



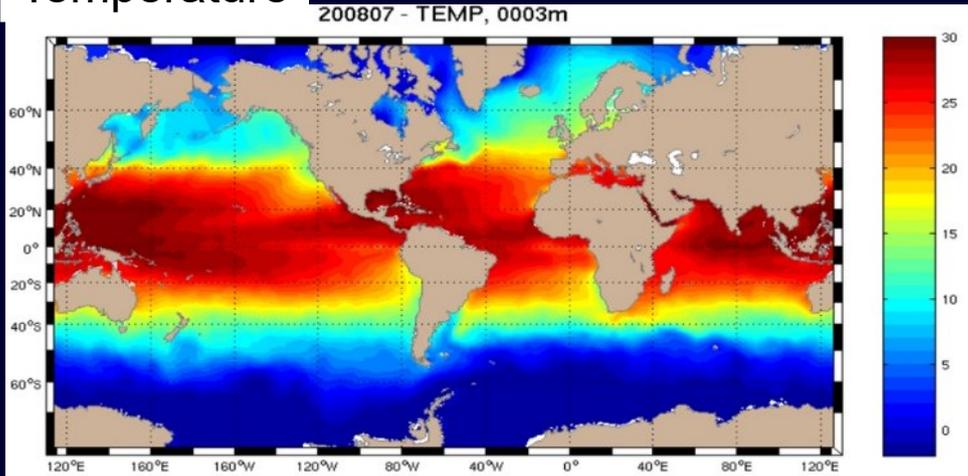
Cycle de "formation pour tous" en Océanographie : exposé 3 - A

Fonctionnement des systèmes pélagiques

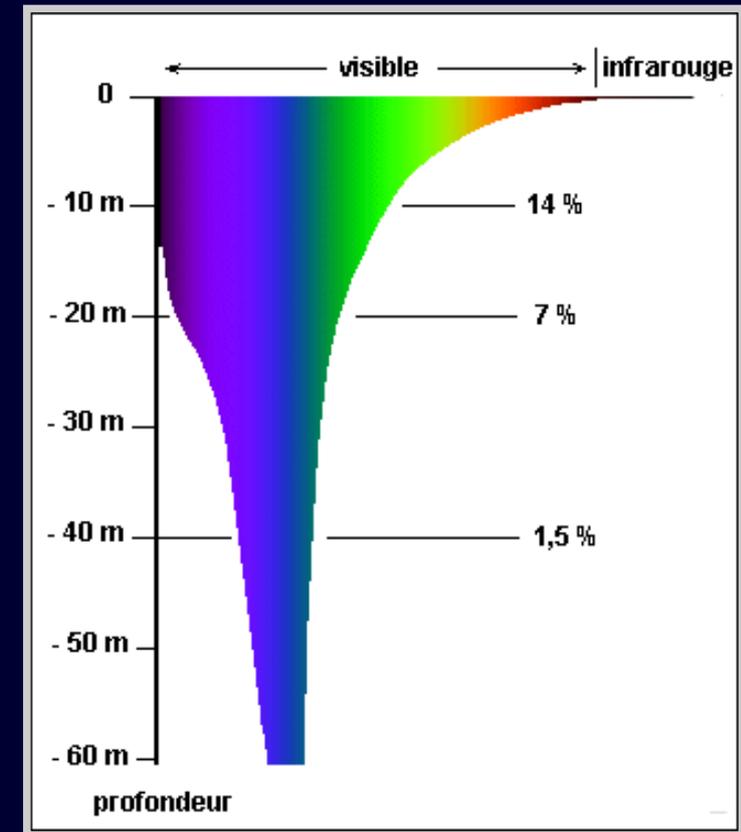


Le domaine pélagique : un espace en trois dimensions

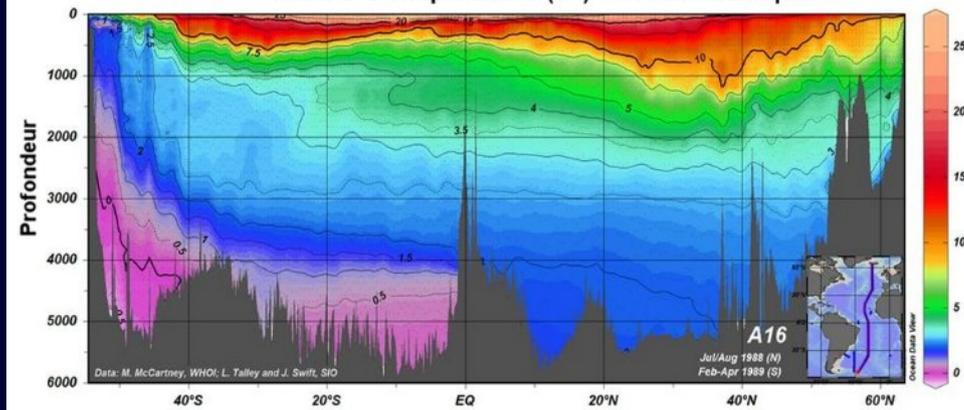
Température



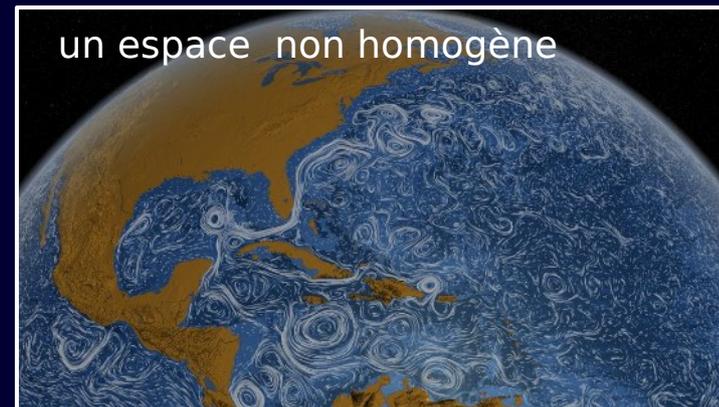
Lumière



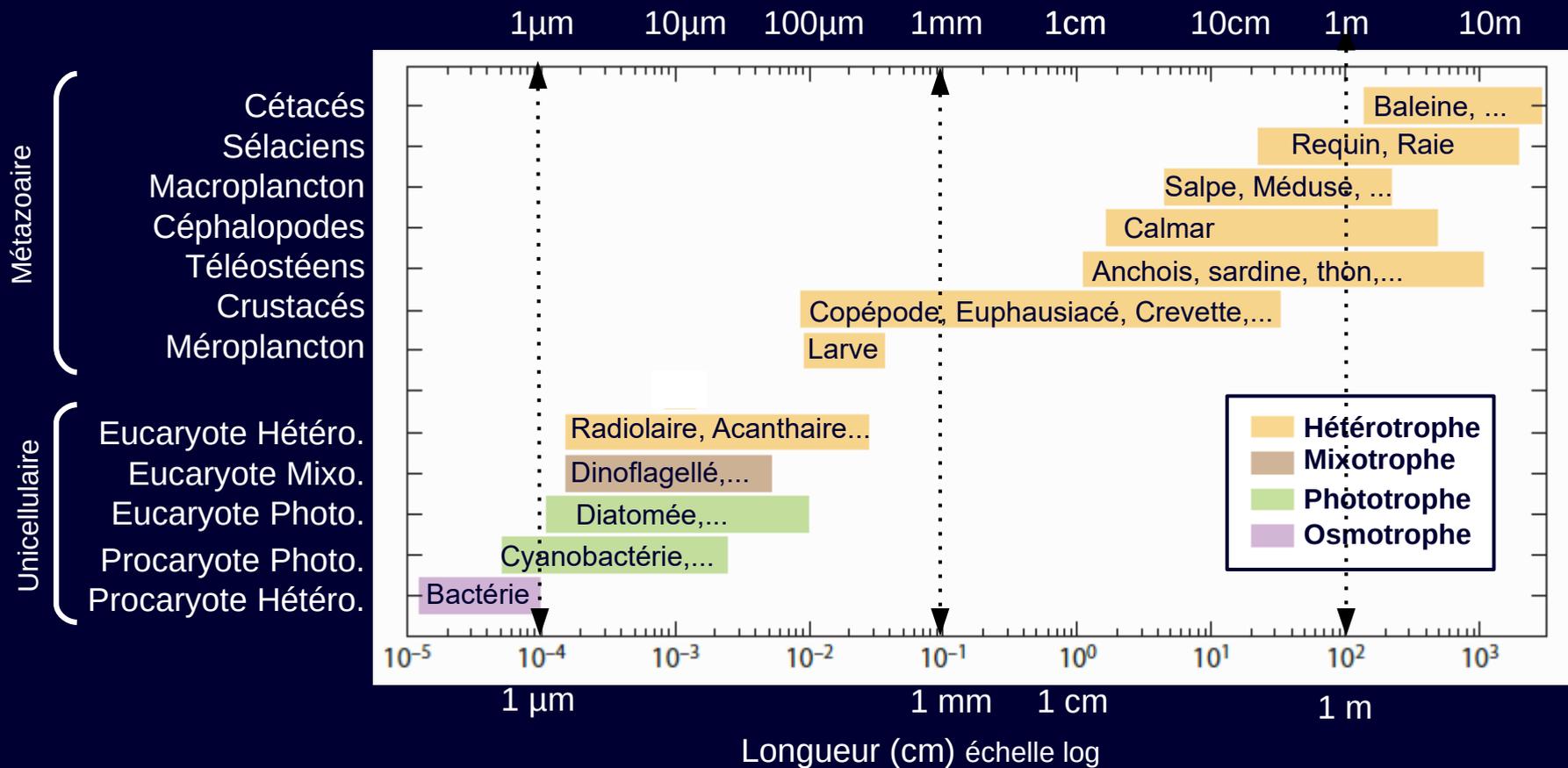
Profil des températures (C°) - Océan Atlantique



un espace non homogène



Domaine pélagique, stratégie trophique et taille des organismes



Osmotrophe
qui se nourrit de liquides absorbés par osmose à travers la membrane cellulaire

Phototrophe
qui dépend de la photosynthèse comme source de carbone. (Autotrophe)

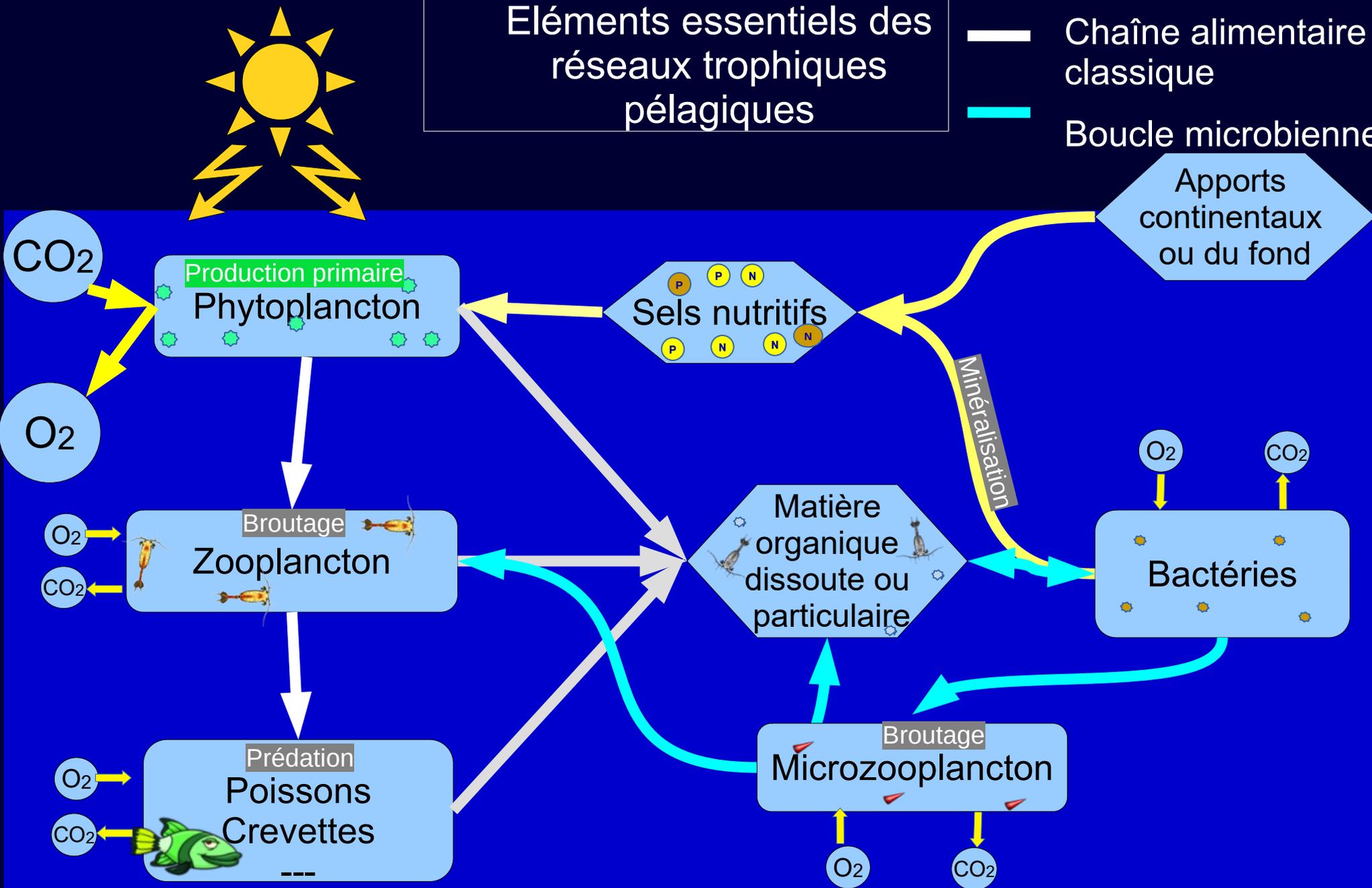
Mixotrophe
qui utilise une stratégie mixte combinant la photosynthèse avec la phagotrophie *

Hétérotrophe
qui se nourrit de substances organiques, ne peut effectuer la synthèse de ses éléments constitutants

* phagotrophie : se nourrit à partir de matière organique particulaire.

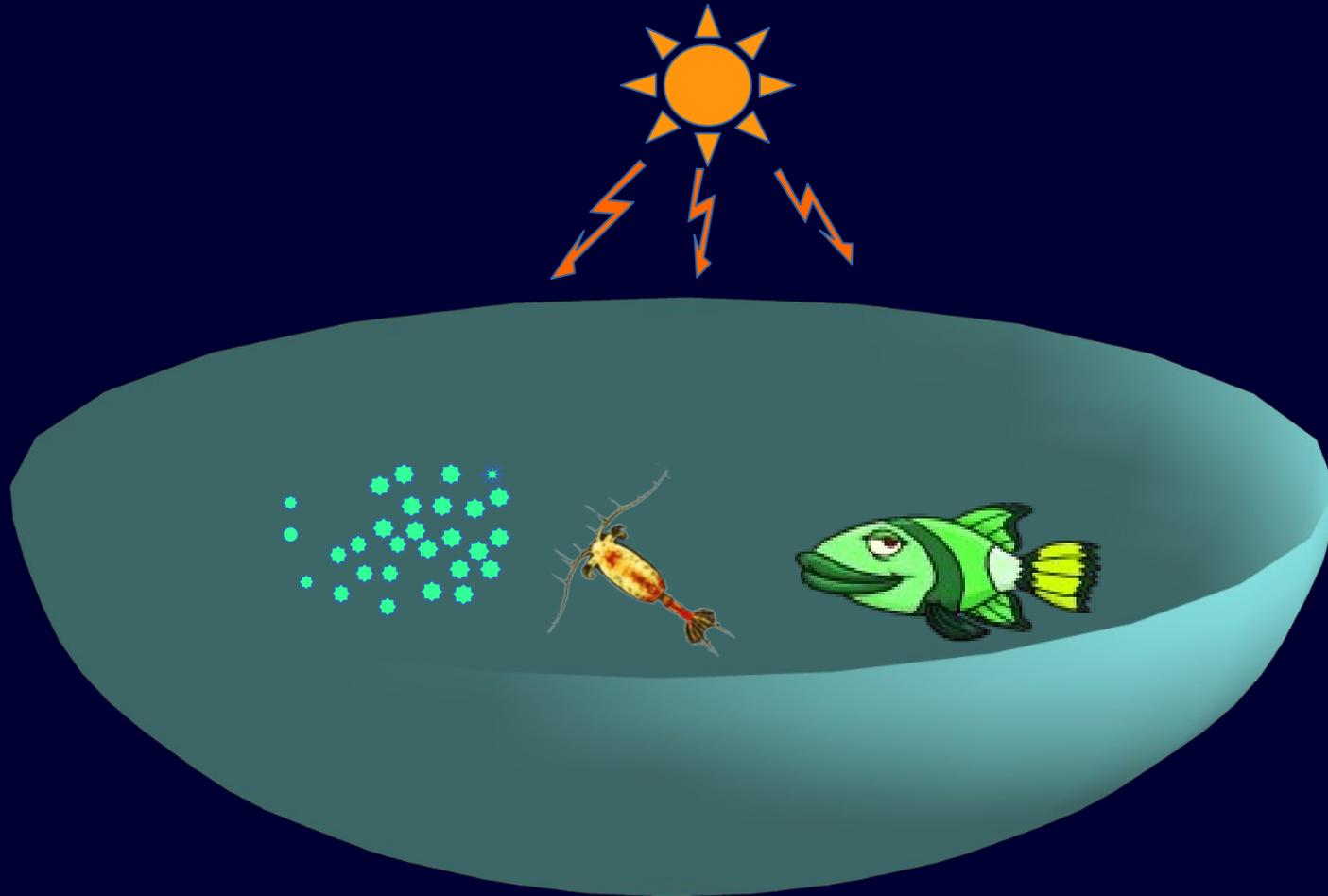
Eléments essentiels des réseaux trophiques pélagiques

— Chaîne alimentaire classique
— Boucle microbienne

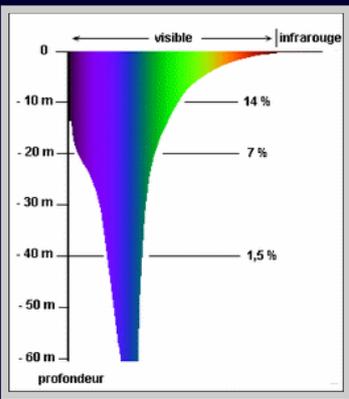


$$\text{O}_2 \cong \text{O}_2 + \text{O}_2 + \text{O}_2 + \text{O}_2$$

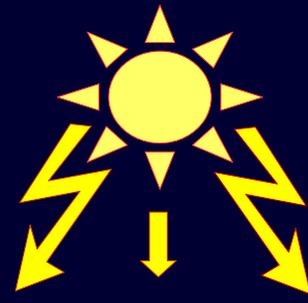
Avant d'aller vers des exemples "réels",
spatialisons un océan théorique.



Vision dans un océan en 2D

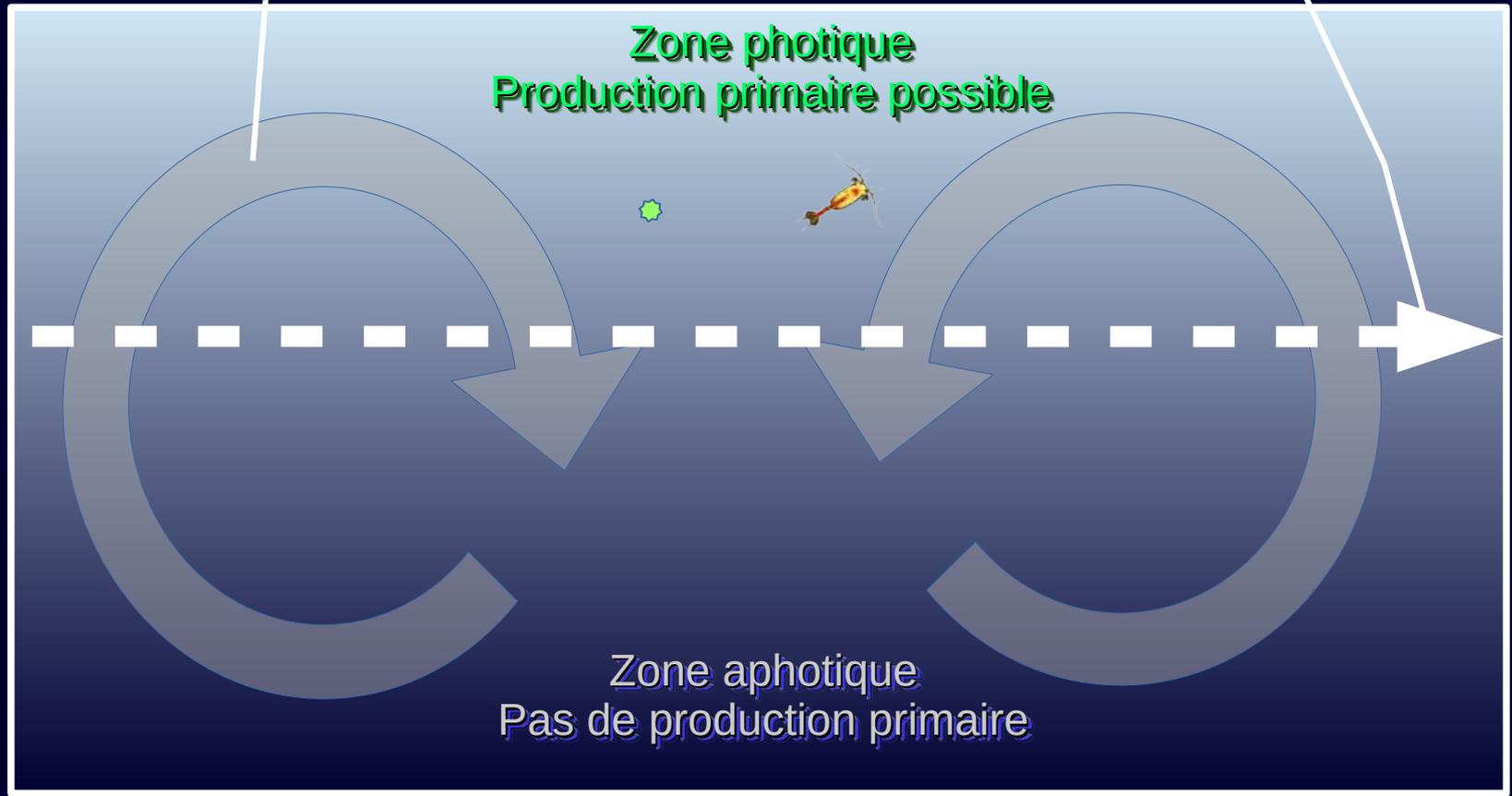
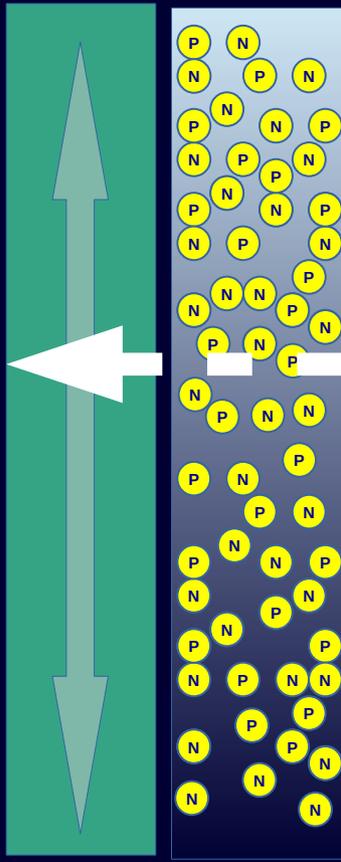


Mélange
Turbulence, ≠ densité



Profondeur de compensation

Temp.
Sels Nut.



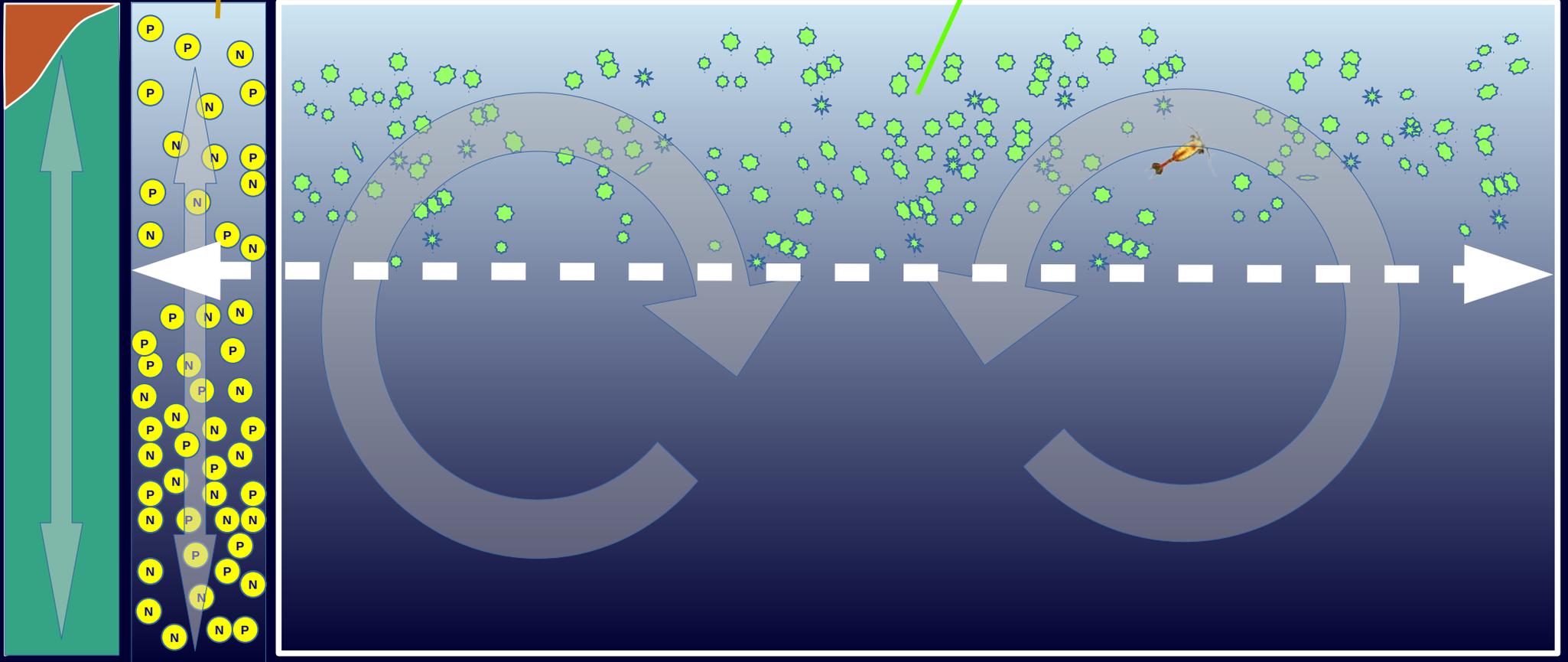
Profondeur de compensation : profondeur où la quantité de lumière est juste suffisante pour permettre aux algues de compenser leurs pertes sans croître.

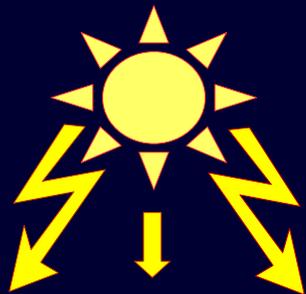
Consommation
des sels nutritifs compensée
par mélange



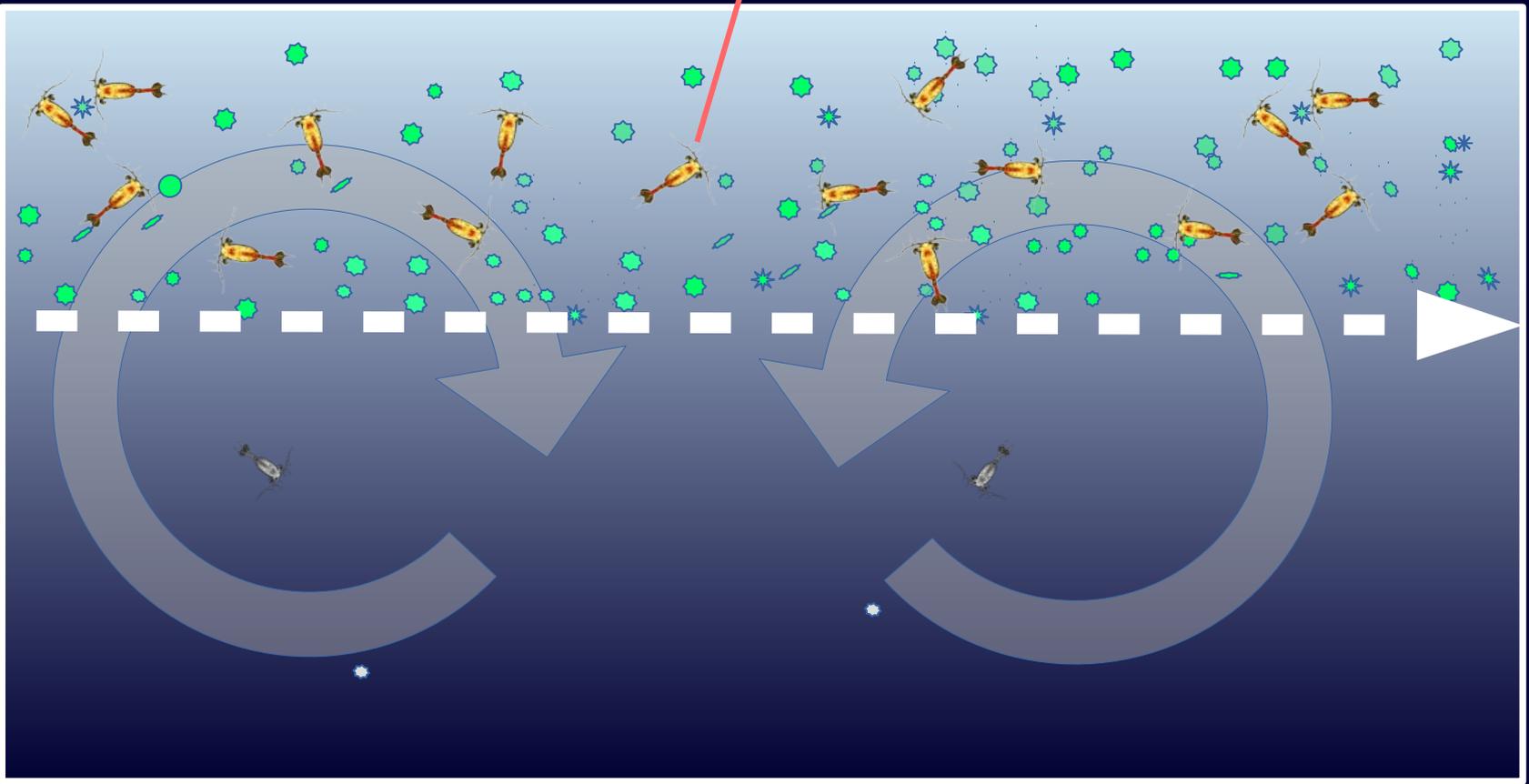
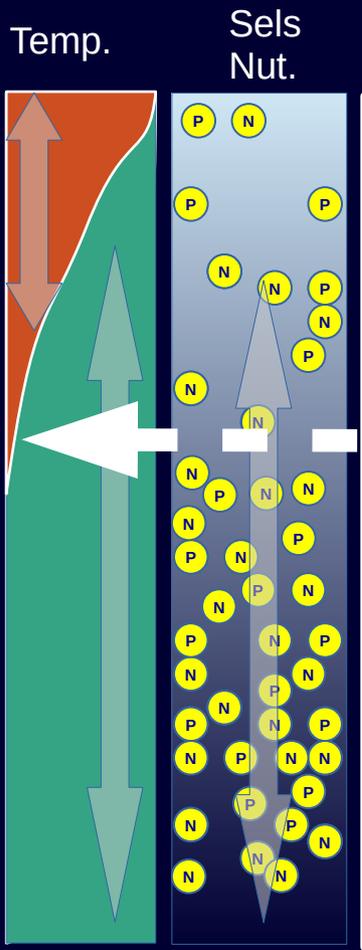
Développement du
plancton végétal
par photosynthèse

Temp.



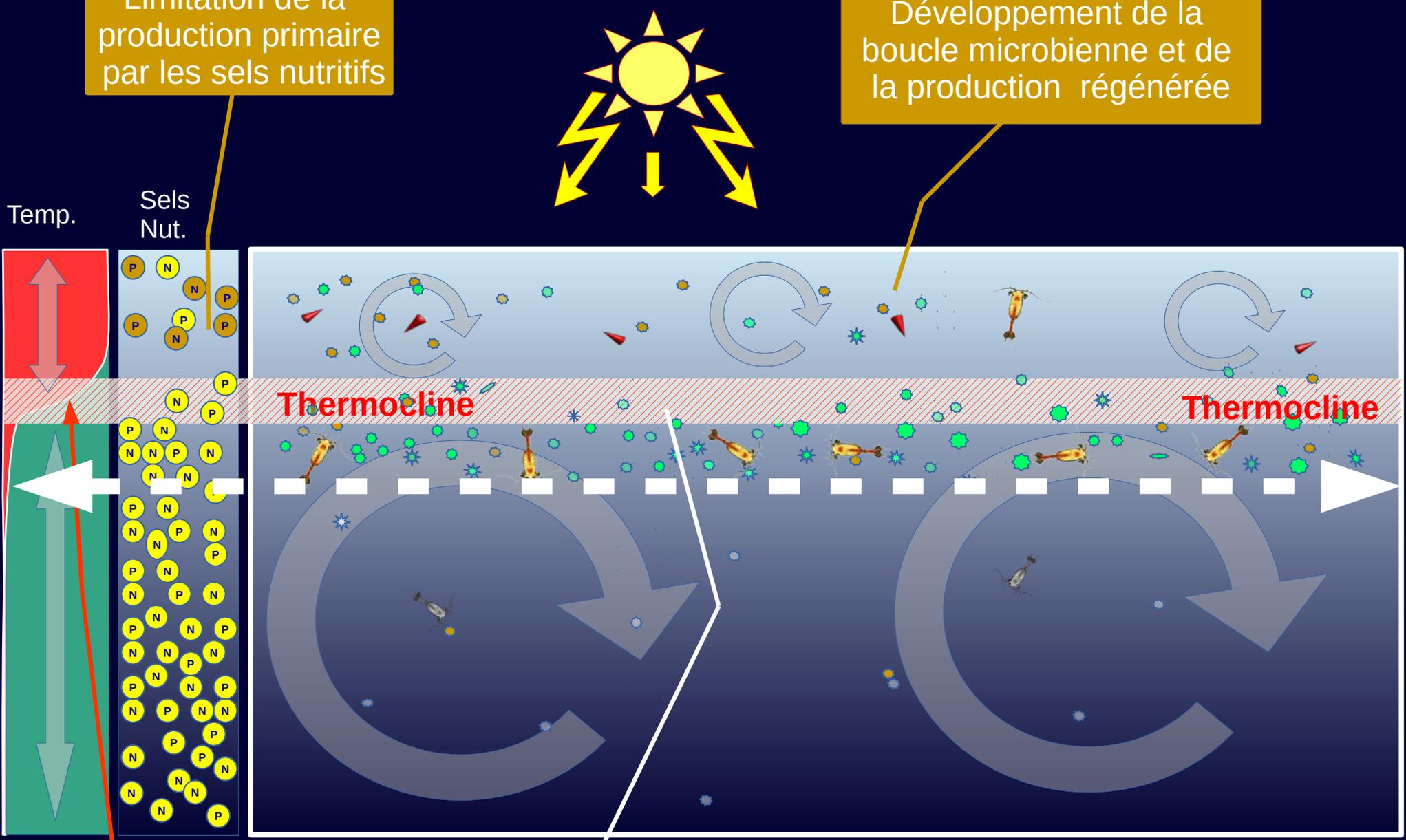


Développement
du plancton animal par
broutage du plancton végétal



Limitation de la production primaire par les sels nutritifs

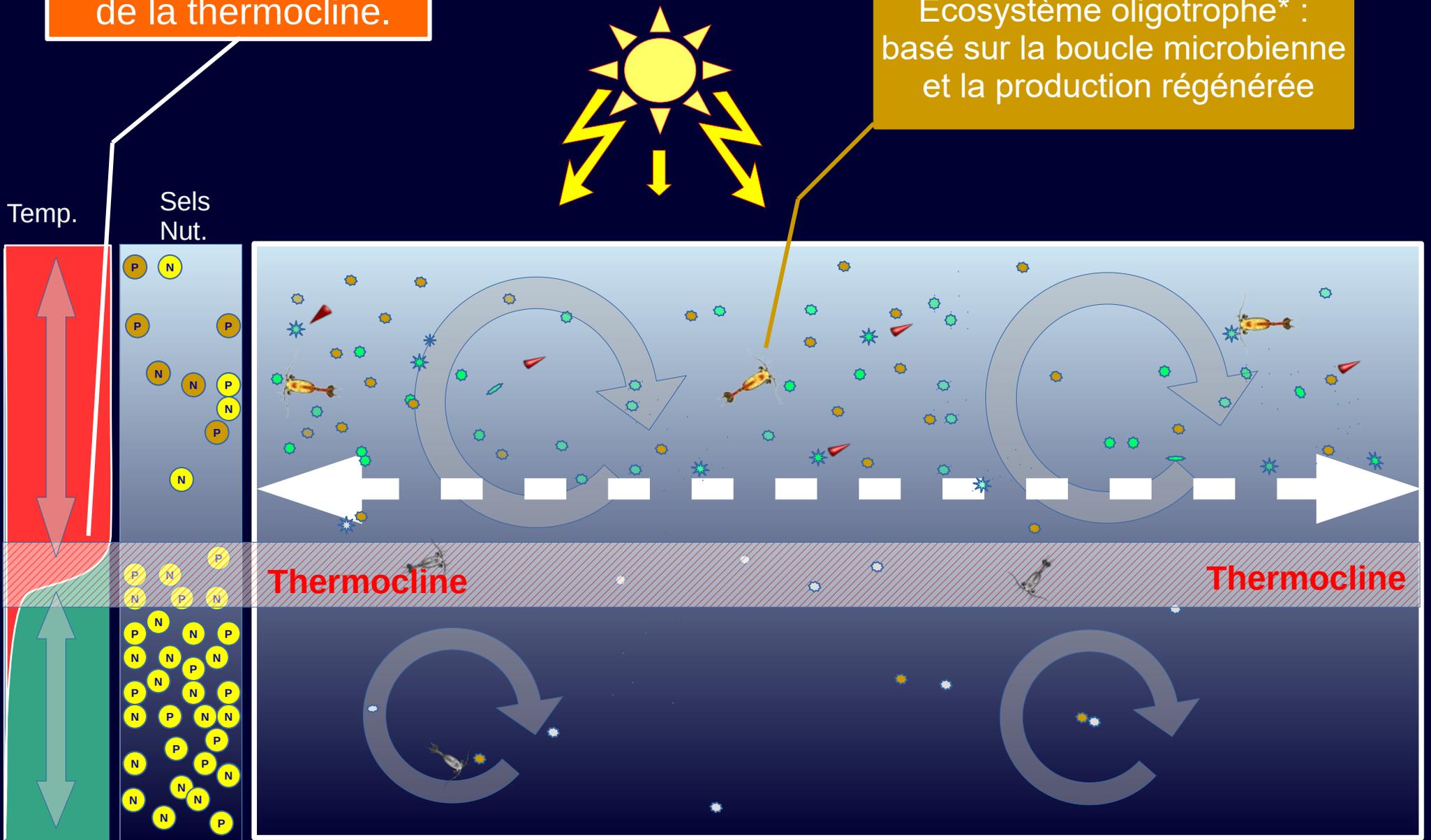
Développement de la boucle microbienne et de la production régénérée



Création d'une thermocline :
barrière physique entre les eaux superficielles et les eaux profondes.

Approfondissement
de la thermocline.

Écosystème oligotrophe* :
basé sur la boucle microbienne
et la production régénérée

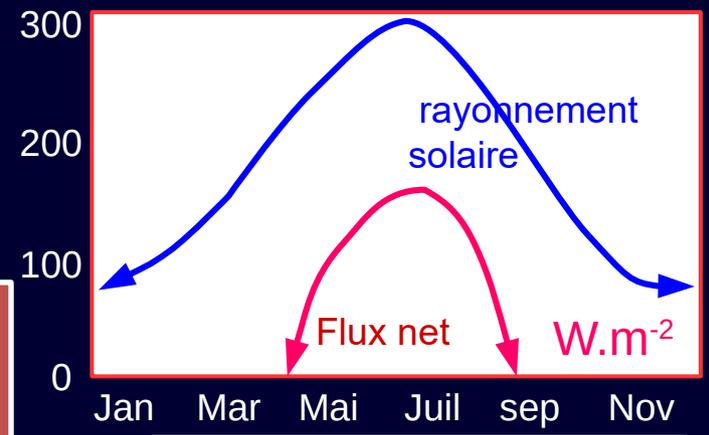


* Milieu oligotrophe : milieu particulièrement pauvre en éléments nutritifs.

Illustration de la dynamique d'un système pélagique dans le temps
Cas réel : la station « point B », Villefranche/mer



Cycle annuel de la température

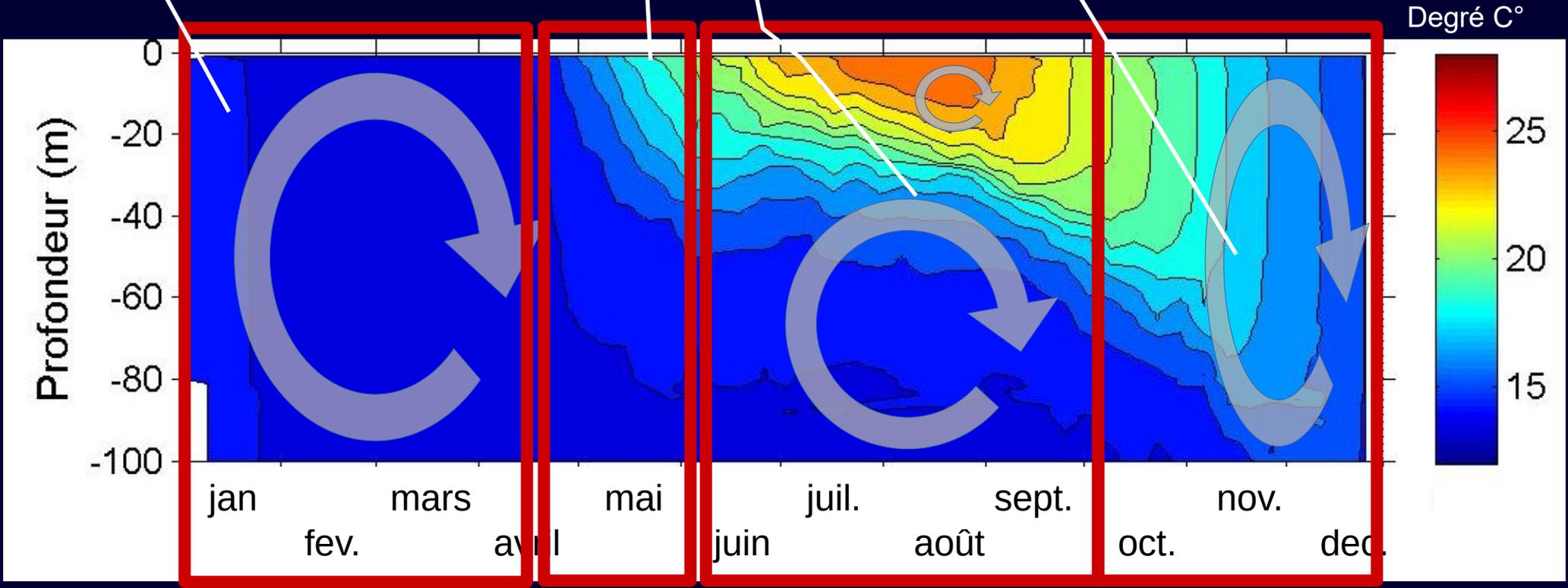


Très faible stratification en hiver

Réchauffement de surface dû au bilan thermique

Thermocline saisonnière

Homogénéisation de la colonne d'eau lors de la déstratification automnale

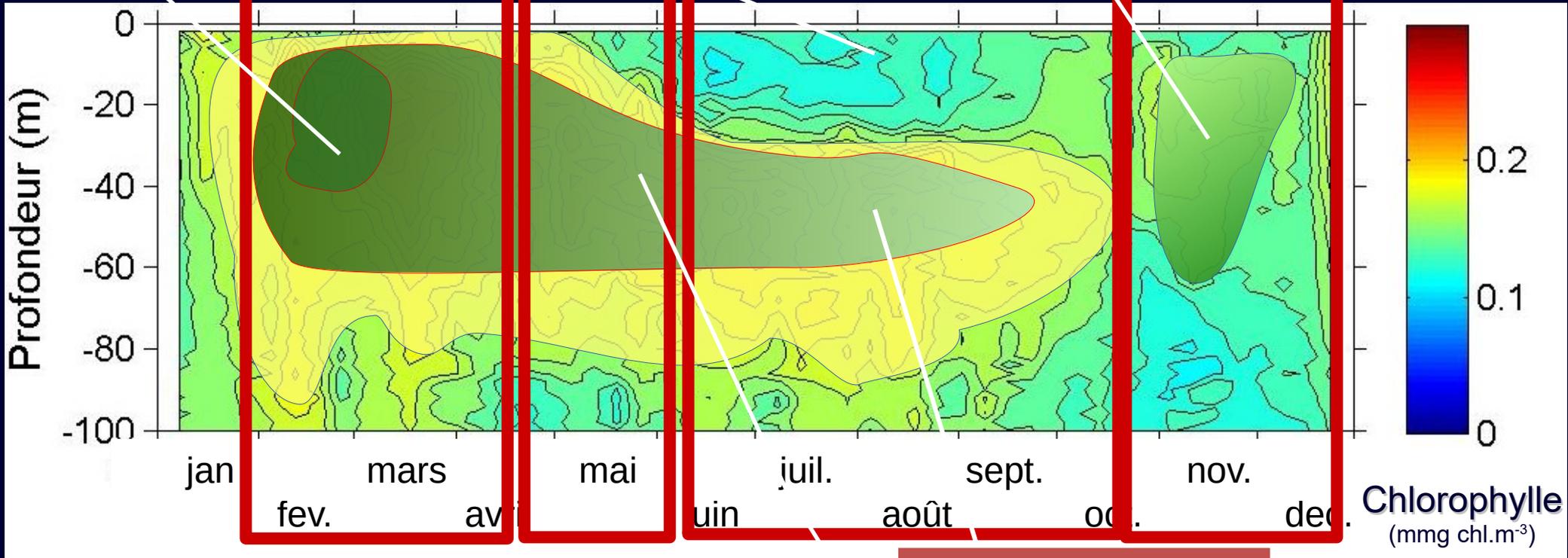


Cycle annuel du phytoplancton

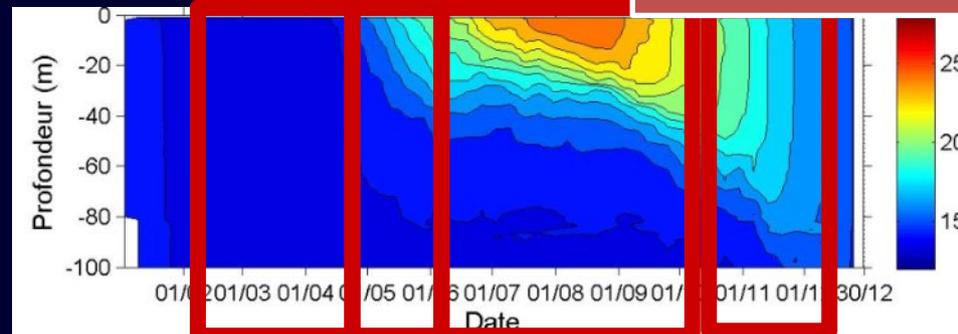
Bloom printanier

Oligotrophie de surface estivale

Bloom automnal dû à la dé-stratification



Production primaire sous la thermocline

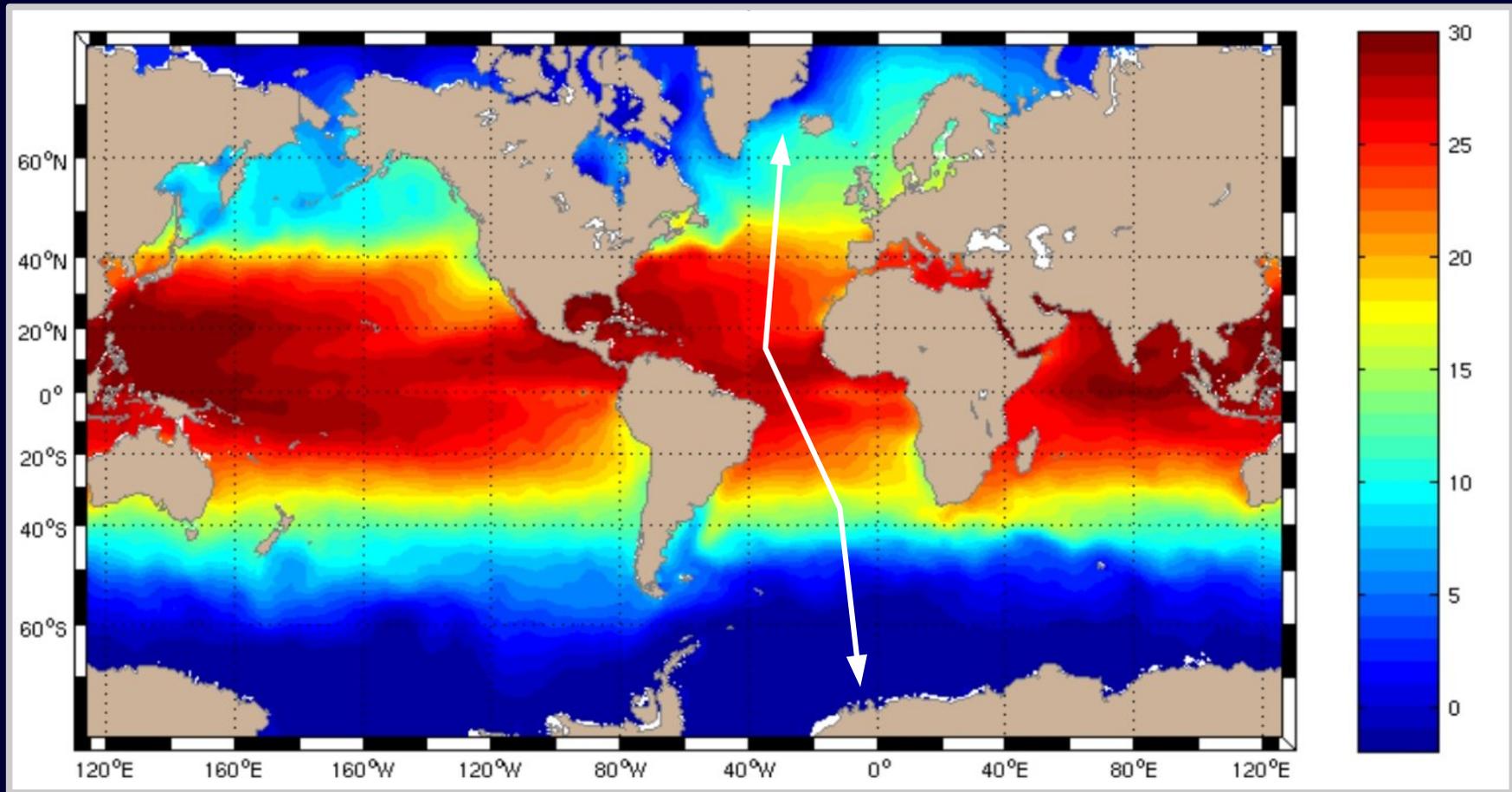


D'une vision dans le temps à une vision dans l'espace, ou
la thermocline se rappelle à notre bon souvenir.

Fonctionnement
de systèmes pélagiques tropicaux

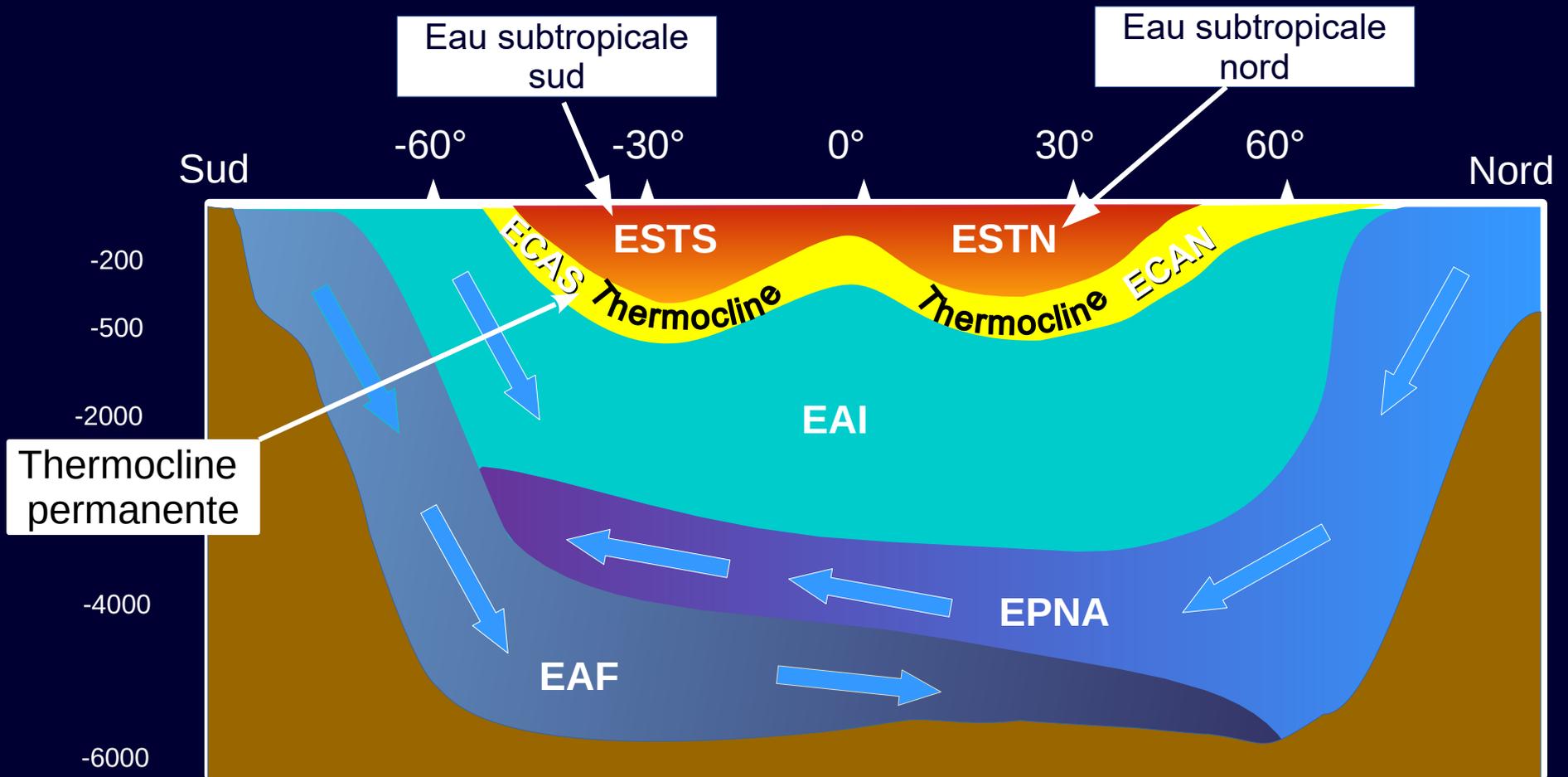
Températures de surface

Juillet 2008



Données des flotteurs Argo Coriolis/Ifremer

Schéma simplifié de la circulation océanique dans l'Atlantique



Inspiré de SEOS -Science Education through Earth Observation for High Schools

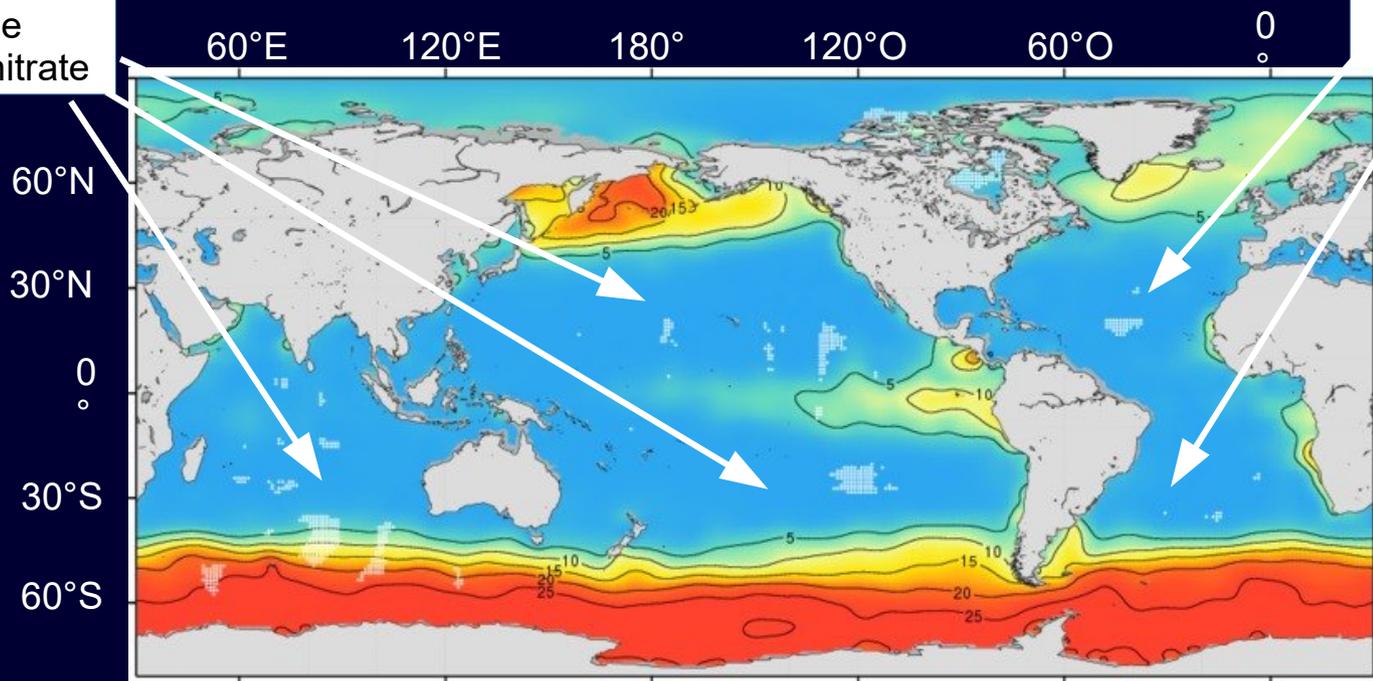
EAF : Eau antarctique de fond
EPNA : Eau profonde nord atlantique
EAI : Eau antarctique intermédiaire
ESTN, ESTS : Eau sub-tropicale nord et sud
ECAN, ECAS : Eau centrale atlantique nord et sud

Moyenne annuelle des nitrates ($\mu\text{mol/kg}$)

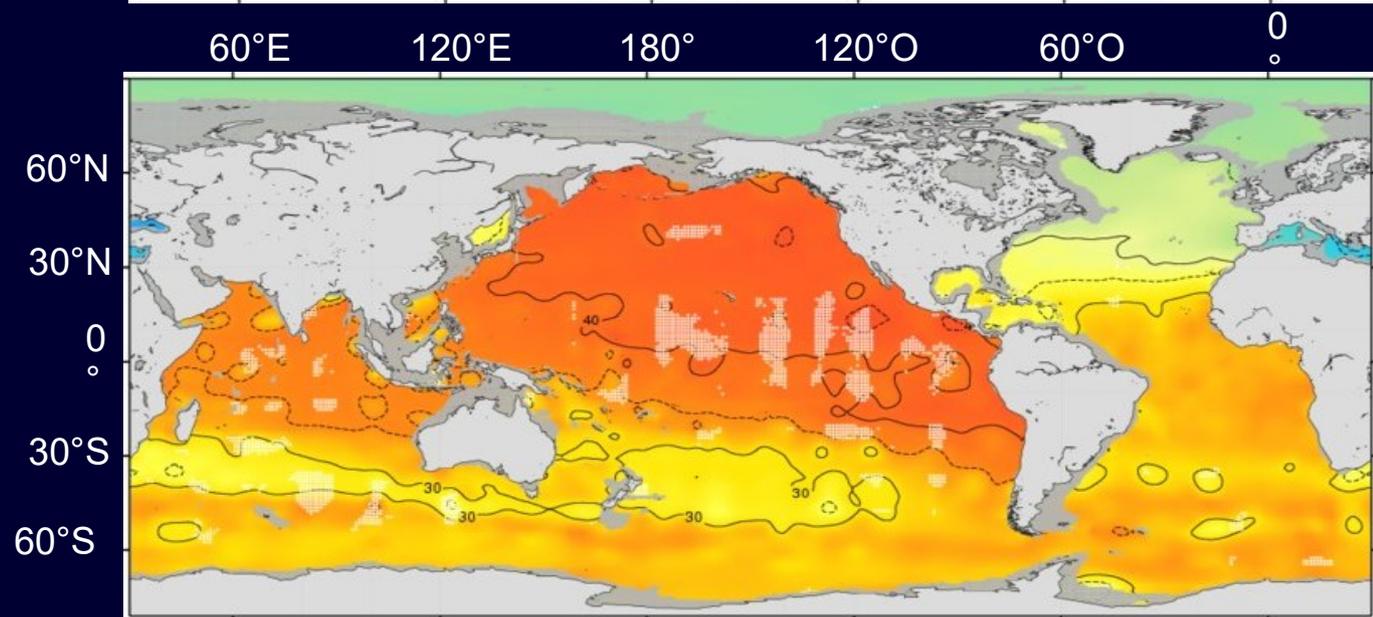
Zones de faible concentration en nitrate

Zones de faible concentration en nitrate

à 30m

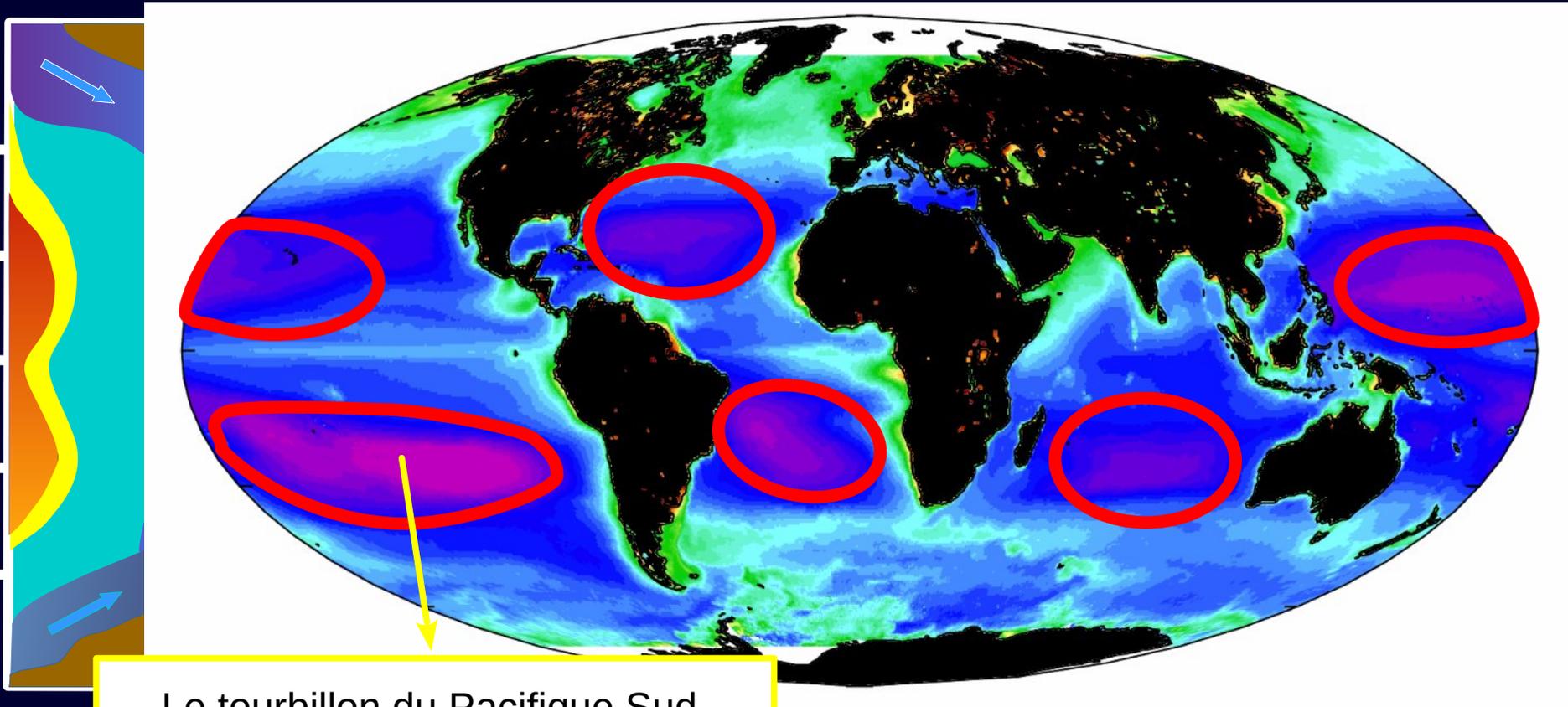
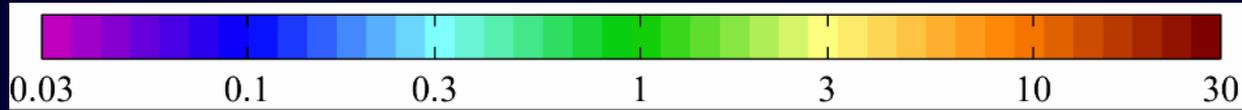


à 1000 m



Échelles des couleurs différentes

Chlorophylle moyenne en surface, 1996 -2006. (mg chl.m⁻³)



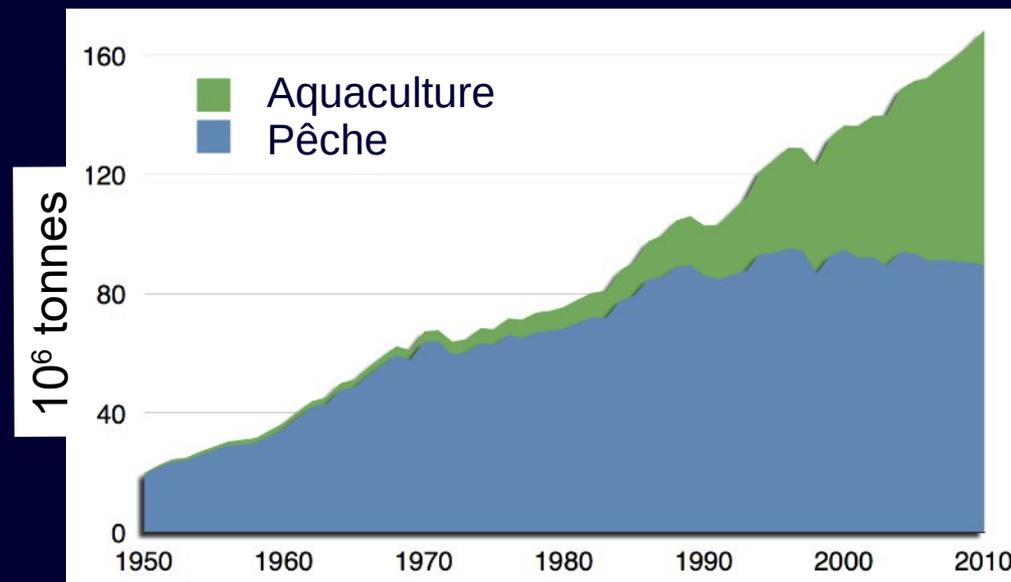
Le tourbillon du Pacifique Sud,
la zone la plus oligotrophe au monde

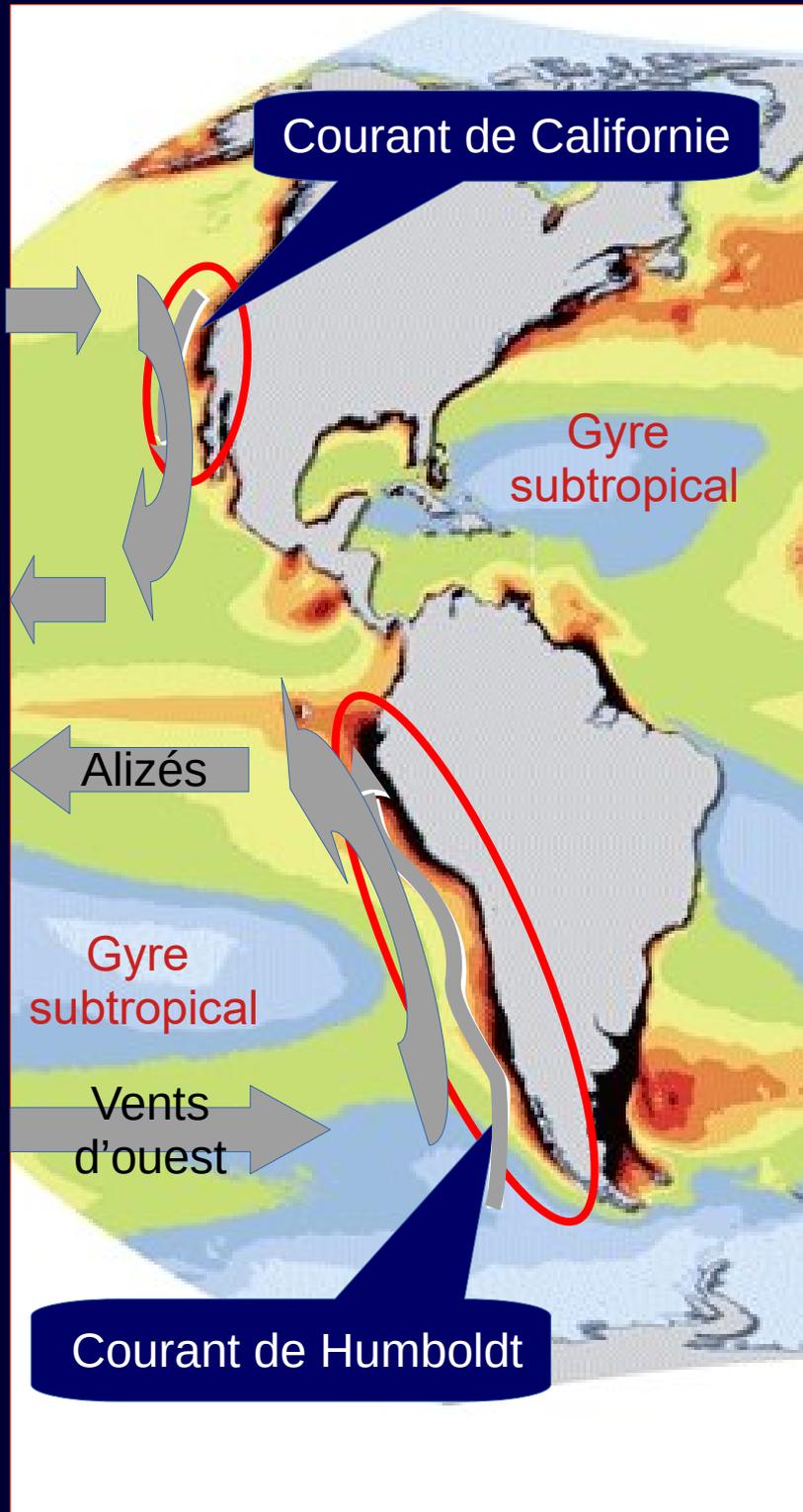
SeaWiFS. (NASA)

- Nitrates indétectables dans la couche 0-100m (et souvent 0-120m),
- Teneurs en chlorophylle inférieures à 0,03 mg Chl a m⁻³
- Maximum de chlorophylle très profond, en deçà de 120 m
- Eaux très claires : la couche euphotique s'étend au delà de 125 m voire 150 m

La suite de l'histoire où on reparle de thermocline
et où on répond à la question :

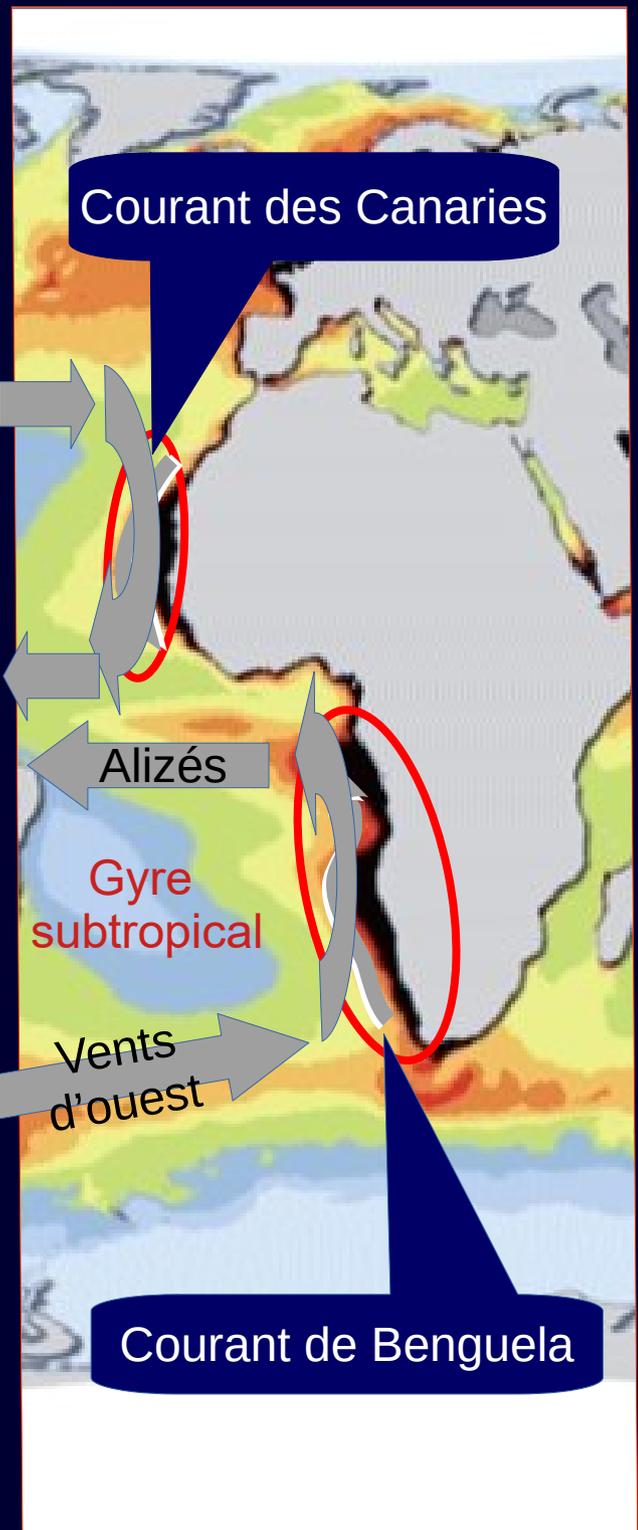
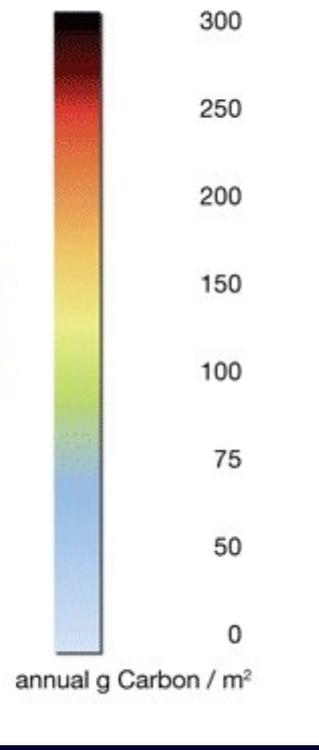
Pourquoi 3% de la surface des océans représentent
de 20 à 35 % des captures de la pêche?





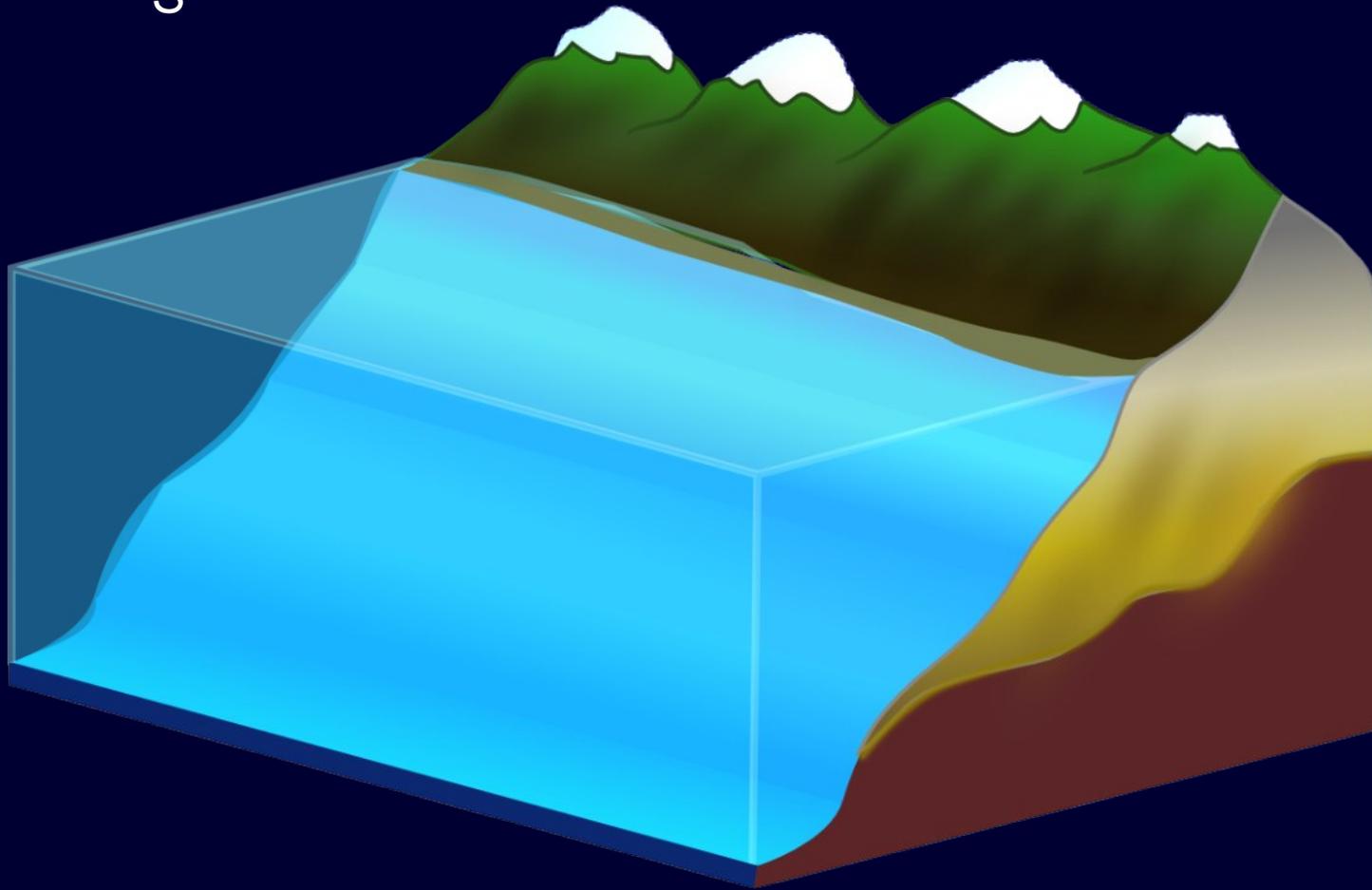
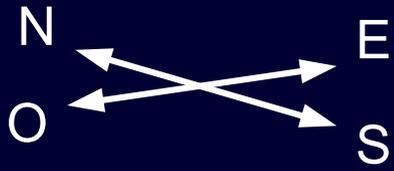
Upwelling remontée d'eau

Production primaire nette par an, 1998-2006

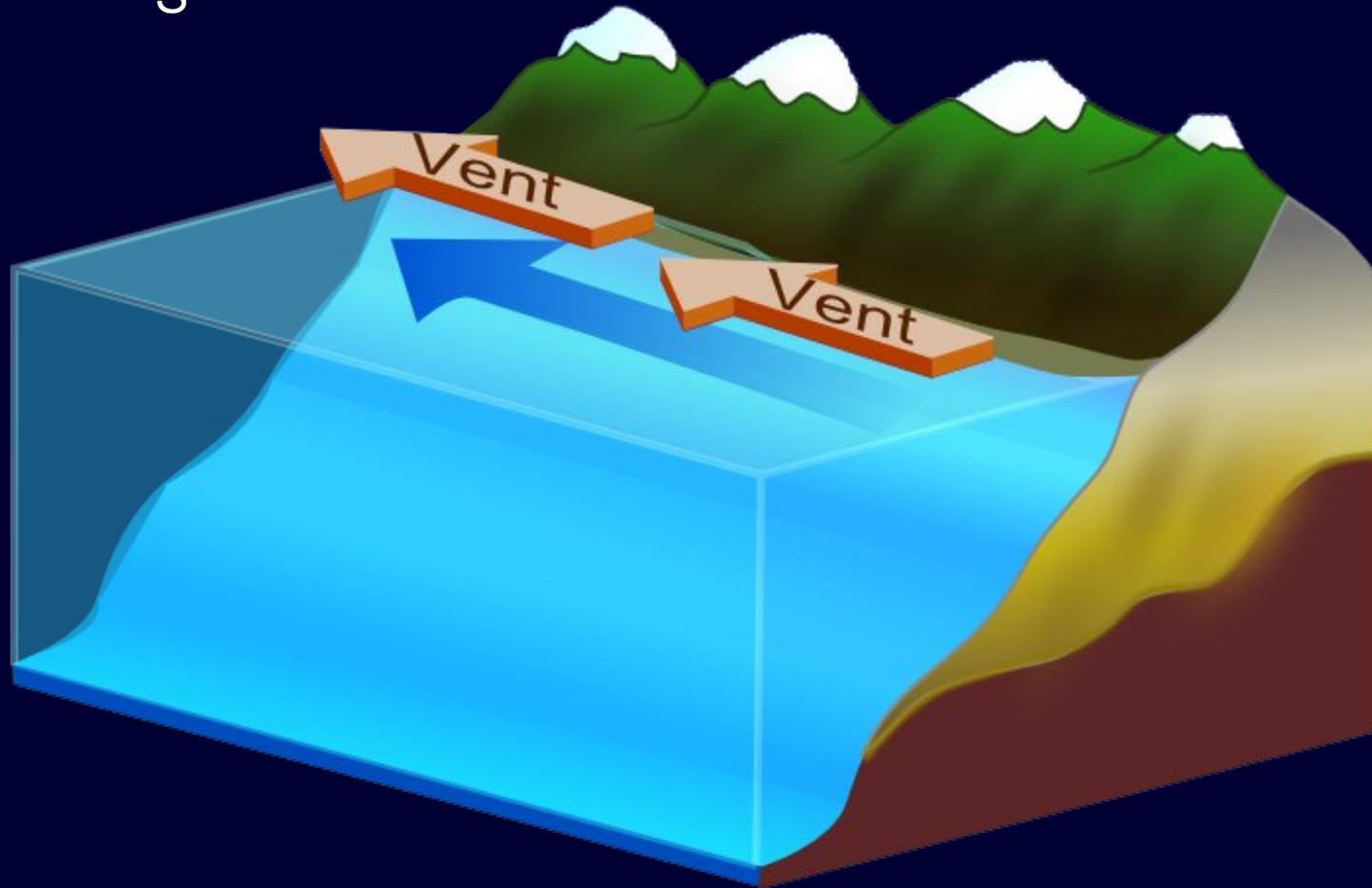
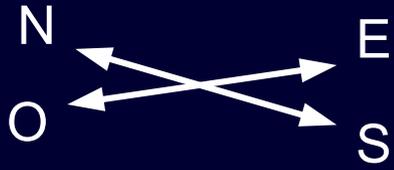


Source : Oregon state University, 2007

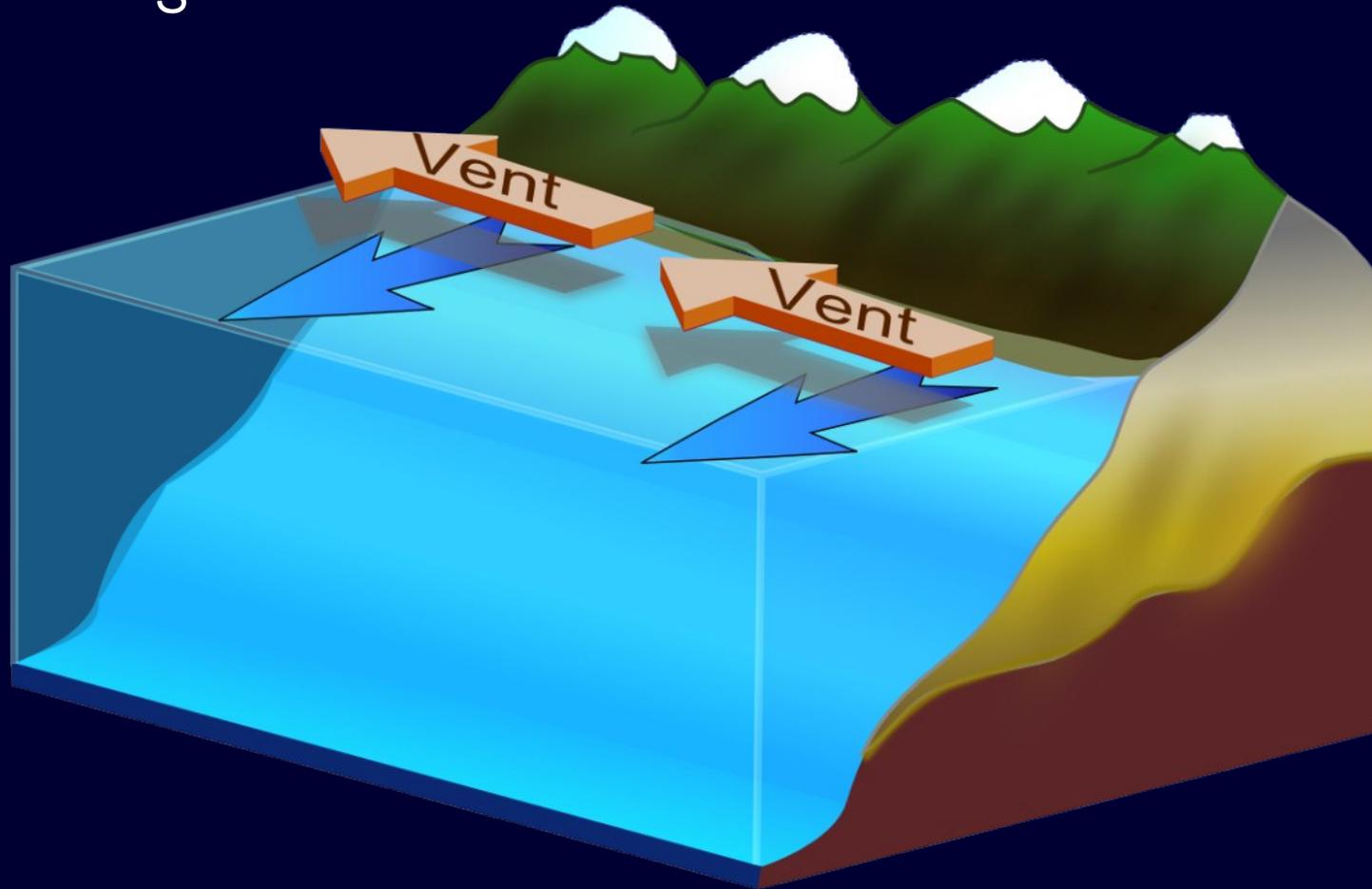
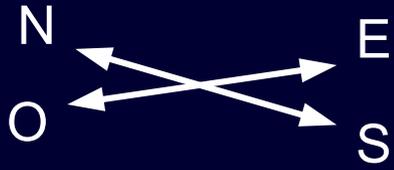
Upwelling dans hémisphère sud



Upwelling dans hémisphère sud

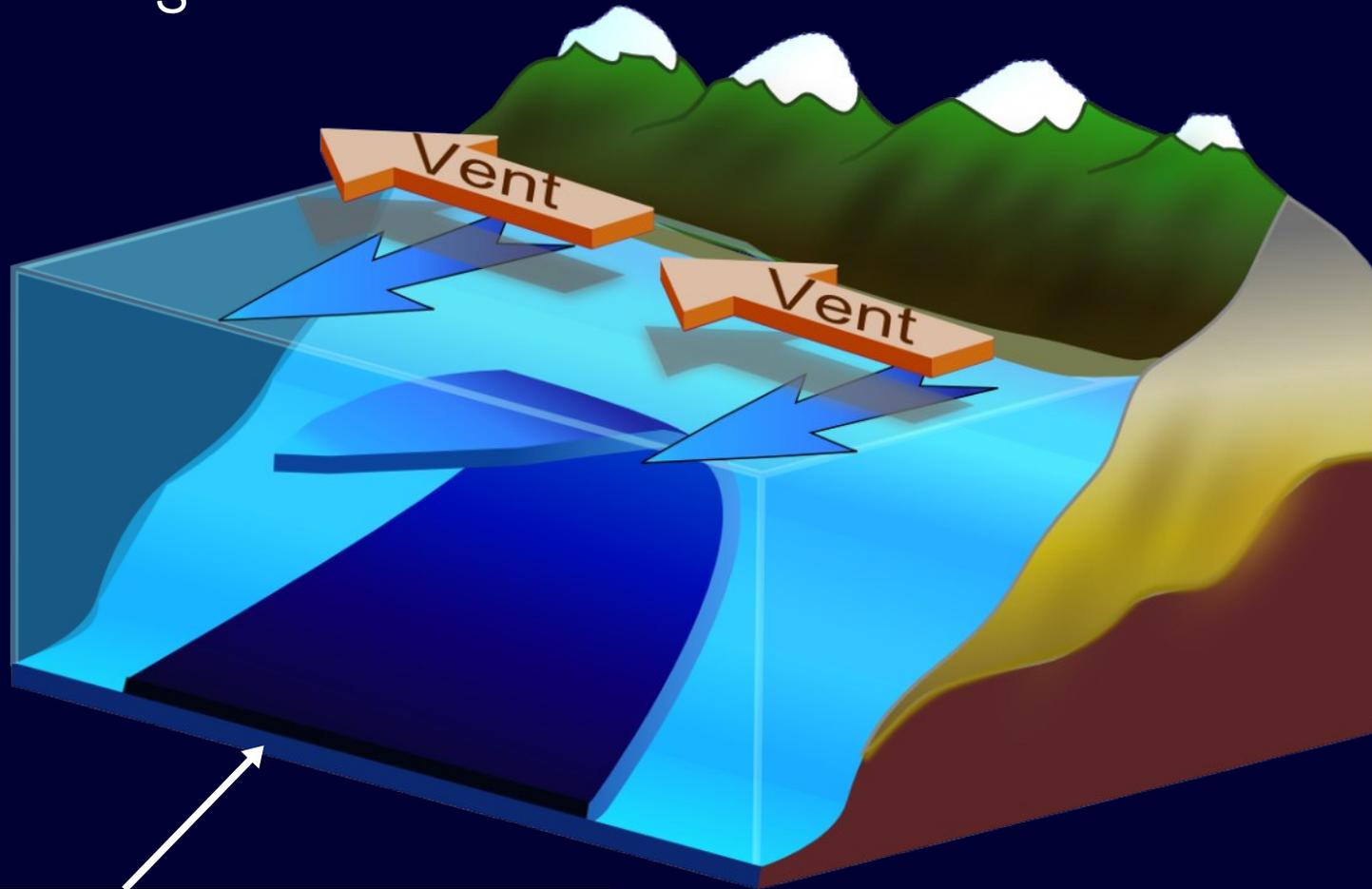
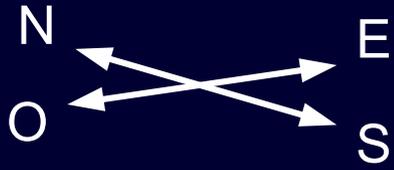


Upwelling dans hémisphère sud



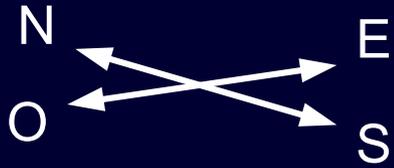
Effets de la force de Coriolis,
vers la gauche dans hémisphère sud.

Upwelling dans hémisphère sud

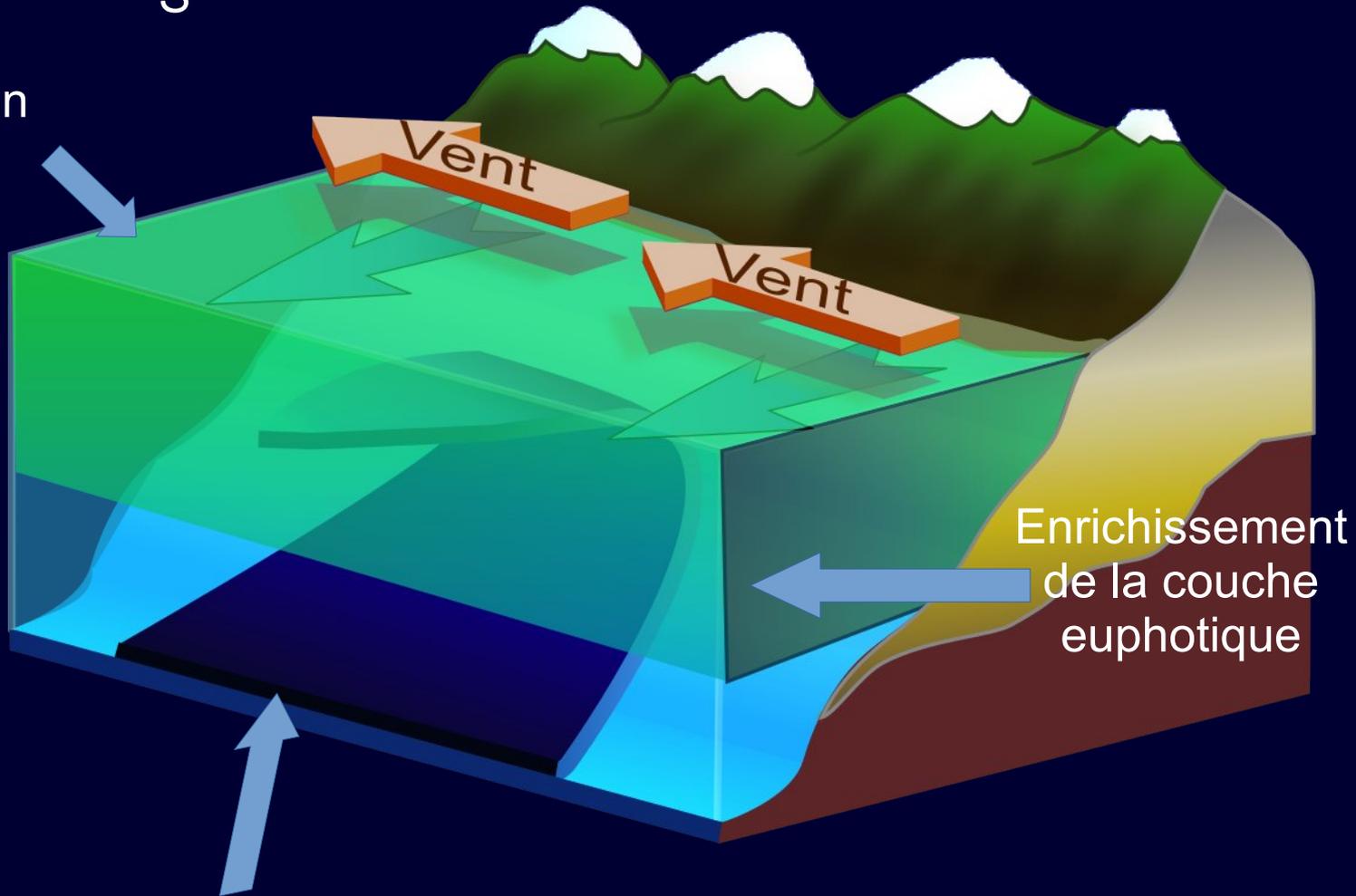


Création d'un « Upwelling »
(remontée d'eau)

Upwelling dans hémisphère sud



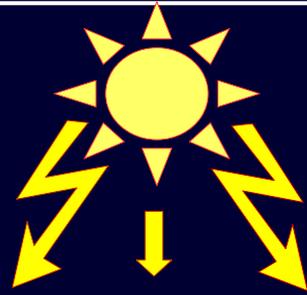
Production
primaire
élevée



Remontée d'eau profonde
riche en sels nutritifs

Enrichissement
de la couche
euphotique

Forçage externe (vent) crée une dynamique qui va entraîner un mélange localisé des deux couches.



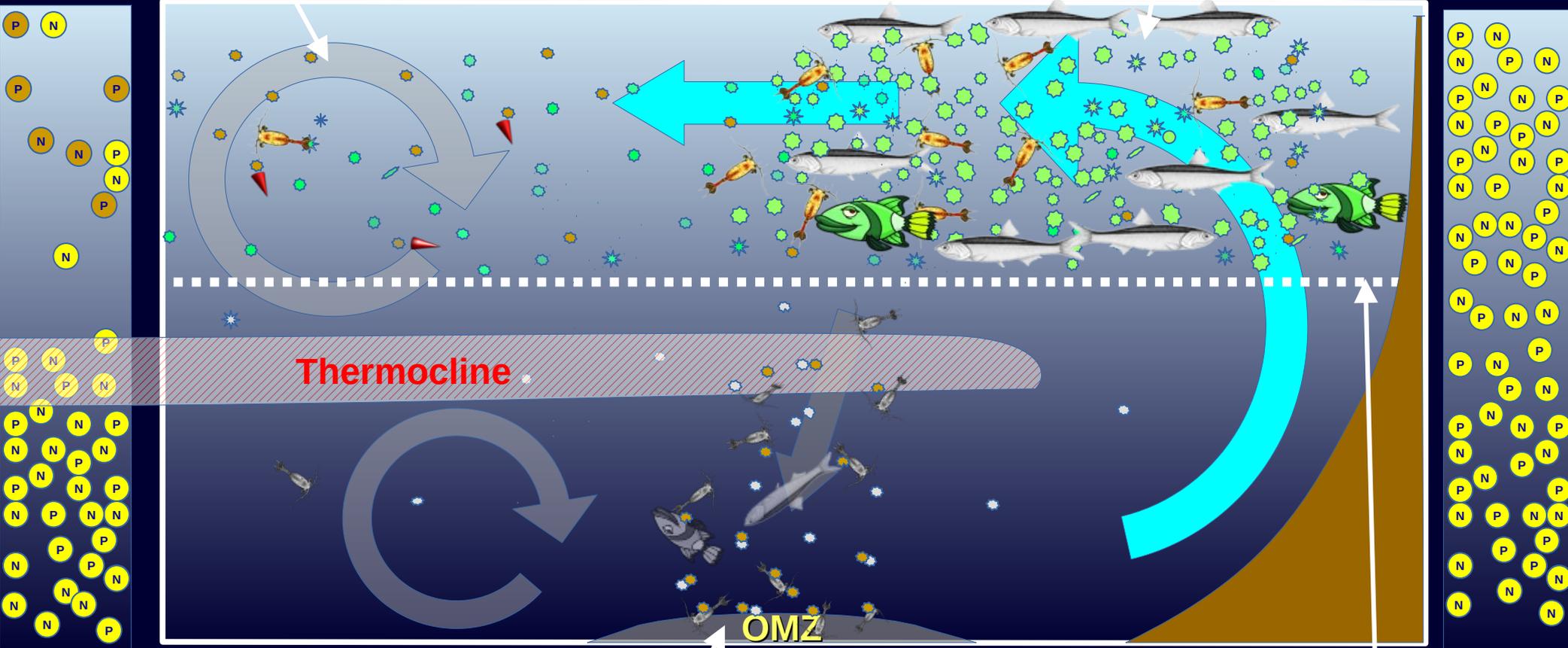
Zone oligotrophe

Zone eutrophe

Upwelling

Sels Nut.

Sels Nut.



Thermocline

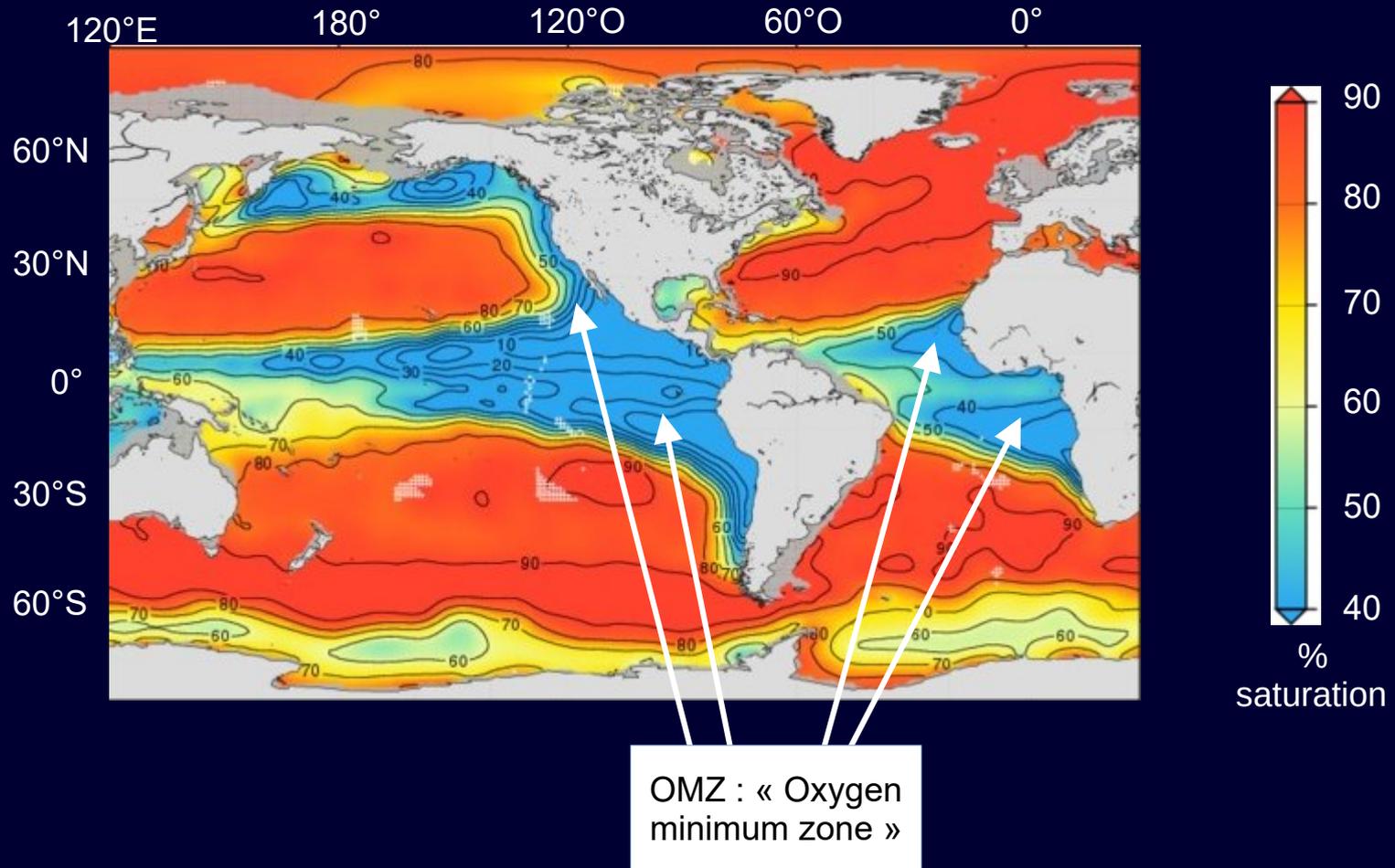
OMZ

Profondeur de compensation

OMZ : « Oxygen minimum zone »

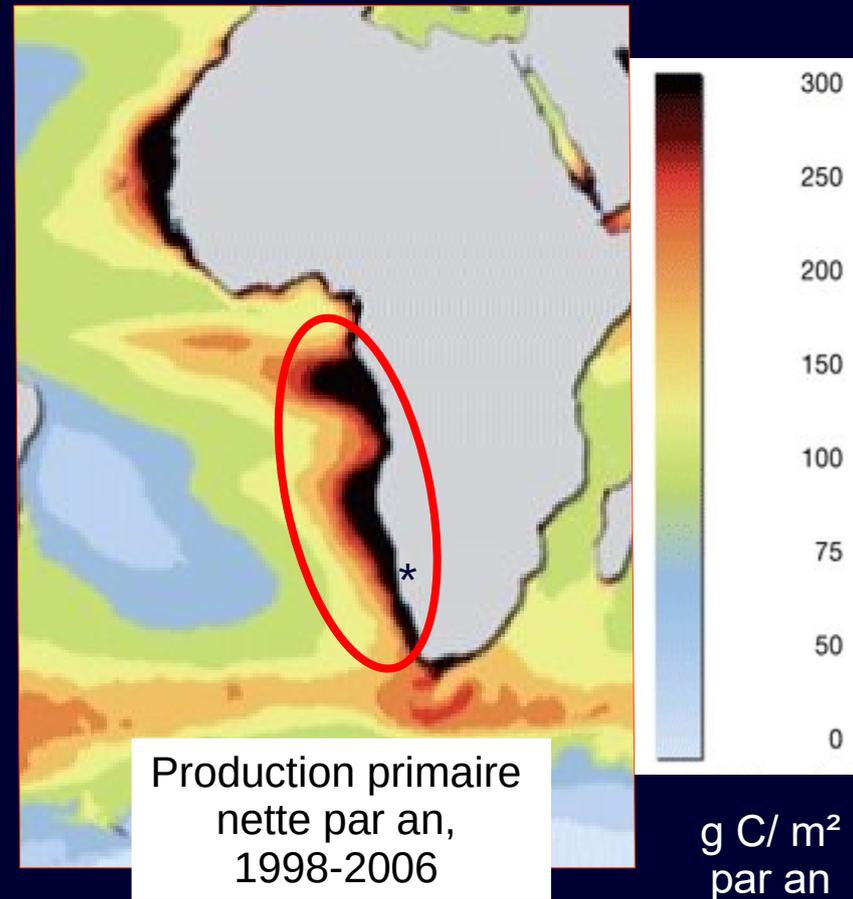
OMZ : « Oxygen minimum zone »

Moyenne annuelle de l'oxygène à 200 m (% de saturation)



Upwelling du courant du Benguela

Production phytoplanctonique



Deux sous-écosystèmes : nord (sud de l'Angola et Namibie) et sud (ouest et sud de l'Afrique du Sud) séparés par la cellule permanente d'upwelling de Lüderitz *.

Pêche : actuellement autour de 2 millions de tonnes, dans les années 70 entre 4 et 5 millions de tonnes.

Upwelling du courant du Benguela

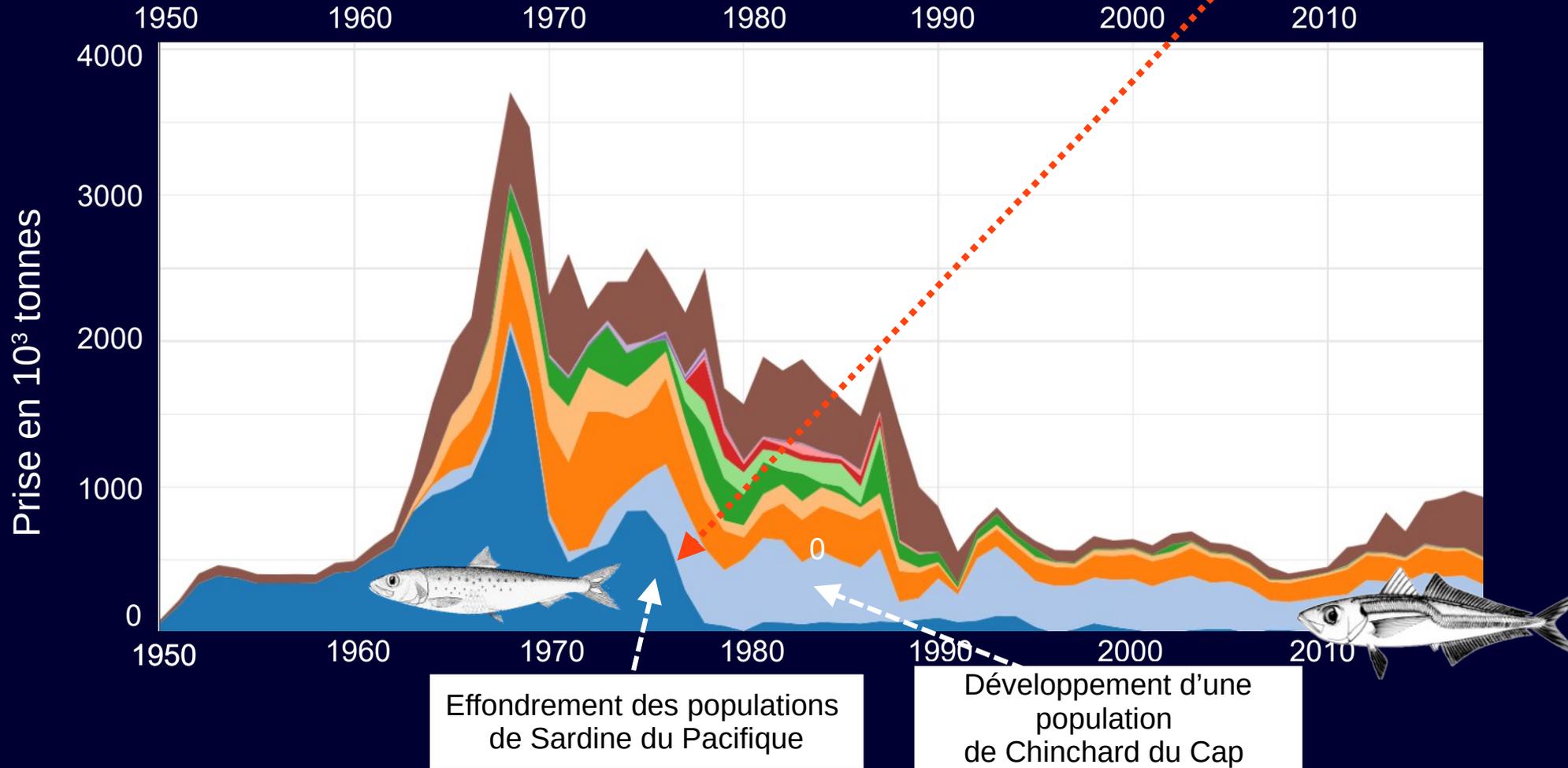


Walvis Bay, Namibie

Upwelling du courant du Benguela

Statistique des pêches (Namibie)

Régime shift

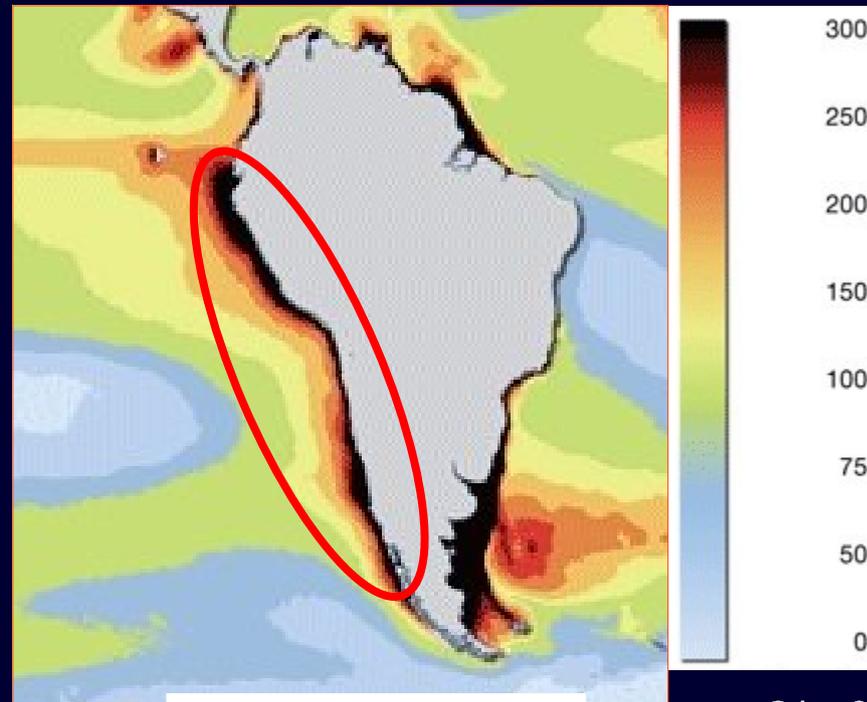


● Sardinops sagax ● Trachurus capensis ● Merluccius ● Lophius vomerinus ● Engraulis capensis ● Sardinella ● Trachurus trecae ● Trachurus
● Dentex macrophthalmus ● Perciformes ● Others

● South American pilchard ● Cape horse mackerel ● Hakes ● Devil anglerfish ● Southern African anchovy ● Sardinellas ● Cunene horse mackerel
● Jacks, horse mackerels ● Large-eye dentex ● Perch-likes ● Others

Upwelling du courant de Humboldt

Production phytoplanctonique



Production primaire
nette par an,
1998-2006

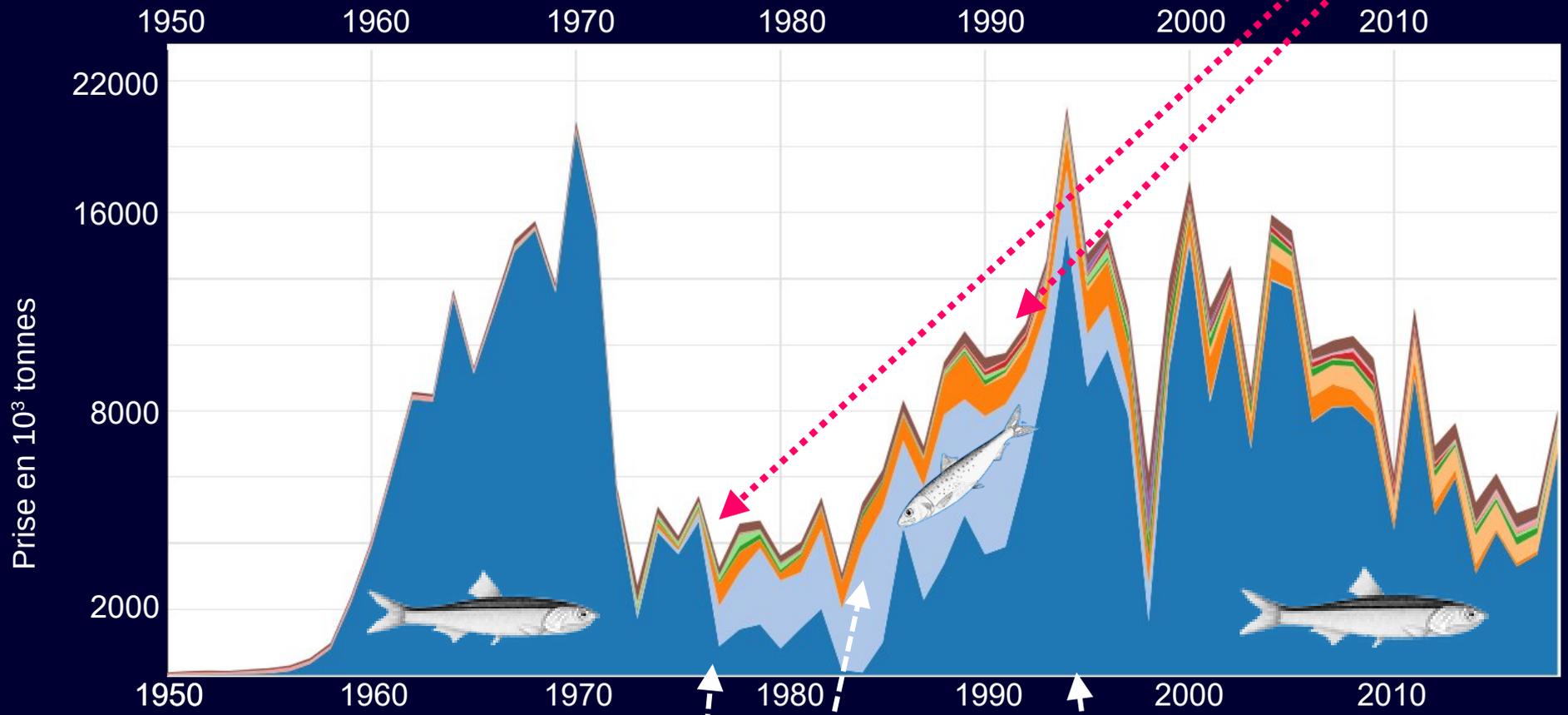
g C/ m²
par an

Représentant moins de 1% de la surface de l'océan mondial, il fournit 15 à 20% des captures maritimes mondiales (jusqu'à près de 20 millions de tonnes par an pour le Pérou et le Chili réunis).

Upwelling du courant de Humboldt

Statistique des pêches

«regime shift»



Effondrement des populations d'anchois et remplacement par la sardine du pacifique

Rétablissement des populations d'anchois et diminution de la sardine du pacifique

- *Engraulis ringens*
- *Sardinops sagax*
- *Trachurus murphyi*
- *Dosidicus gigas*
- *Scomber japonicus*
- *Merluccius gayi peruanus*
- *Clupeidae*
- *Sarda chiliensis*
- *Anchoa nasus*
- *Katsuwonus pelamis*
- Others

- Anchoveta
- South American pilchard
- Chilean jack mackerel
- Jumbo flying squid
- Pacific chub mackerel
- Peruvian hake
- Herrings, sardines, menhadens
- Eastern Pacific bonito
- Longnose anchovy
- Skipjack tuna
- Others

Petit film de l'IRD

La suite de la suite de l'histoire où on reparle de thermocline, d'Upwelling et où on répond à la question :

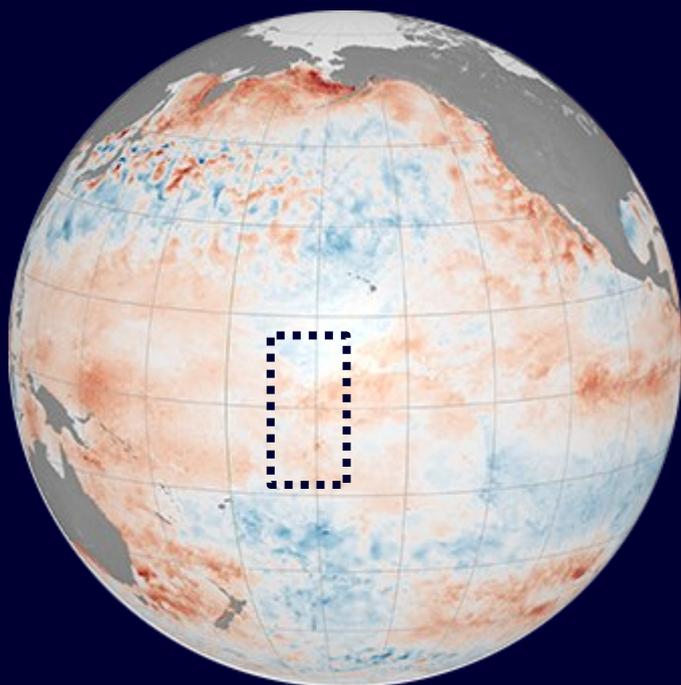
Pourquoi les anchois du Pérou n'aiment pas la période de Noël certaines années ?

L'Oscillation du Pacifique Sud,
le phénomène El Niño (ENSO, El Niño Southern Oscillation)

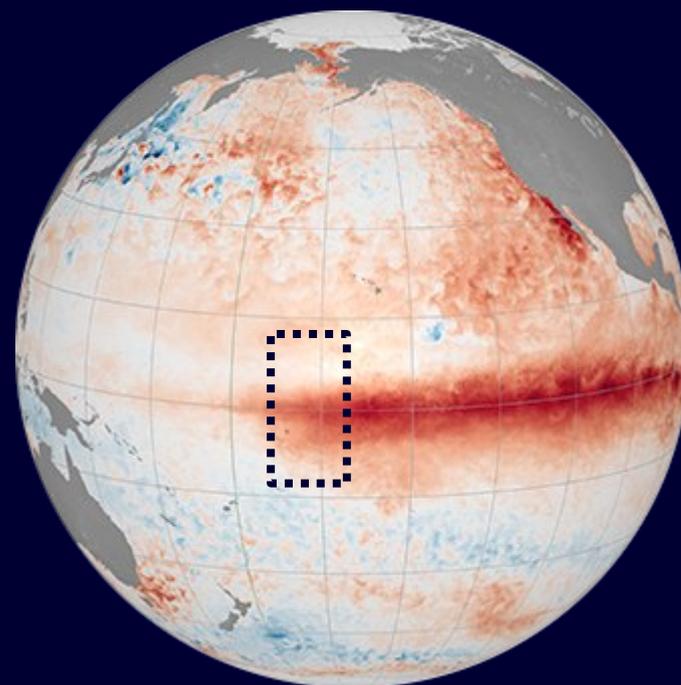
J'aime pas Noël



Anomalies de température de surface dans l'océan Pacifique



janvier 2015



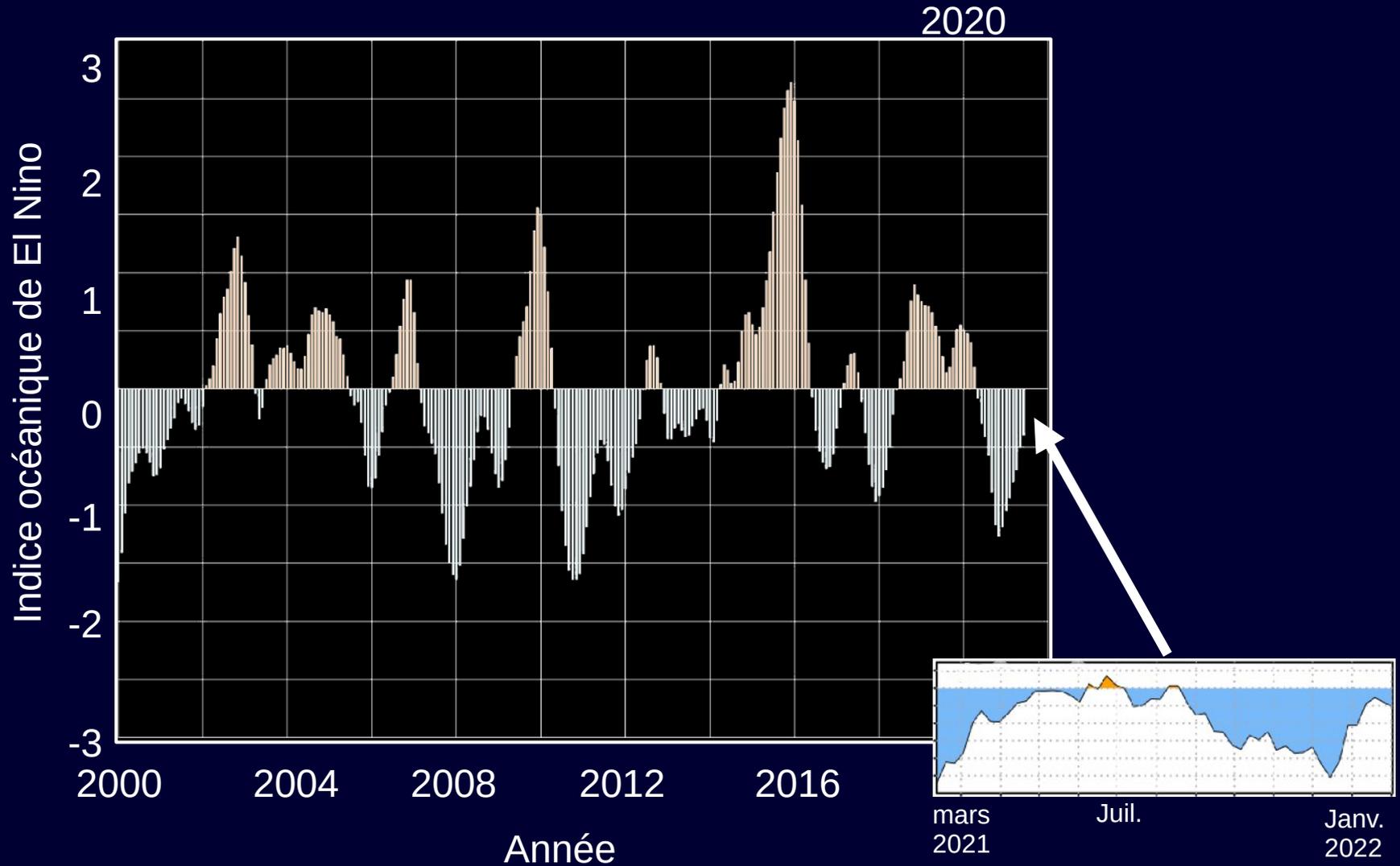
novembre 2015

Anomalie de température de surface (°C)



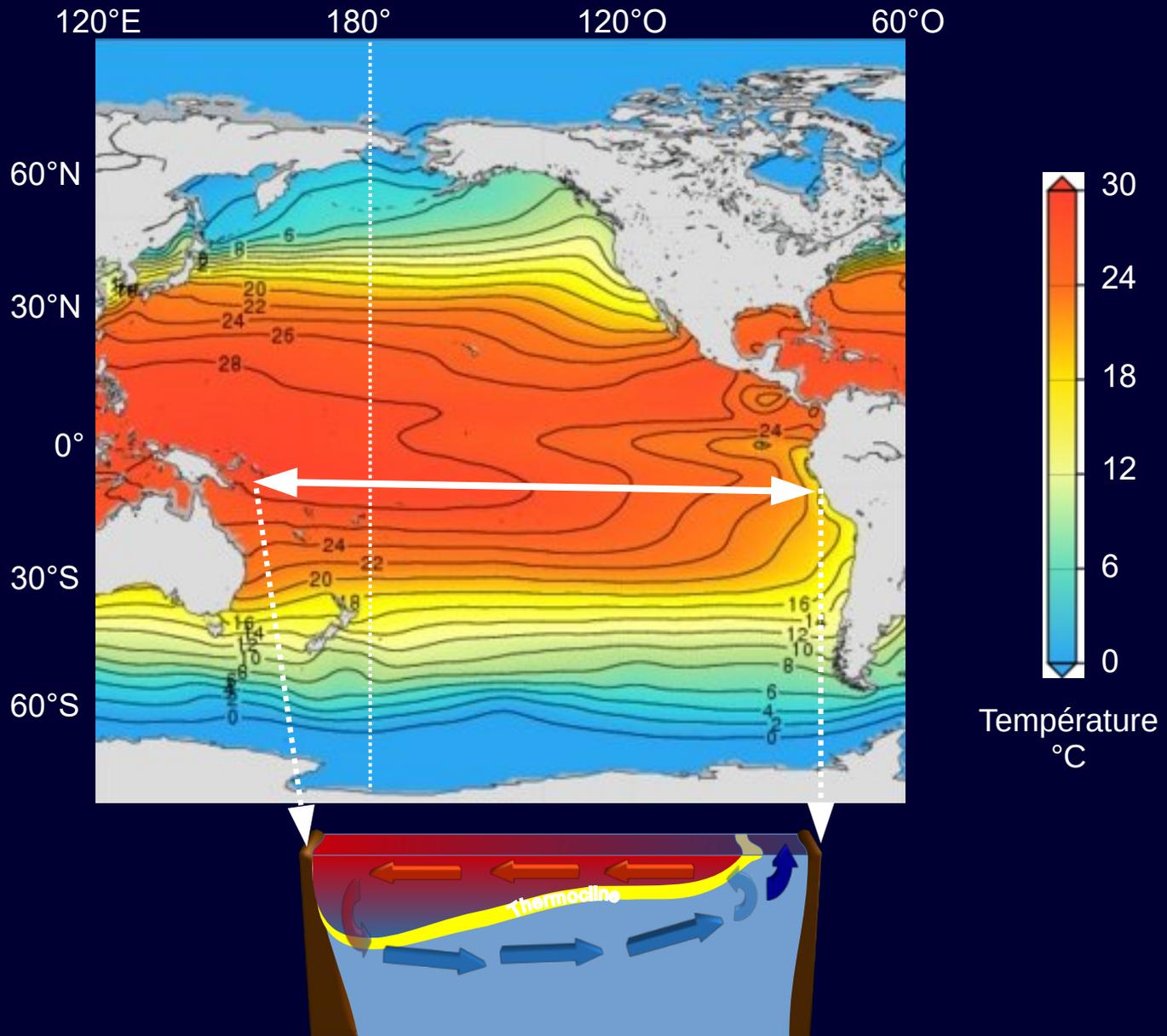
Anomalie : écart à la moyenne calculée sur une période donnée

Anomalies de températures SST par rapport à la moyenne 1981-2010



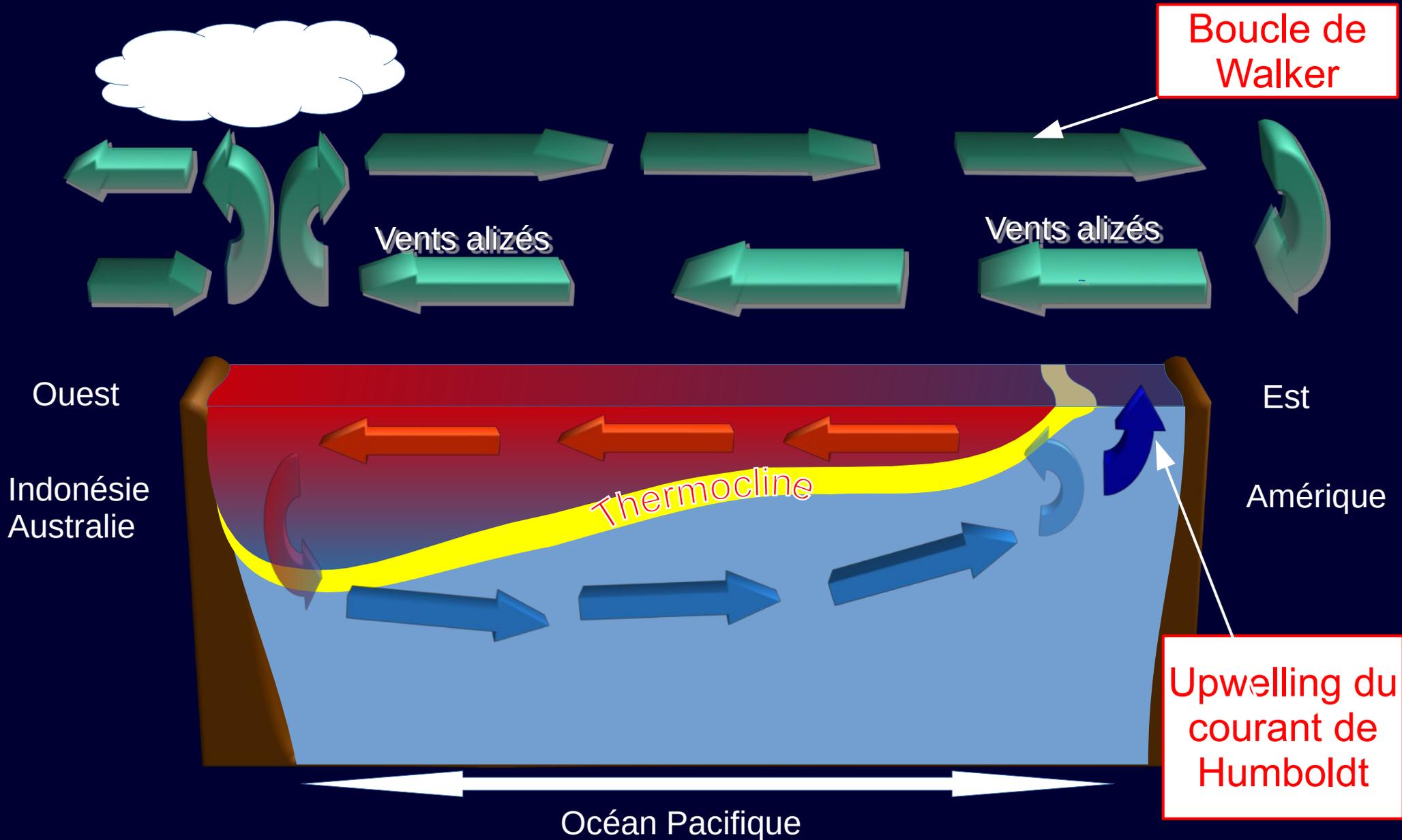
Anomalies trimestrielles de températures SST par rapport à la moyenne 1981-2010
(près de la ligne de changement de date internationale.)

Température de surface (SST en °C)



Oscillation du pacifique sud, phénomène El Niño

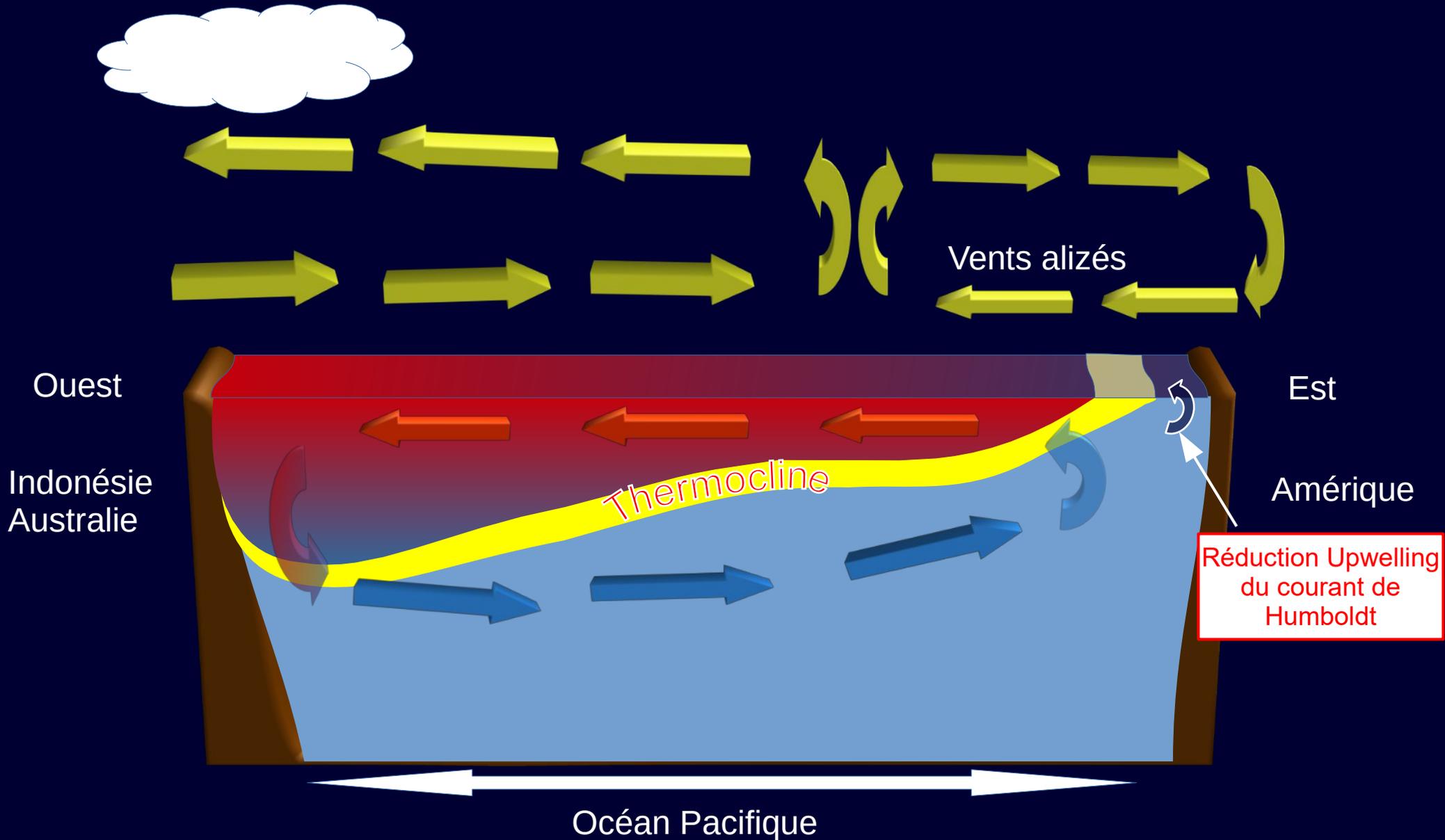
Situation «neutre »



Les événements El Niño apparaissent d'une manière irrégulière, tous les 2 à 7 ans

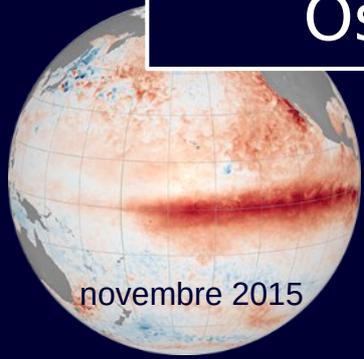
Oscillation du pacifique sud, phénomène El Niño

Situation Pré-«El Niño»

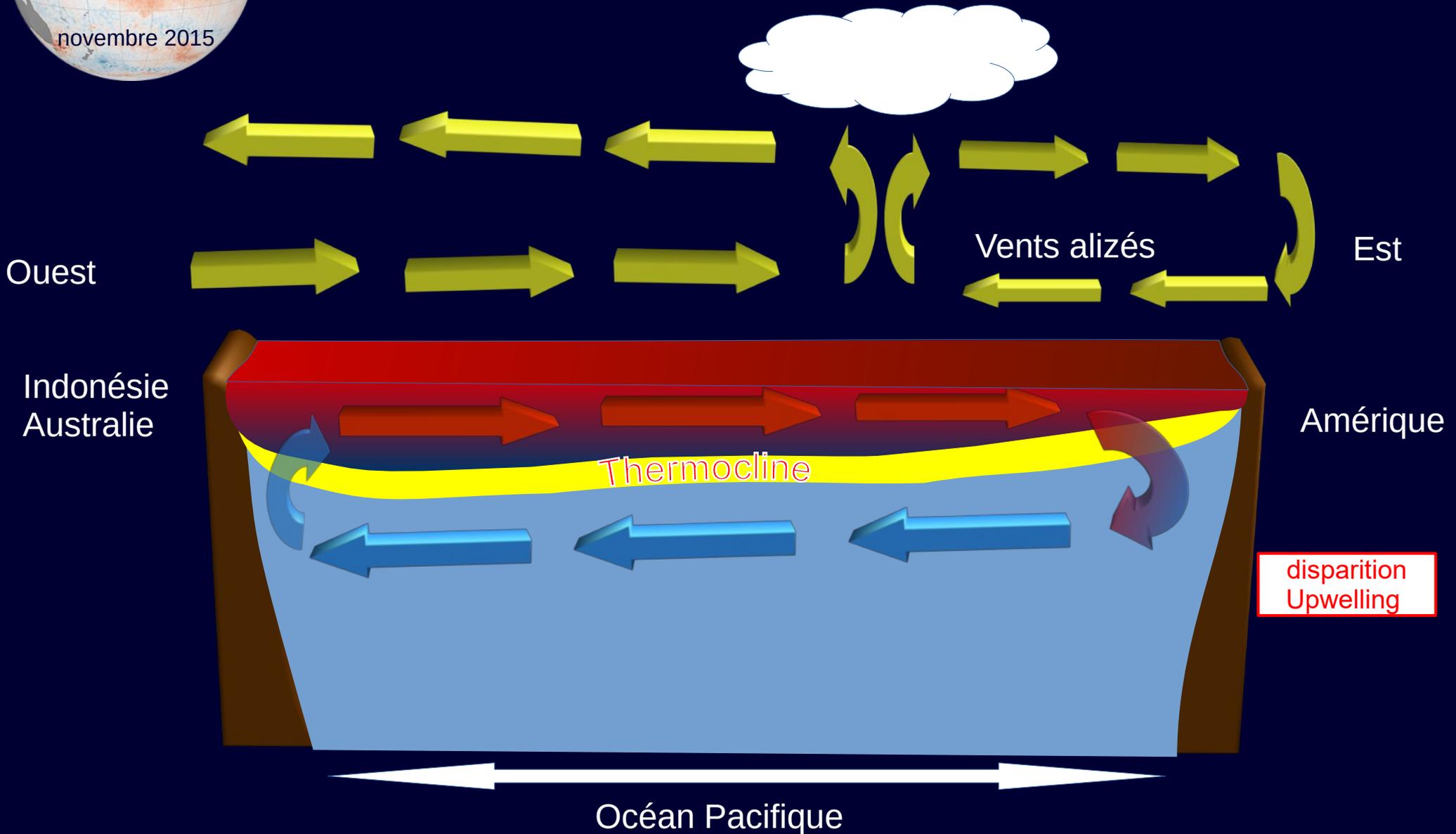


Les événements El Niño apparaissent d'une manière irrégulière, tous les 2 à 7 ans

Oscillation du pacifique sud, phénomène El Niño



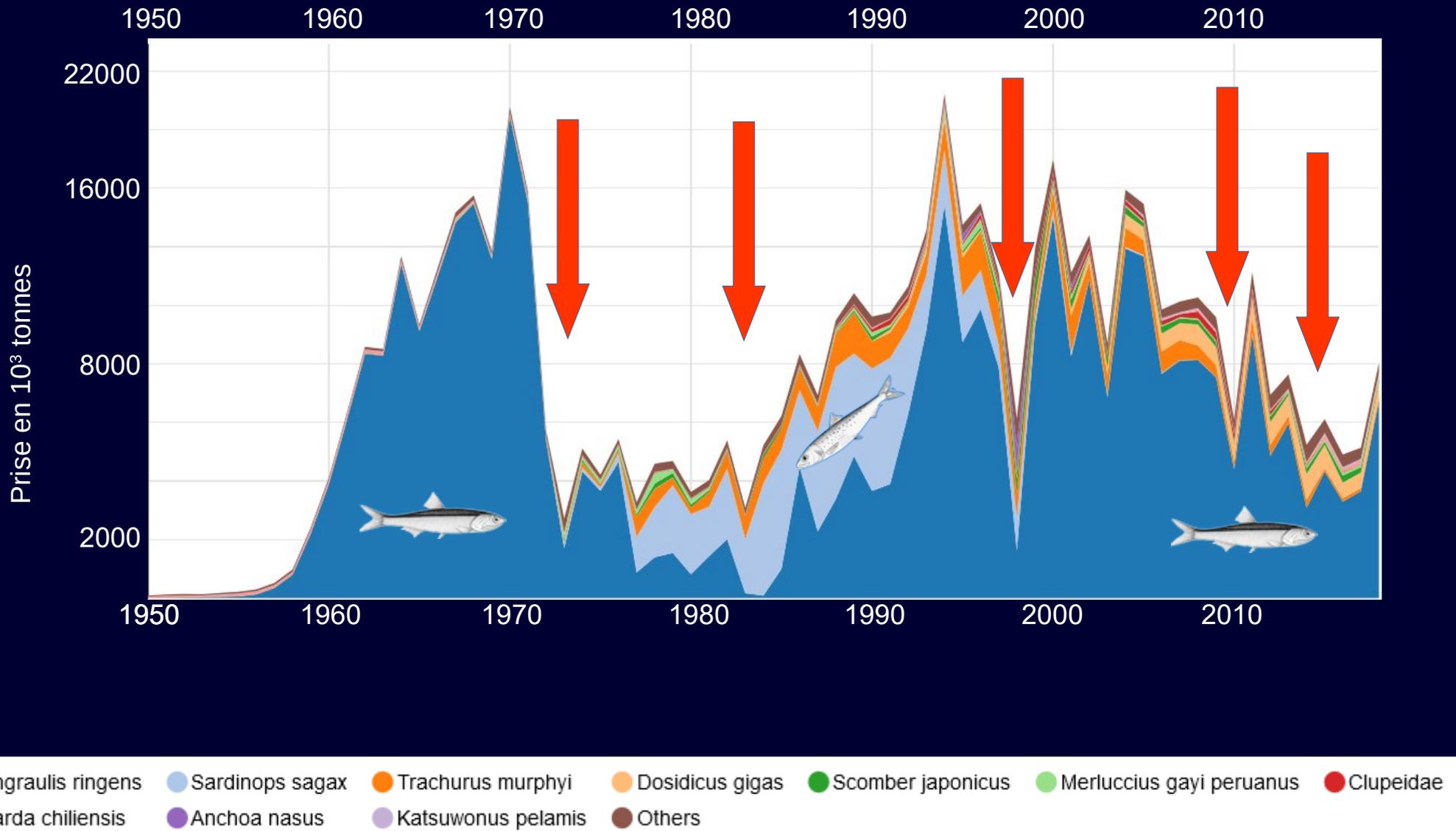
Situation «El Niño»



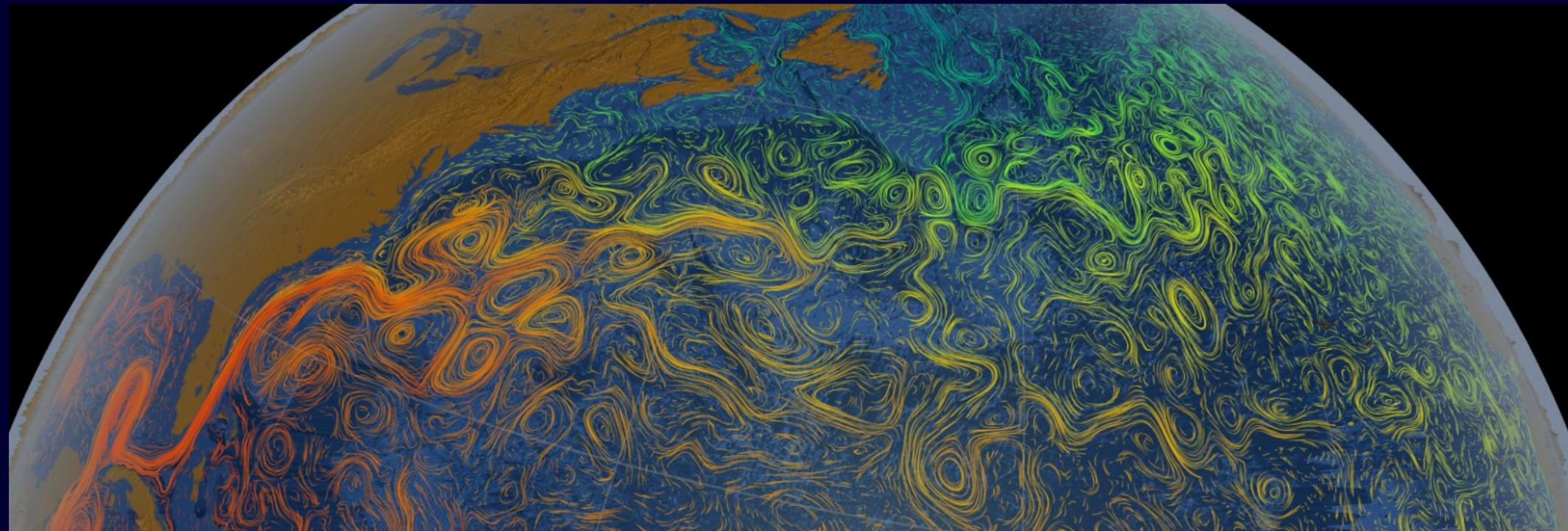
Les événements El Niño apparaissent d'une manière irrégulière, tous les 2 à 7 ans

Oscillation du pacifique sud, phénomène El Niño

El Niño de grande intensité :
1972-1973, 1982-1983, 1997-1998, 2009-2010, 2014-2016



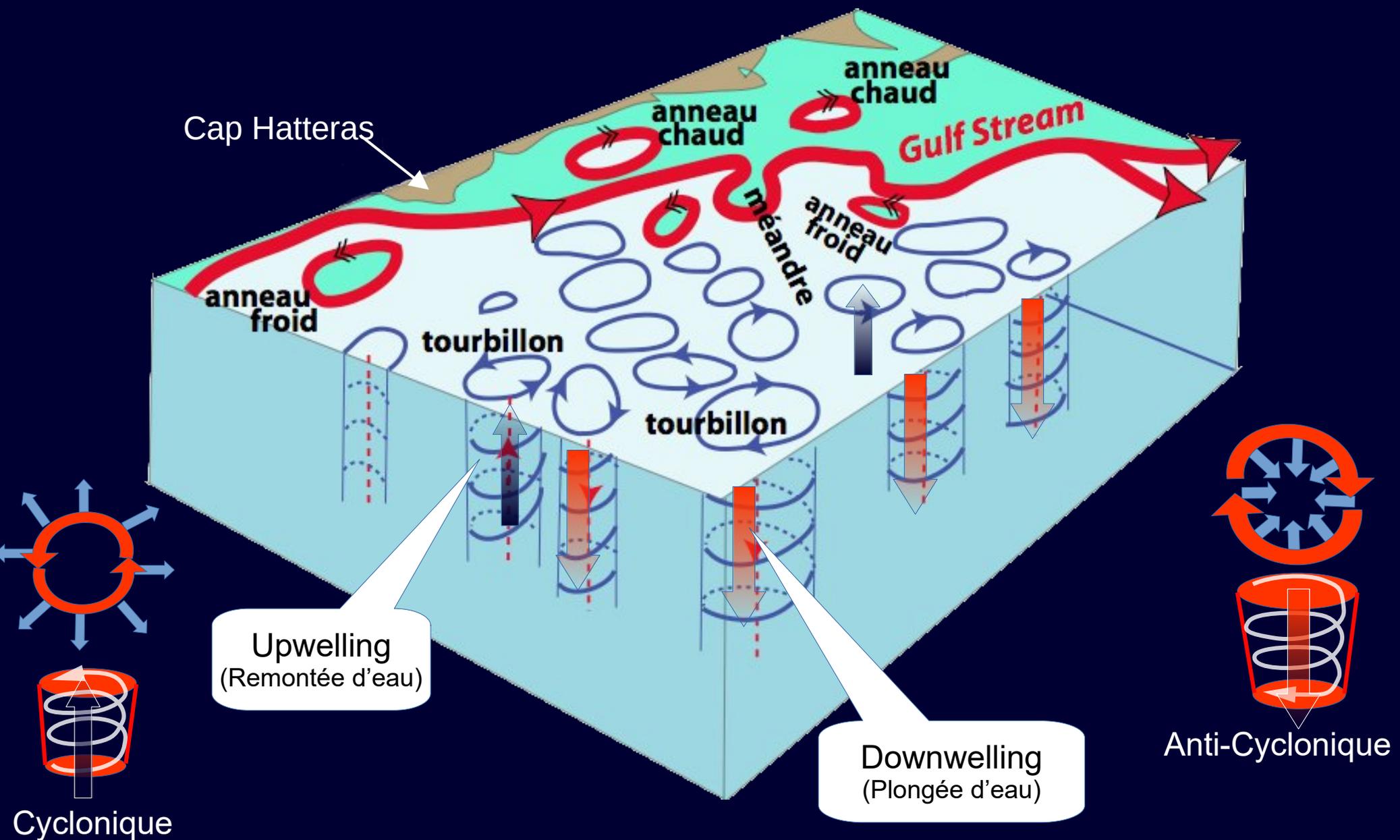
Mésoéchelle



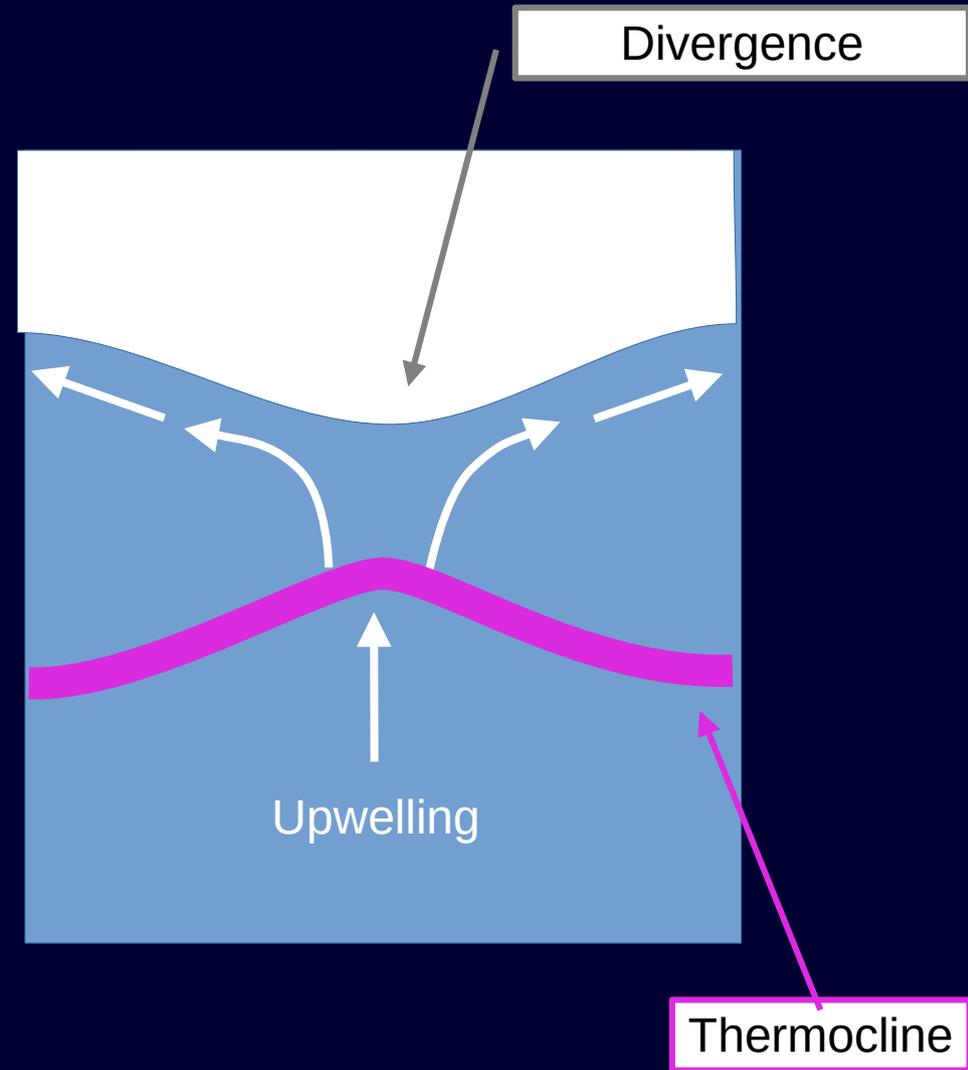
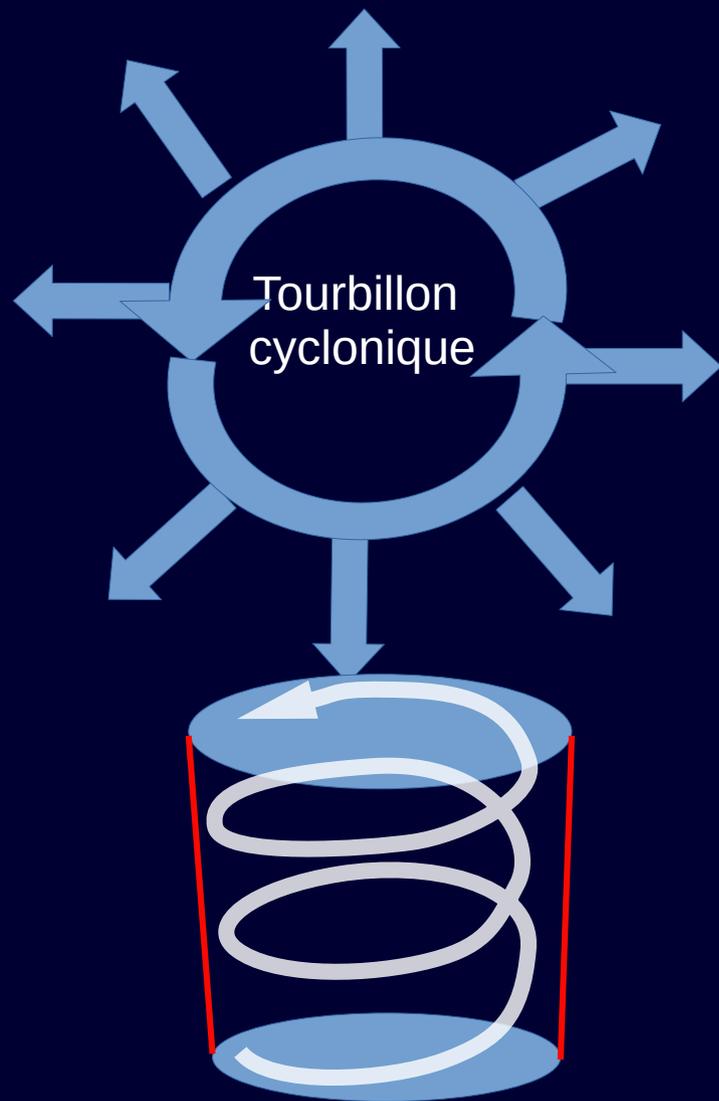
Gulf_Stream_Sea_Surface_Currents_and_Temperatures_NASA_SVS.jpg

<https://svs.gsfc.nasa.gov/3913>

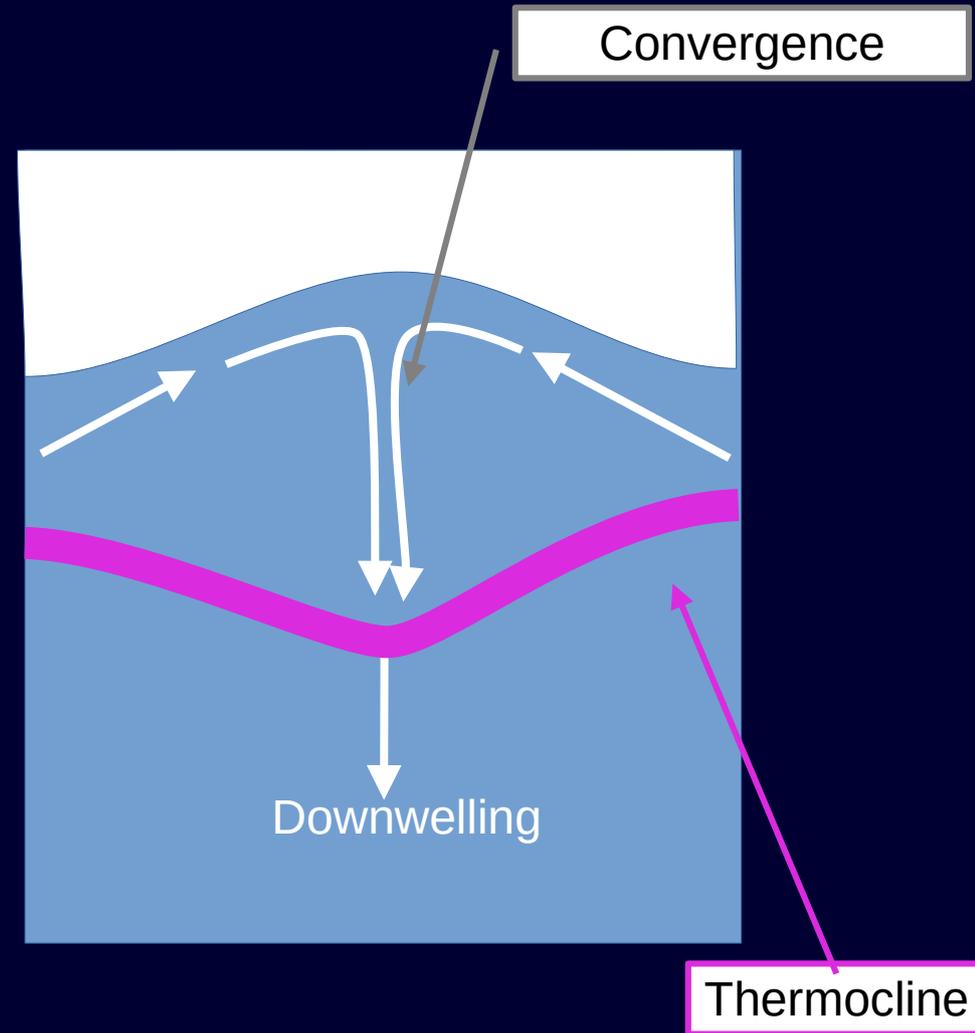
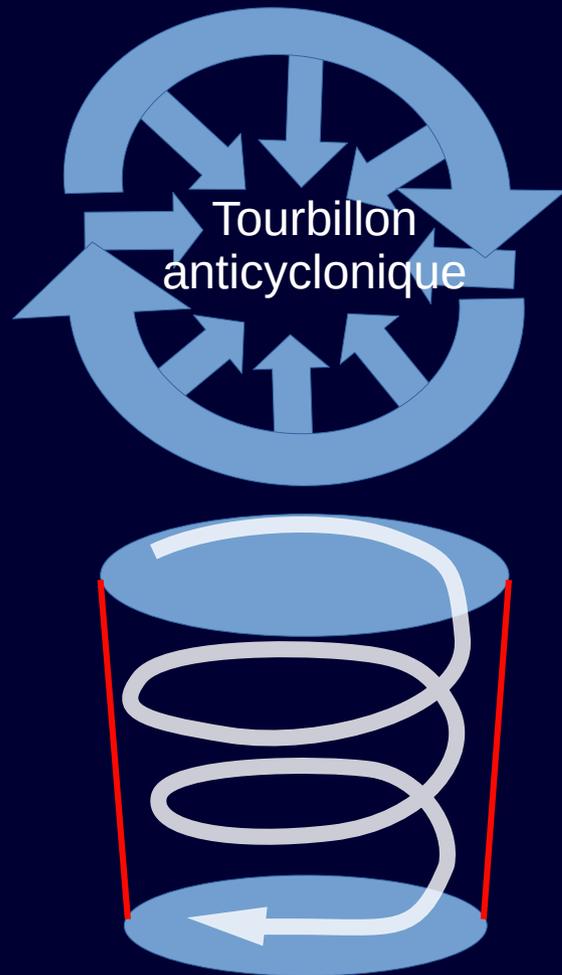
Méandres, anneaux et tourbillons du Gulf Stream



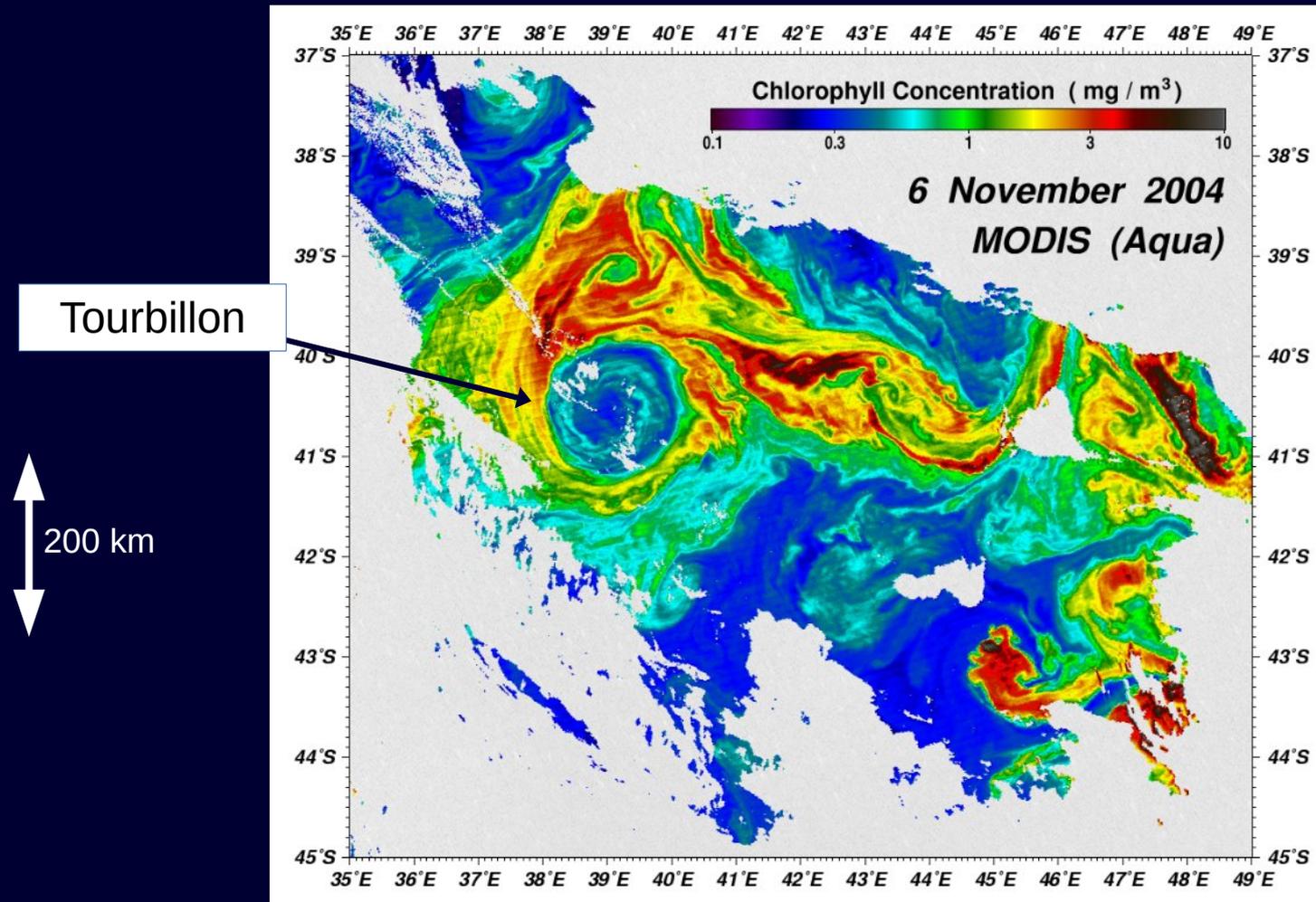
Tourbillon cyclonique dans l'hémisphère nord



Tourbillon anticyclonique dans l'hémisphère nord

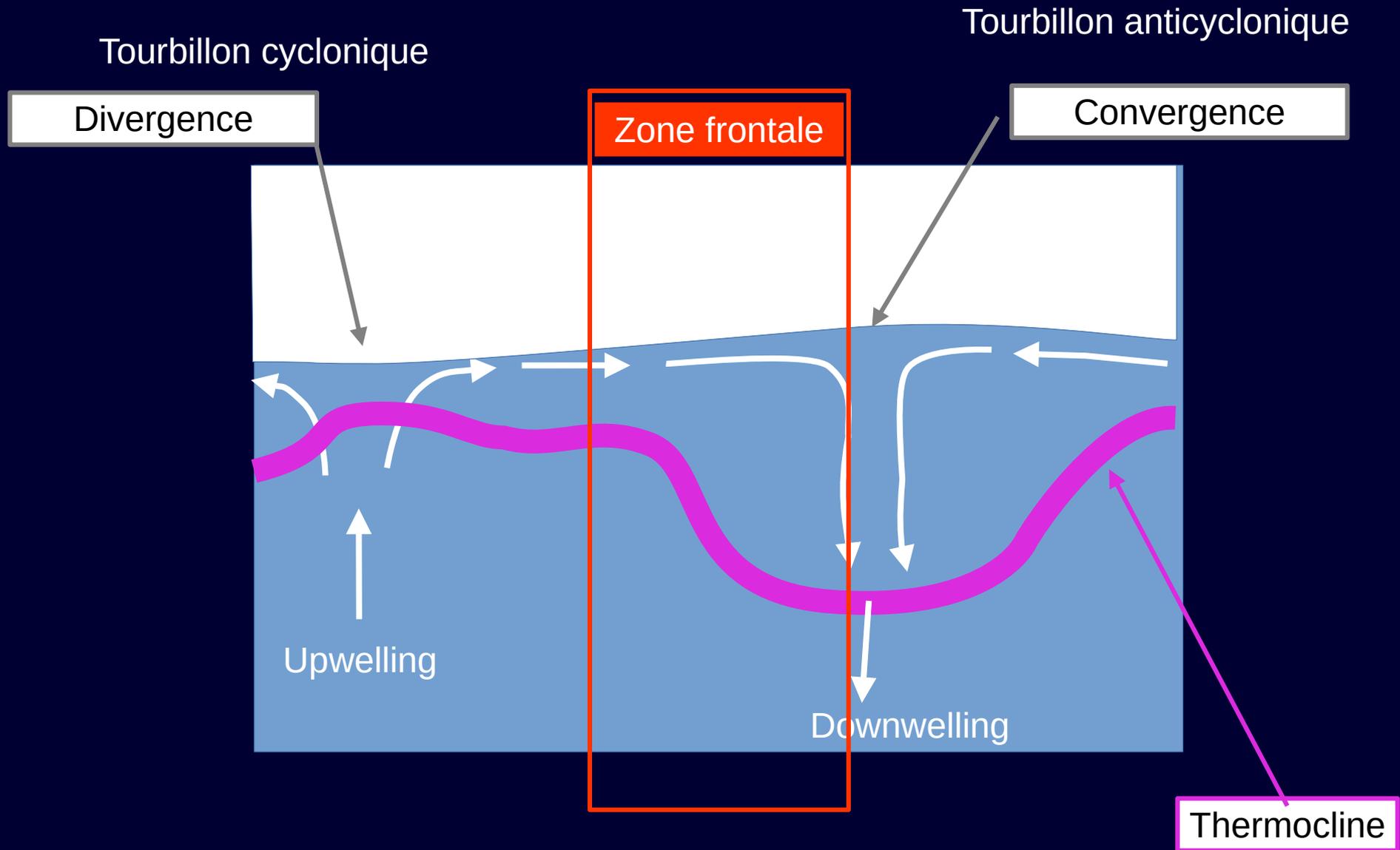


Tourbillons et production primaire



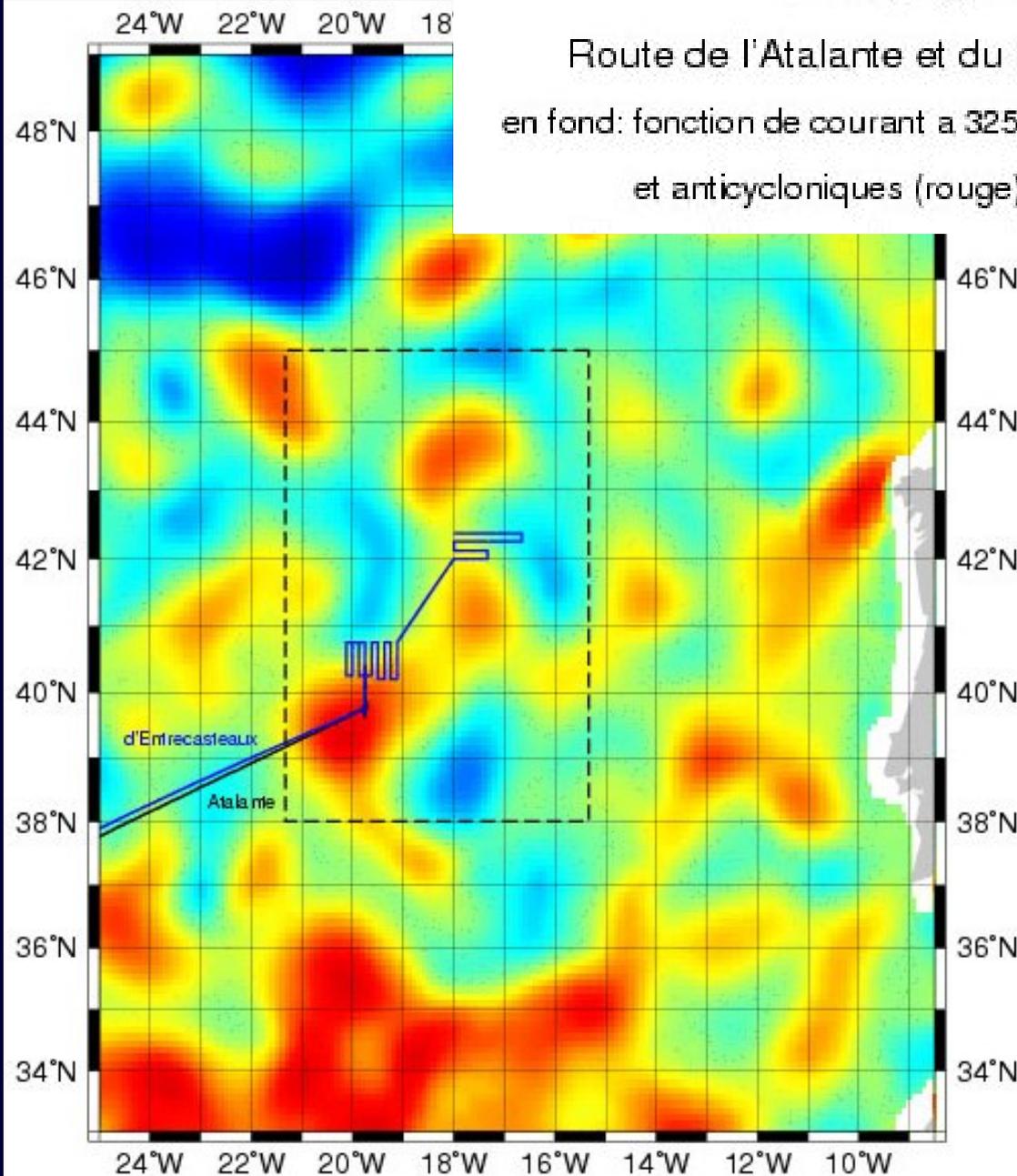
Au sud de Madagascar dans la région du courant de retour des Aiguilles

Front entre un tourbillon cyclonique et un anticyclonique dans l'hémisphère nord

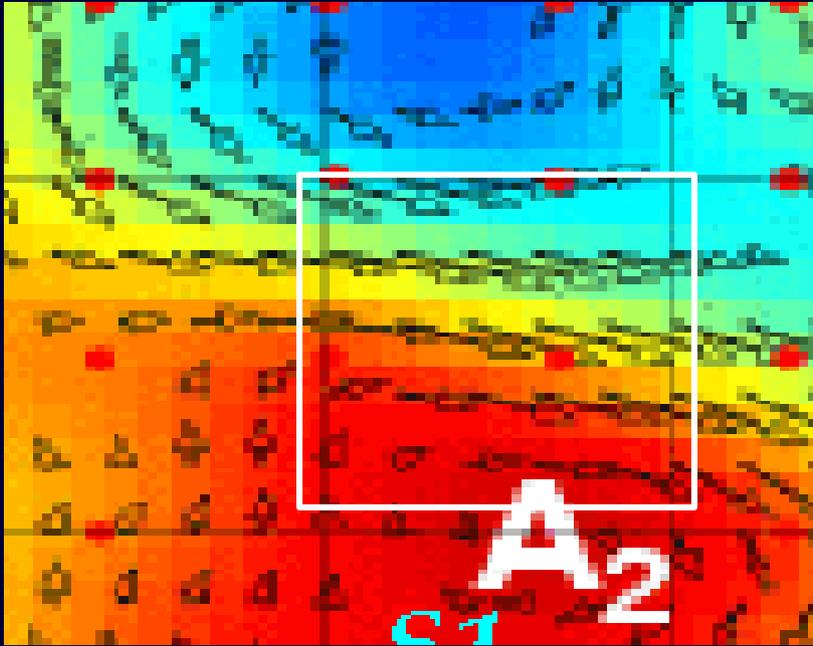


Campagne POMME 2 Leg 2

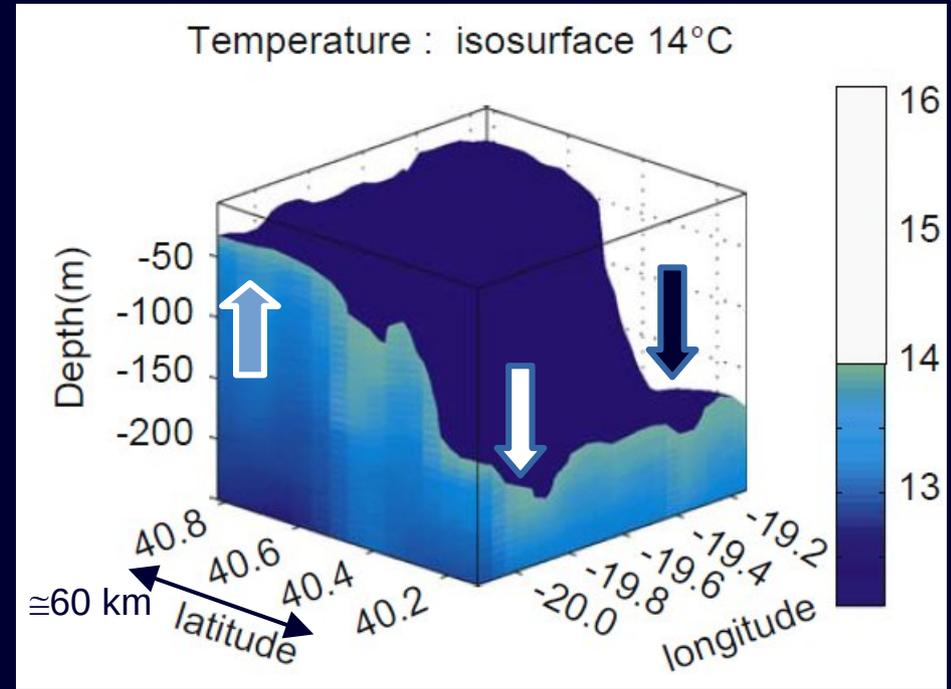
Route de l'Atalante et du D'Entrecasteaux jusqu'au 23/04/01
en fond: fonction de courant a 325m montrant les tourbillons cycloniques (bleu)
et anticycloniques (rouge) (donnees SHOM/CMO/SOPRANE)



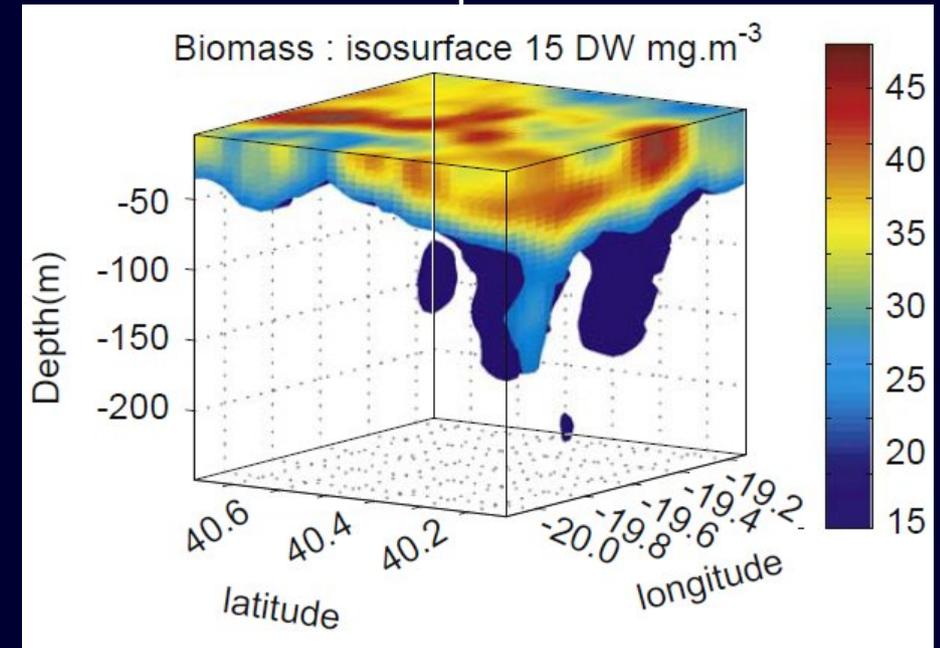
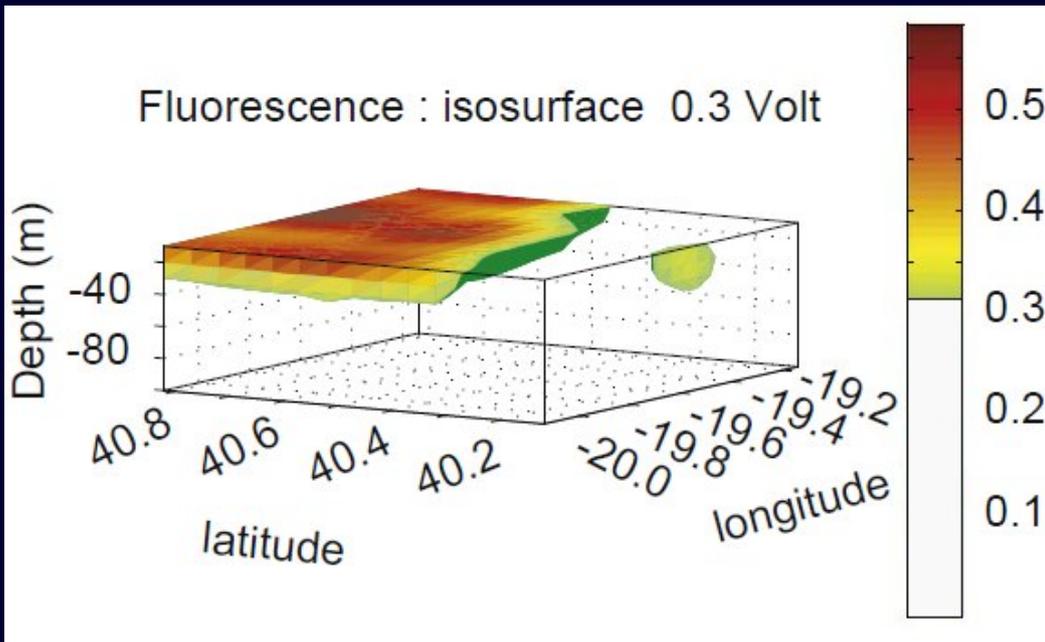
Front entre un tourbillon cyclonique et un anticyclonique



Phytoplankton

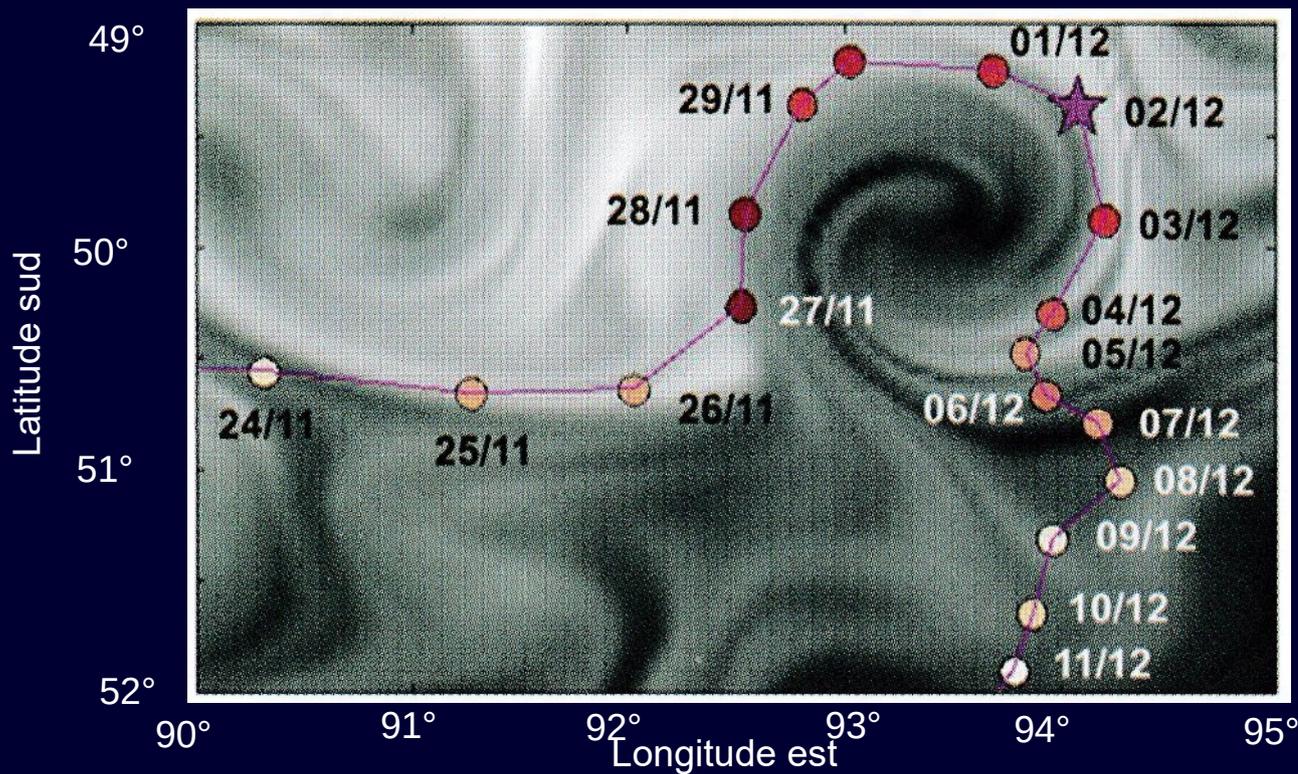
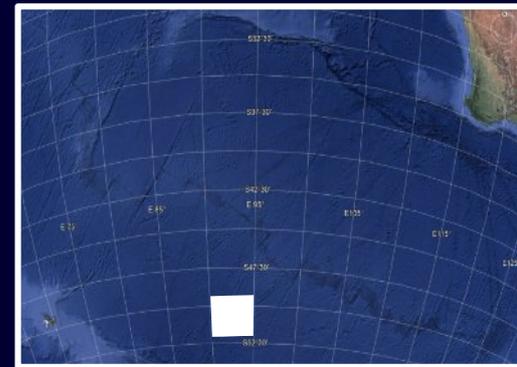


Zooplankton





Comportement trophique d'un éléphant de mer dans un tourbillon du courant circumpolaire



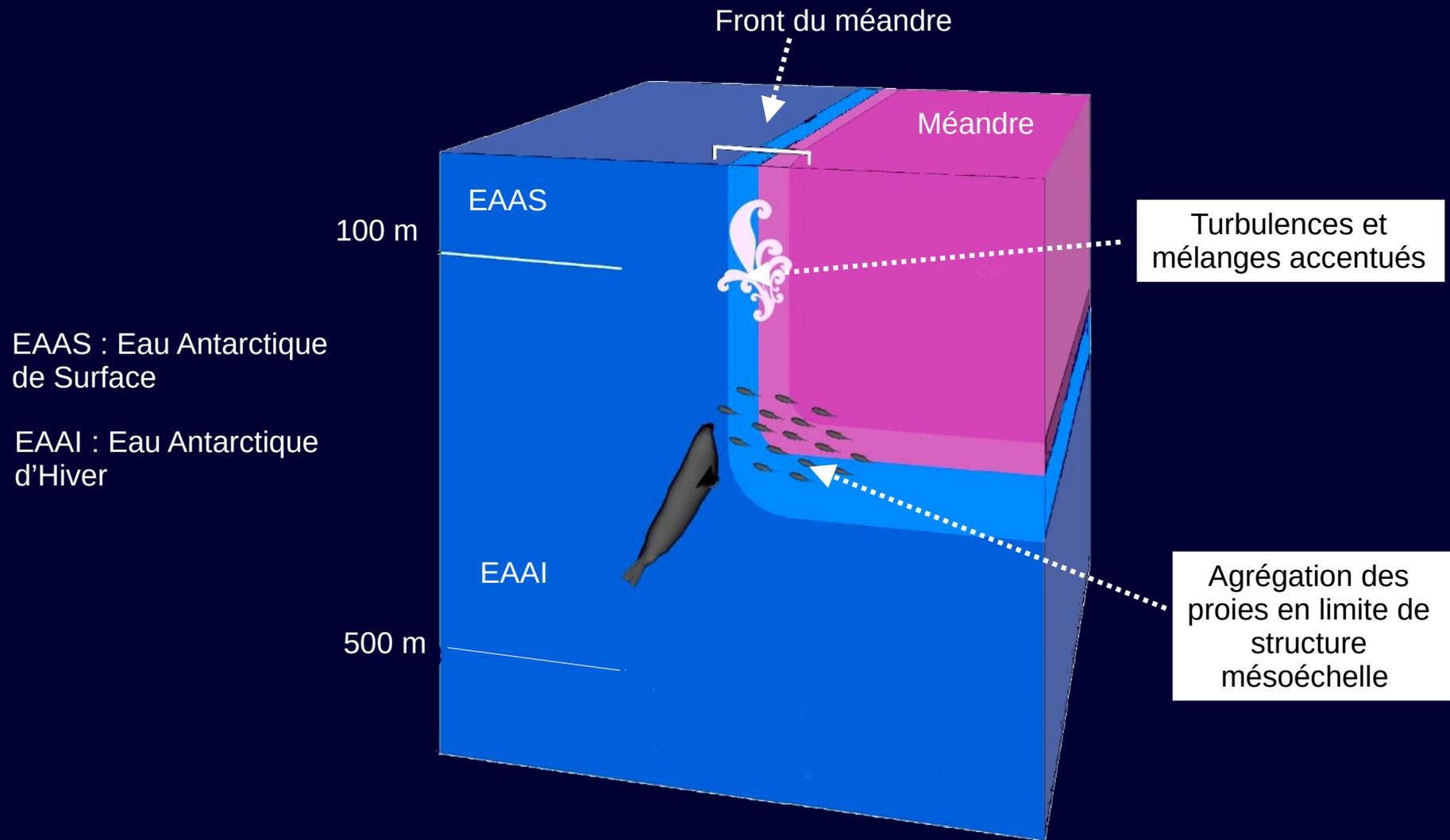
Température (°C)



Nombre de tentatives de captures de proies par jour d'un éléphant de mer dans une structure tourbillonnaire.



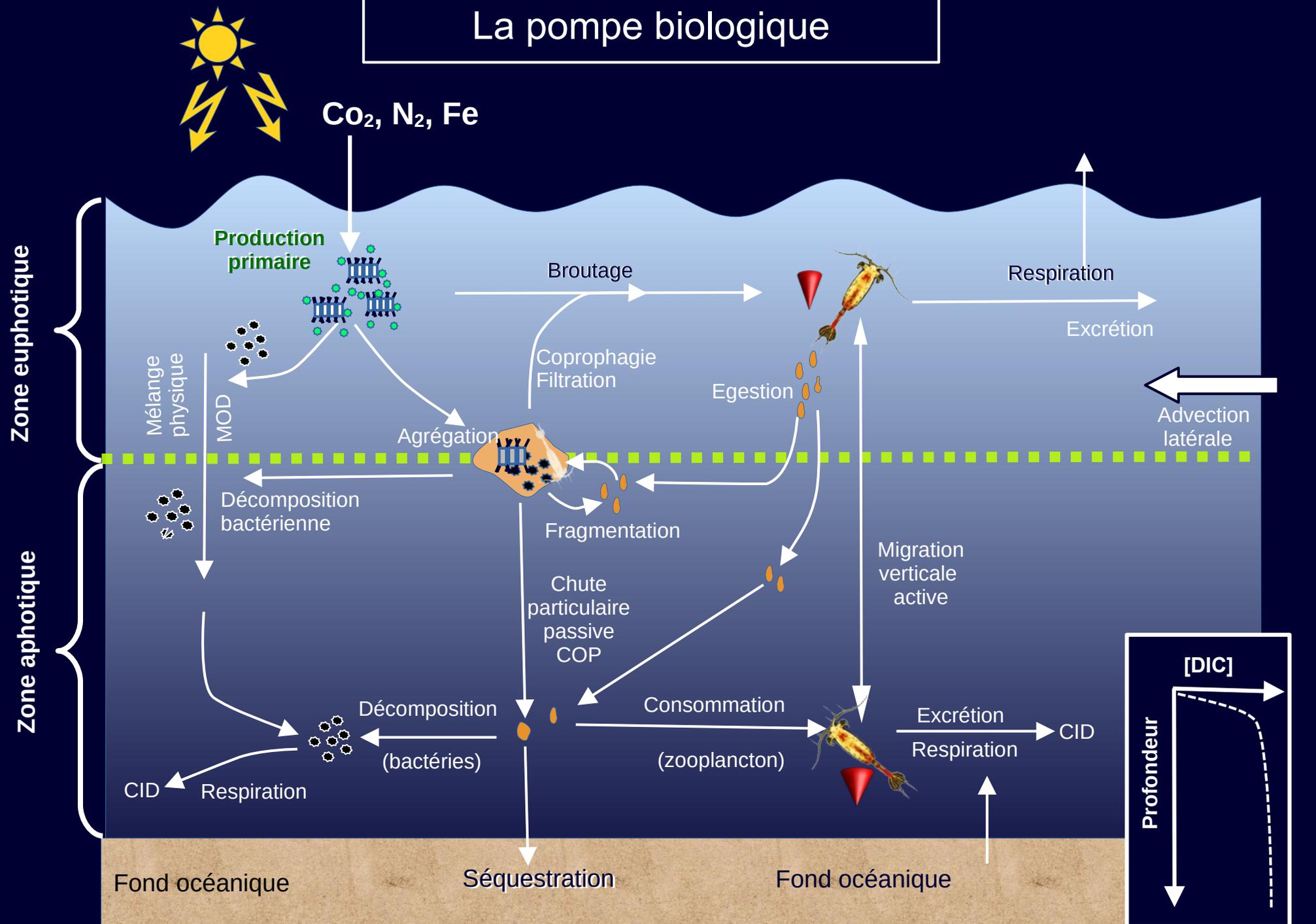
Comportement trophique d'un éléphant de mer dans un tourbillon



Ce qu'il faut retenir sur la dynamique de l'océan à mésoéchelle

- Des tourbillons, fronts filaments forment des structures de l'ordre de quelques dizaines de kilomètre à la centaine de km.
- Elles vont créer une dynamique de l'océan avec notamment des mouvements verticaux sur plusieurs centaines de mètres.
- Ils vont moduler la production des océans.

La pompe biologique



COP : Carbone organique particulaire,
 MOD : Matière organique dissoute
 CID : Carbone inorganique dissous