de l'impact global.

Il a oublié que lui aussi en fait partie,  
détruire ces grands cycles, c'est se perdre.

**Soyons égoïstes : pensons à nous et  
Protégeons les océans !**