

Histoire naturelle d'une vie à la dérive

MOD
El Niño Oligotrophe
Humboldt Broutage
Necton Siphonophore Cténaire Filex
Salinité Phytoplancton Diatomées
Cnidaire Photosynthèse Méroplancton
Bactéries Sels nutritifs Acanthaires
Pélagique Appendiculaire Euphausiacée
Naturelle Macrozooplancton Ptéropode
Gyre Dérive **LE PLANCTON** Krill
Profondeur de compensation
Anchois Microzooplancton
Thermocline Coccosphaerae Température Océan
CTD Diatomée Dinoflagellés Copépodes
Couleur Chlorophylle
ENSO Ecosystème Upwelling
Salpella Eutrophe
Densité
SST MOP pression

Les Amis du
Musée de la Mer
Cité de l'Océan
2/10/2019

Jean-Philippe Labat



Histoire naturelle d'une vie à la dérive

LE PLANCTON

- Introduction
 - Diversité biologique du plancton
 - Plancton et fonctionnement d'écosystèmes pélagiques
 - Outils pour l'étude du plancton
 - Plancton et changements climatiques
- 



The background of the slide features a collage of various marine organisms and scientific equipment. At the top, there's a row of small images showing different types of plankton and marine life. Below this, on the left side, there are several larger images stacked vertically, depicting a diver, a submarine, and other underwater scenes. On the right side, there's another vertical stack of images showing various marine organisms like jellyfish and squid. The bottom of the slide also contains a row of images, including a ship at sea, a close-up of a fish, and a person working in a laboratory setting. The central area of the slide has a dark blue background with white and yellow text.

« **Plankton** » : qui est errant, vagabond
du grec ancien πλαγκτός / plagktós, errant, instable.

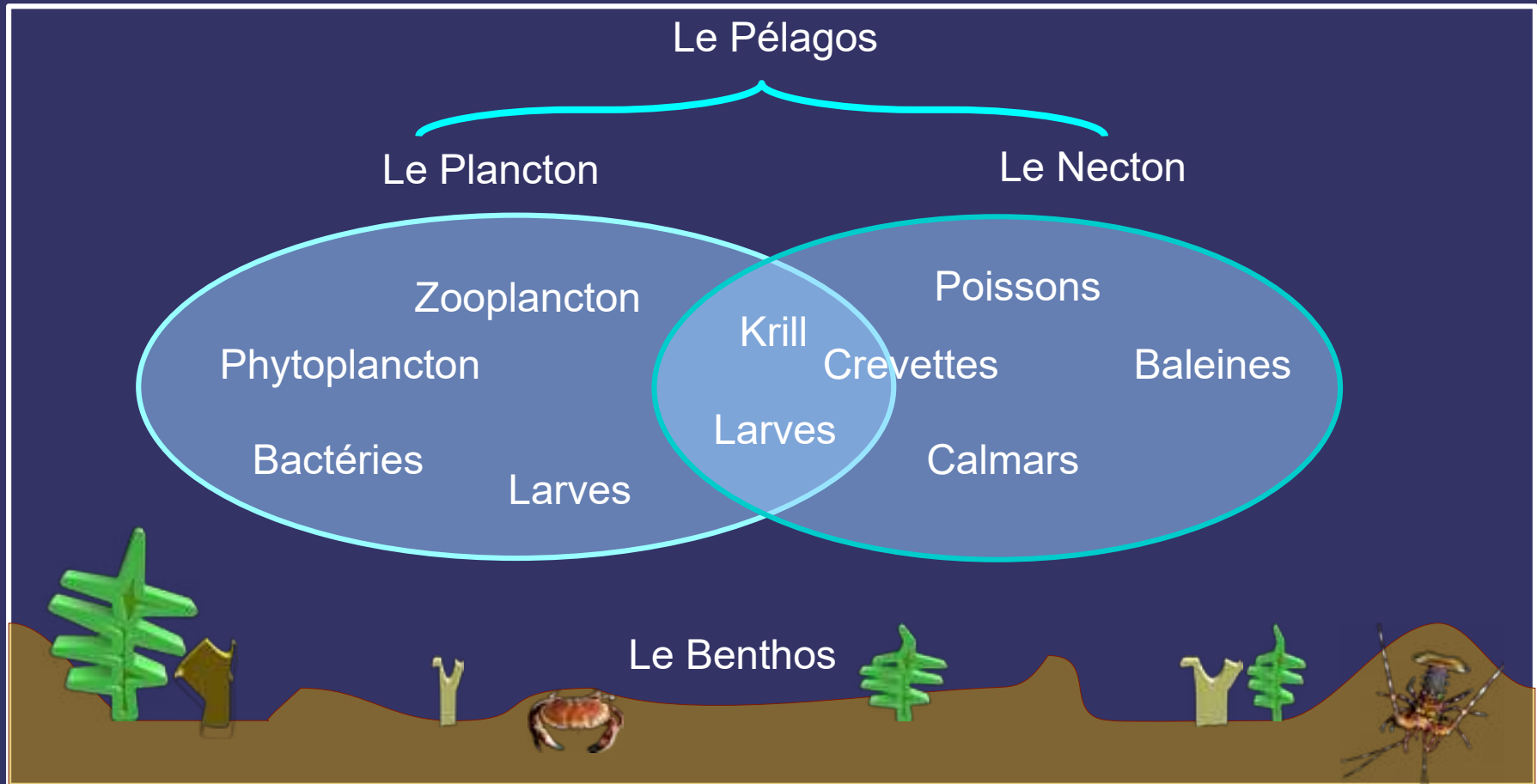
Christian Andreas Victor Hensen (1835 - 1924), zoologiste allemand.

Le **plankton** est l'ensemble des organismes vivant dans la masse d'eau, le plus souvent en suspension et apparemment passivement. Il peuple le **domaine pélagique**.

Christian Andreas Victor Hensen (1835 - 1924), zoologiste allemand.

Le plancton est l'ensemble des organismes vivant dans la masse d'eau, le plus souvent en suspension et apparemment passivement. Il peuple le domaine pélagique.

PLANCTON, UNE VIE À LA DÉRIVE



Le **plancton** est l'ensemble des organismes vivant dans la masse d'eau, le plus souvent en suspension et apparemment passivement. Il se différencie du **necton**, capable de se déplacer activement.

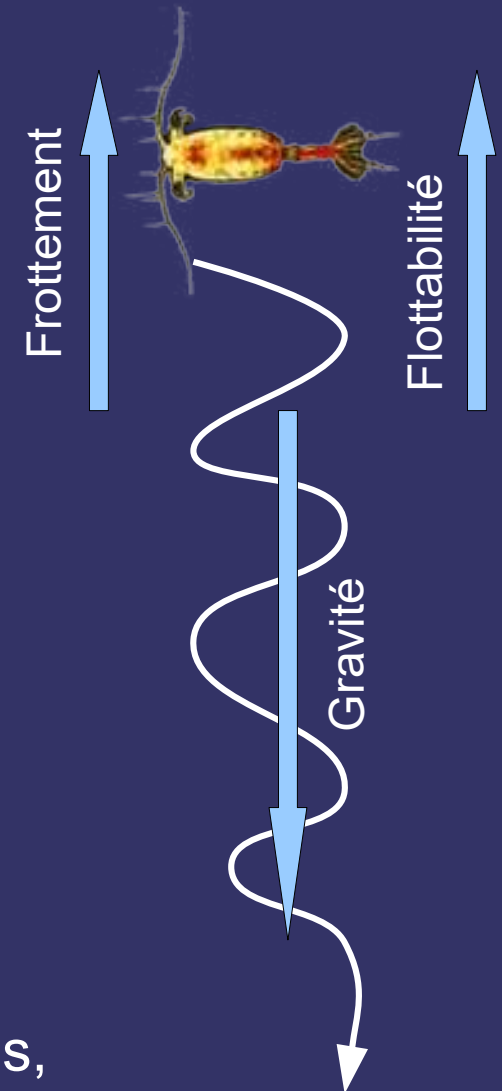
Plancton et **necton** constituent le **pélagos** en opposition au **benthos** qui vit sur le fond.

[illegible]

Adaptation à la vie pélagique

Lutter contre la « chute »

- ✓ Augmenter les forces de frottement :
 - ✓ Extensions, appendices foliacés, épines, ailettes,
 - ✓ Forme « parachute »,
 - ✓ Aplatissement
- ✓ Densité proche de celle de l'eau :
 - ✓ Flotteurs,
 - ✓ Forte teneur en eau,
 - ✓ Squelette réduit,
 - ✓ Accumulation de gouttes lipidiques.
- ✓ Éviter les prédateurs dans un milieu transparent :
 - ✓ Transparence du corps, parties vitales regroupées,
 - ✓ Bioluminescence (masquer la fuite, lumière),
 - ✓ Migrations verticales nyctémérales.





HISTOIRE NATURELLE D'UNE VIE À LA DÉRIVE

Diversité biologique du plancton

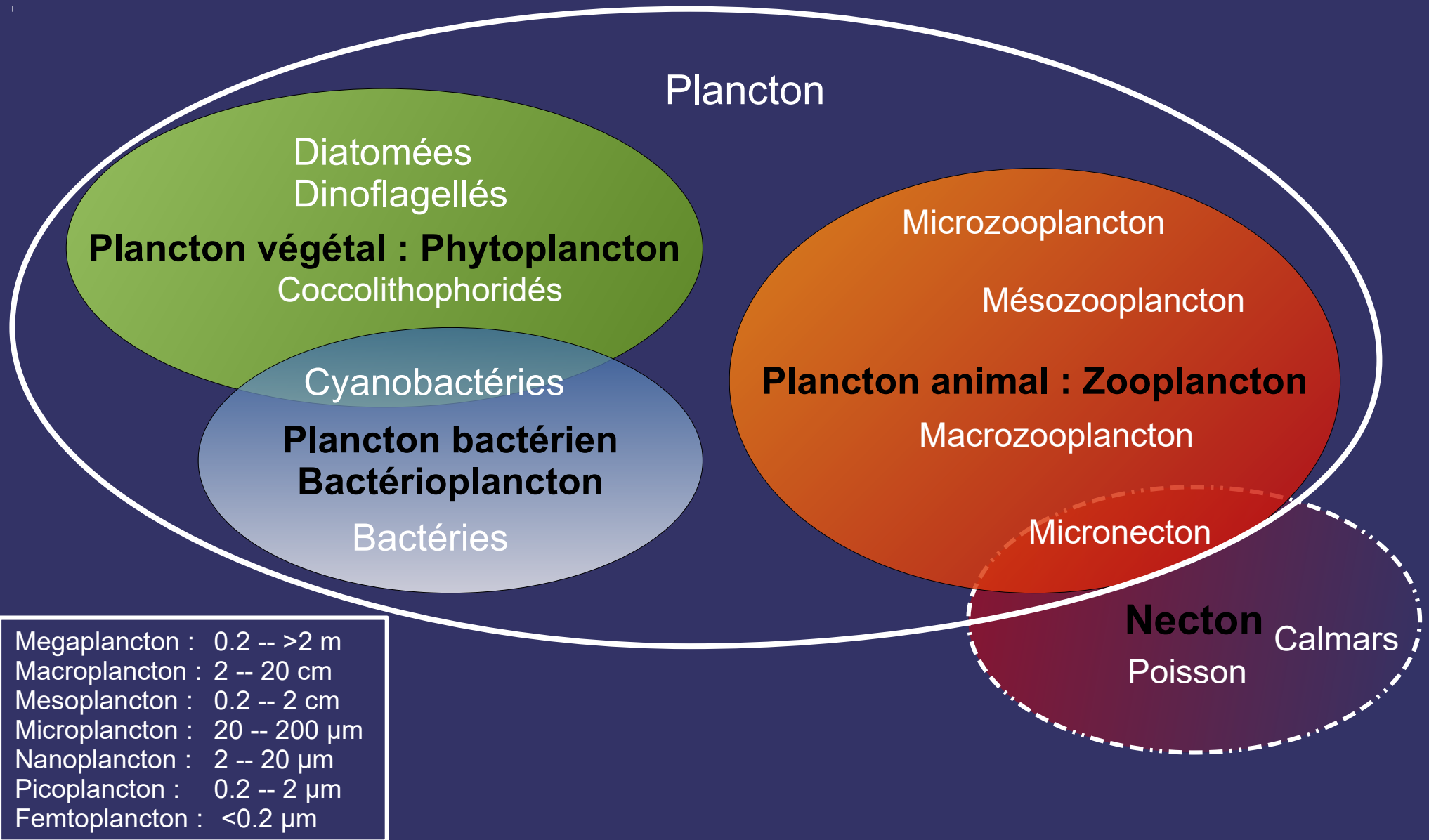


Les vidéos suivantes ont été réalisées dans le cadre des
« Chroniques du plancton »
<http://planktonchronicles.org/fr/>



Les Chroniques du Plancton réalisée par Christian Sardet (CNRS), Sharif Mirshak et Noé Sardet (Parafilms) dans le cadre de l'Expédition Tara Océans et de l'Observatoire Océanologique de Villefranche-sur-Mer (CNRS / UPMC).

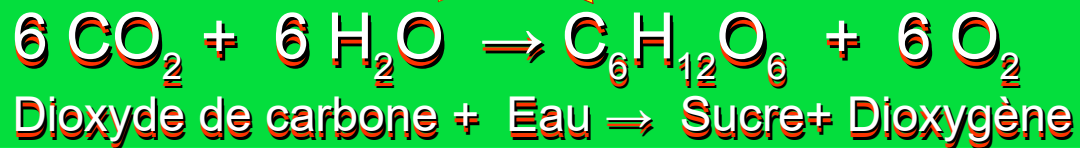
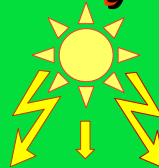
Diversité biologique du plancton



Phytoplancton ou Plancton "*végétal*"

Une seule cellule, non fixée, très peu mobile,
photosynthétique *

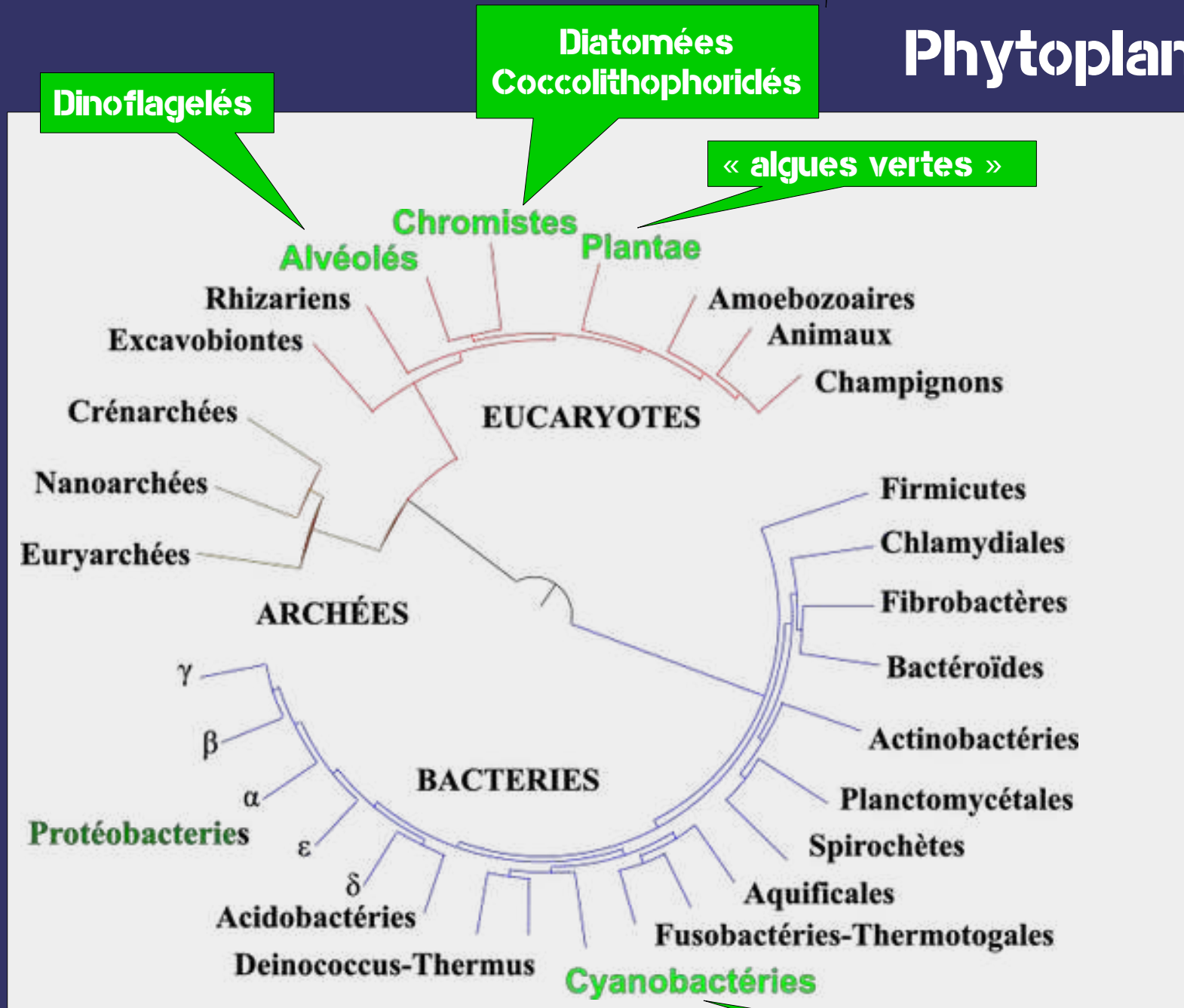
Photosynthèse



Production primaire pélagique

(* Définition simple et pratique mais vague taxonomiquement)

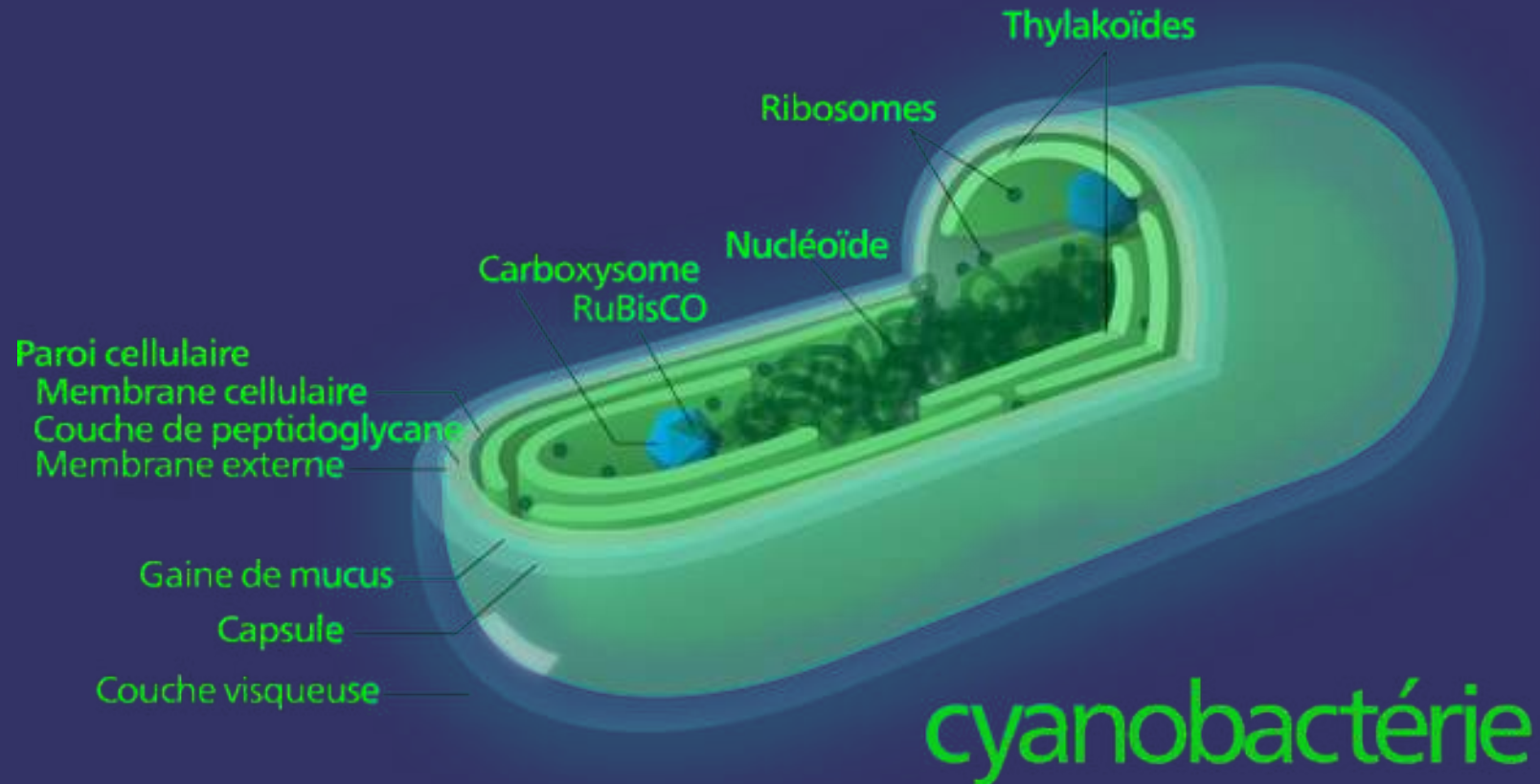
Phytoplancton



Cyanobactéries

Cyanobactéries

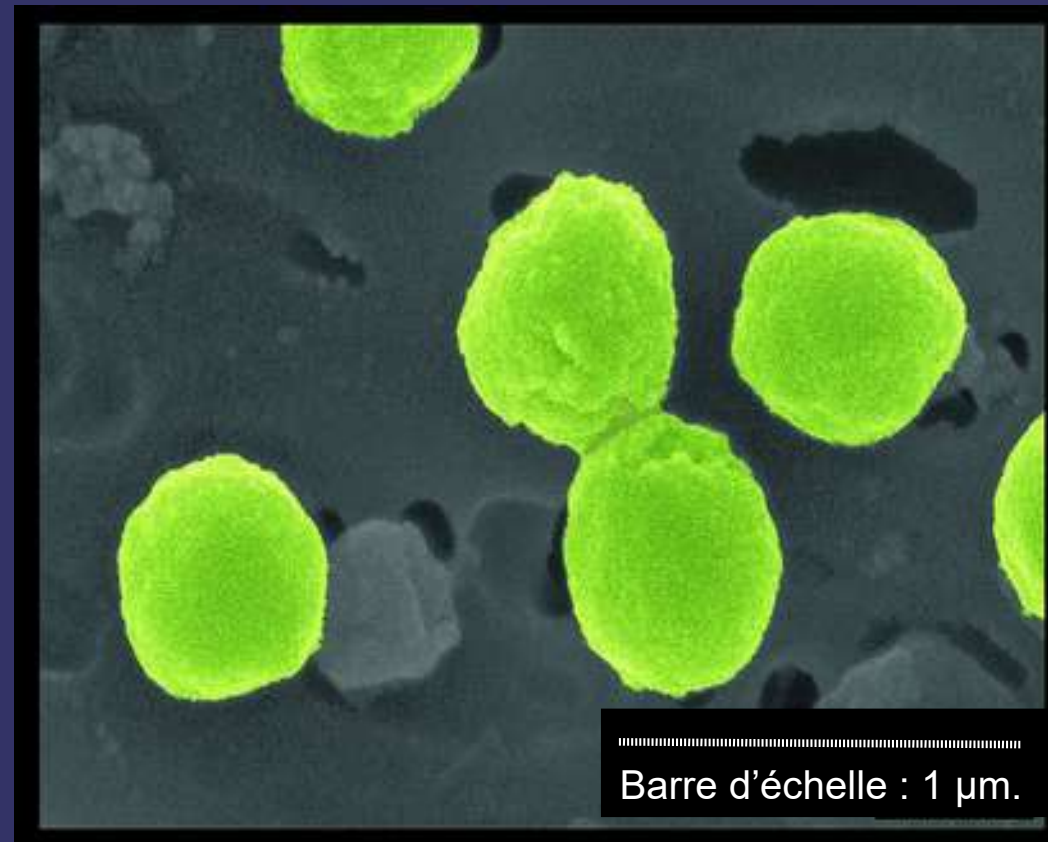
Bactérioplancton, procaryotes, mixotrophes sans noyau véritable, ni plaste



Kelvinsong [CC BY-SA 3.0]

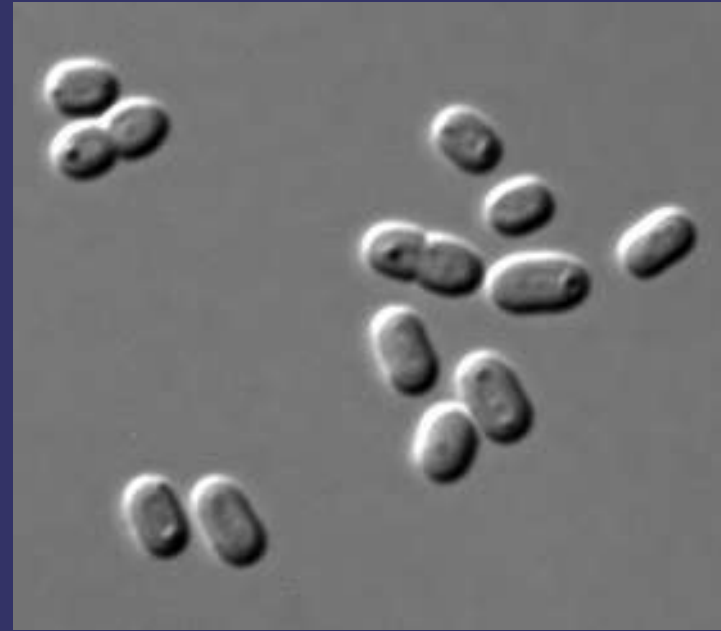
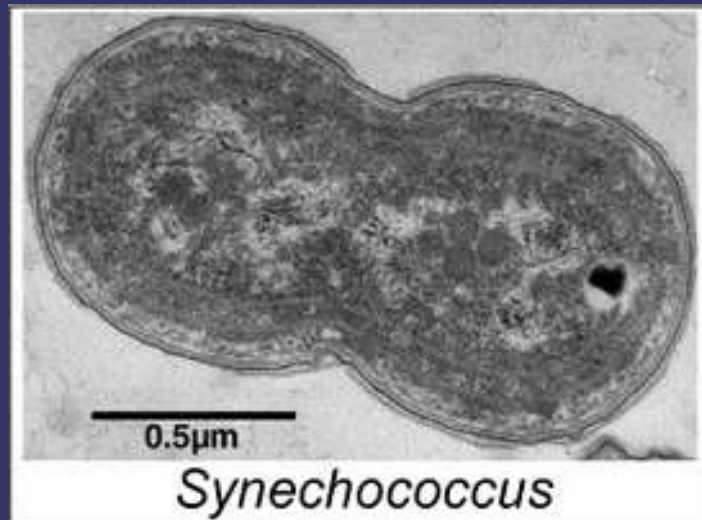
Thylakoïdes : sacs contenant les organites photosynthétiques qui assurent la photosynthèse, la respiration et la fixation de l'azote, la diazotrophie (chez certaines espèces).

Nucléoïde : situé au centre de la cellule assure des fonctions semblables à celle d'un noyau et contient l'ADN.



Cyanobactéries marines photosynthétiques, classées parmi les picoprocaryotes. Taille 0,6 μm . Dans l'océan jusqu'à des densités de 100 000 cellules/ml.

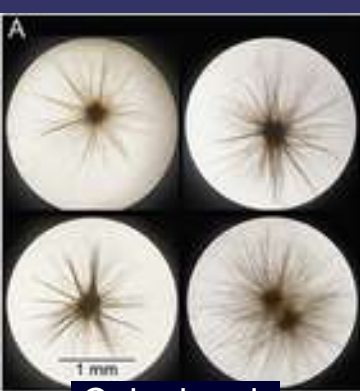
5% environ de la photosynthèse mondiale, une importance planétaire pour le cycle du carbone et dans les chaînes trophiques.



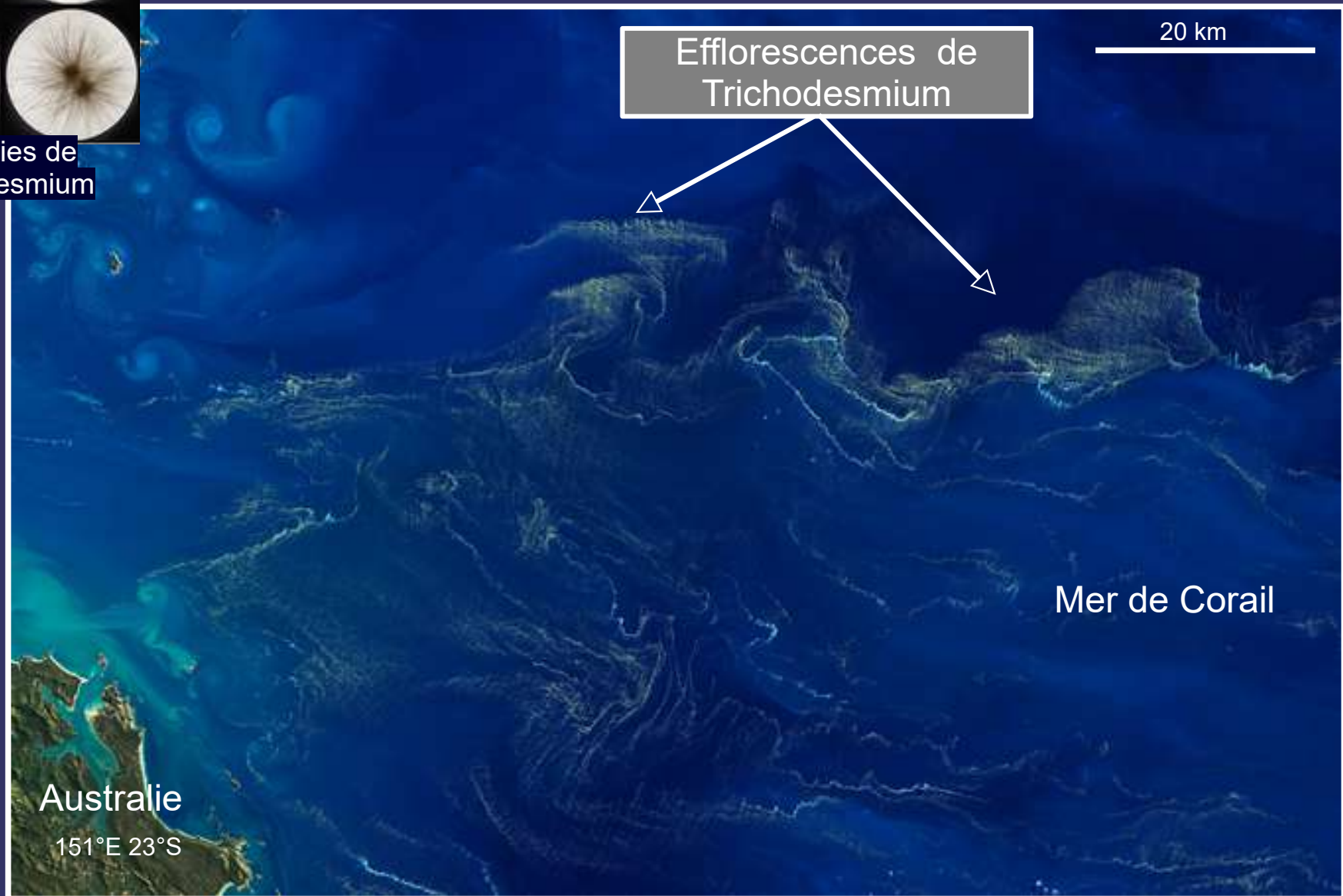
Synechococcus est une cyanobactérie nanoplanctonique. Très abondante dans le milieu marin (--> 200 000 cellules/ml).

Bien que longtemps inconnue et encore méconnue en raison de sa taille minuscule, elle domine dans les zones oligotrophes avec leur proche parente du genre *Prochlorococcus* en particulier .

Trichodesmium



Colonies de
Trichodesmium



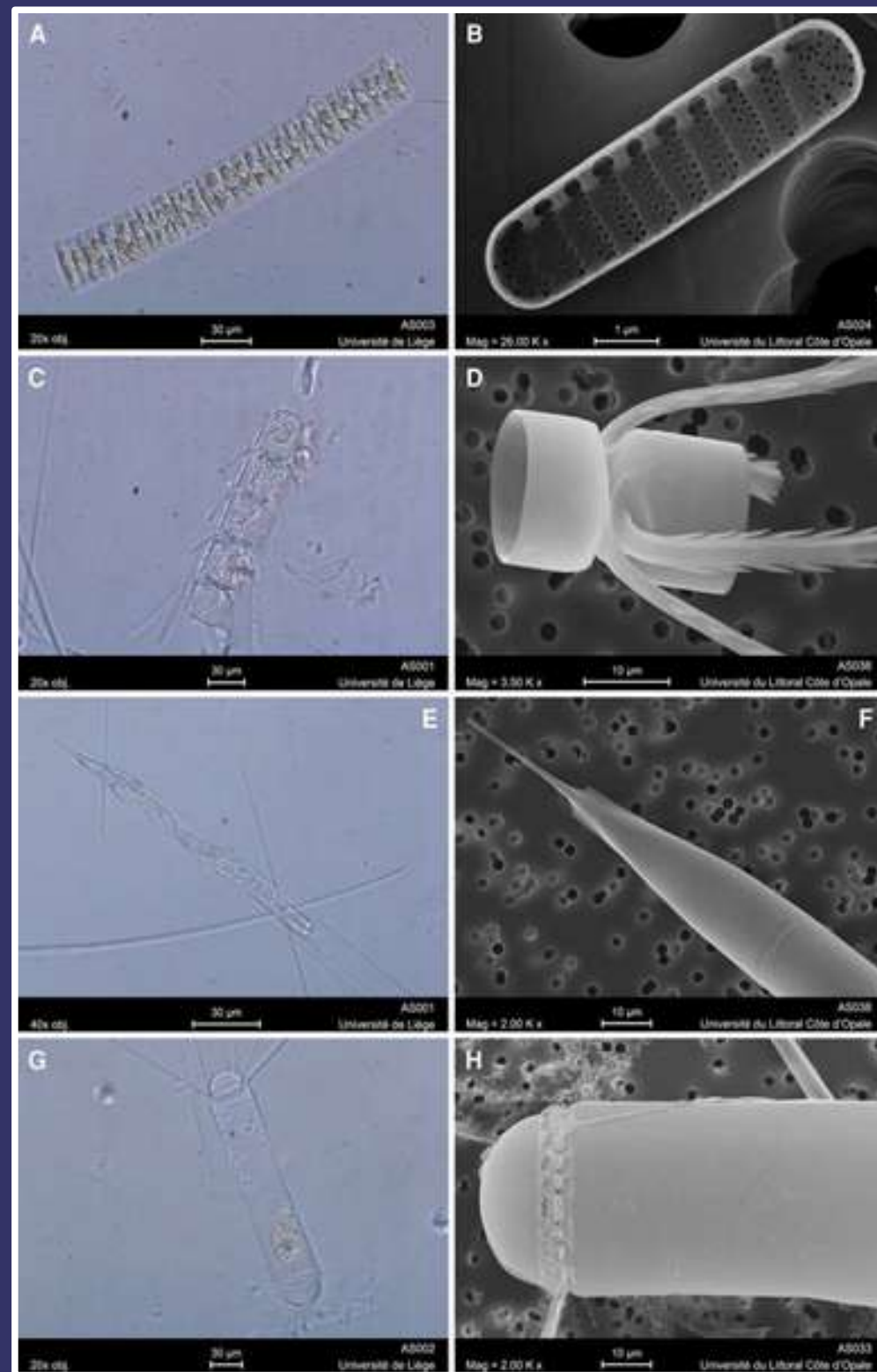
Efflorescence (bloom) de la cyanobactérie diazotrophe *Trichodesmium* spp

Diatomées

Phytoplancton, eucaryote, unicellulaire
squelette externe siliceux



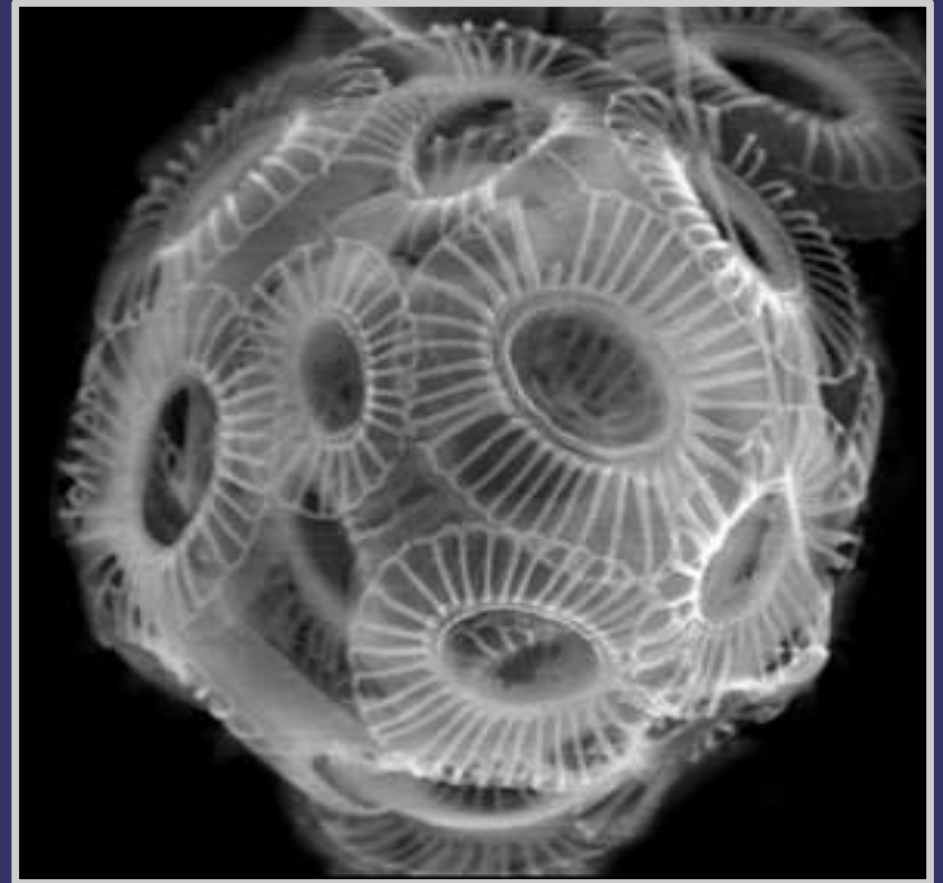
a, b *Fragilisations spp.*
c, d *Chaetoceros criophilus*
e, f *Rhizosolenia spp.*
g, h *Corethron pennatum*



C. Beans, J. H. Hecq, P. Koubbi, C. Vallet, S. Wright, A. Goffart
Polar Biol (2008) 31:1101–1117



© Luc Beaufort CNRS/CEREGE



© INSU-CNRS, Luc Beaufort

Emiliana huxleyi

Coccolithophoridés

Phytoplancton, eucaryote, unicellulaire

de 5 à 50 microns, enveloppe en carbonate de calcium.

Coccolithophoridés



NASA - Visible Earth- images and animations of our home planet

Dinoflagellés

Organismes eucaryotes unicellulaires aux comportements alimentaires variés : photosynthétiques / hétérotrophes / mixotrophes



Ceratium pentagonum



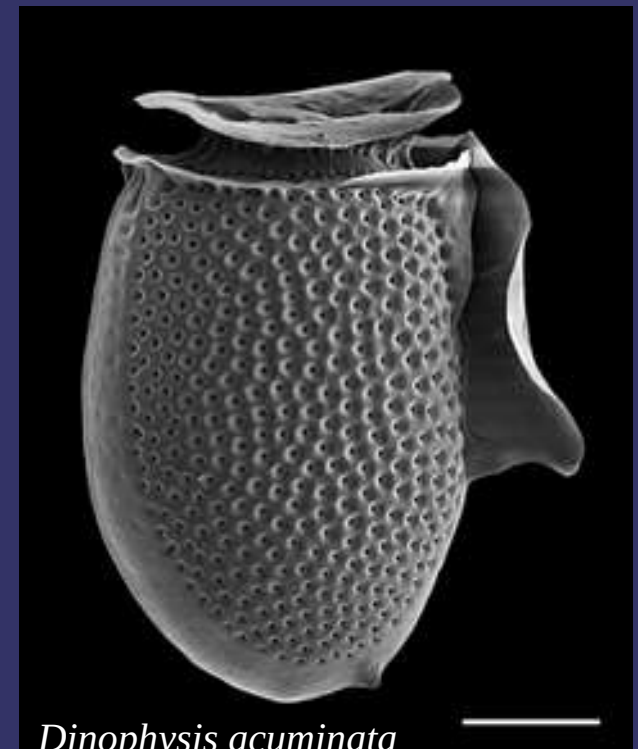
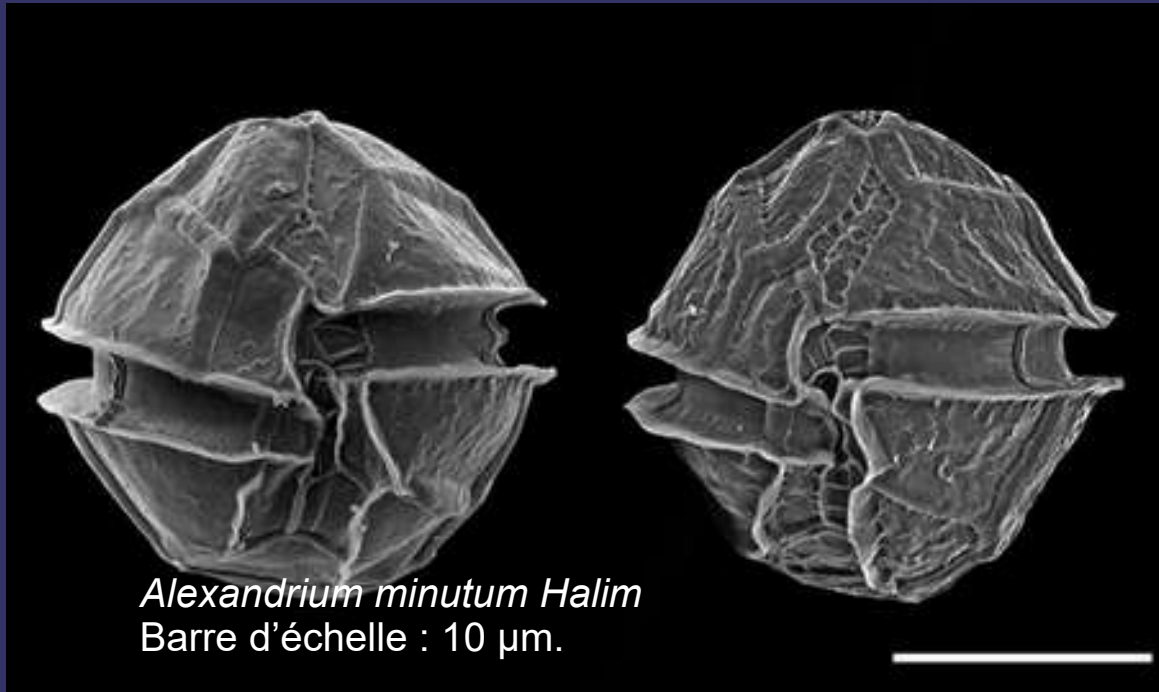
Ceratium horridum



Ceratium concilians

L'analyse des pigments révèle la présence de chlorophylle *a* et *c* ainsi que de caroténoïdes divers

Dinoflagellés



Dinophysis, Alexandrium producteurs de toxines diarrhéiques, paralysantes et amnésiantes.

Ostreopsis danger potentiel pour les usagers de la mer, produit la palytoxine et des ovatoxines en aérosols dans l'air au risque de provoquer des irritations respiratoires



Ostreopsis

Diversité biologique du plancton

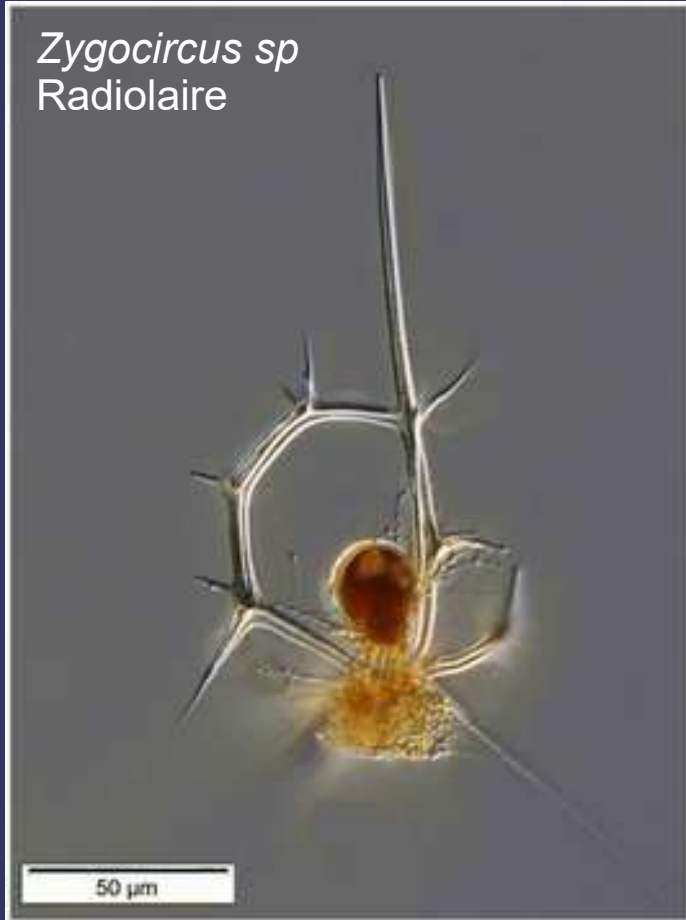
Le plancton animal

1 - Le microzooplancton

Microzooplankton

Tintinnide Radiolaire

Zygocircus sp
Radiolaire



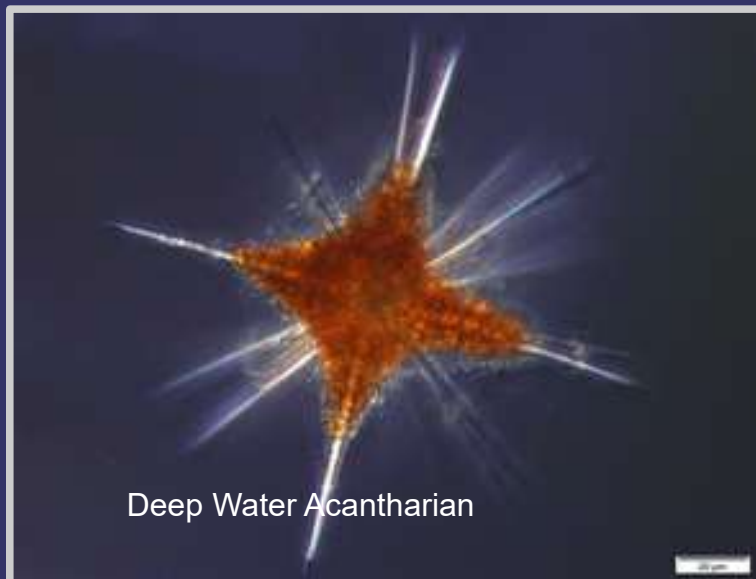
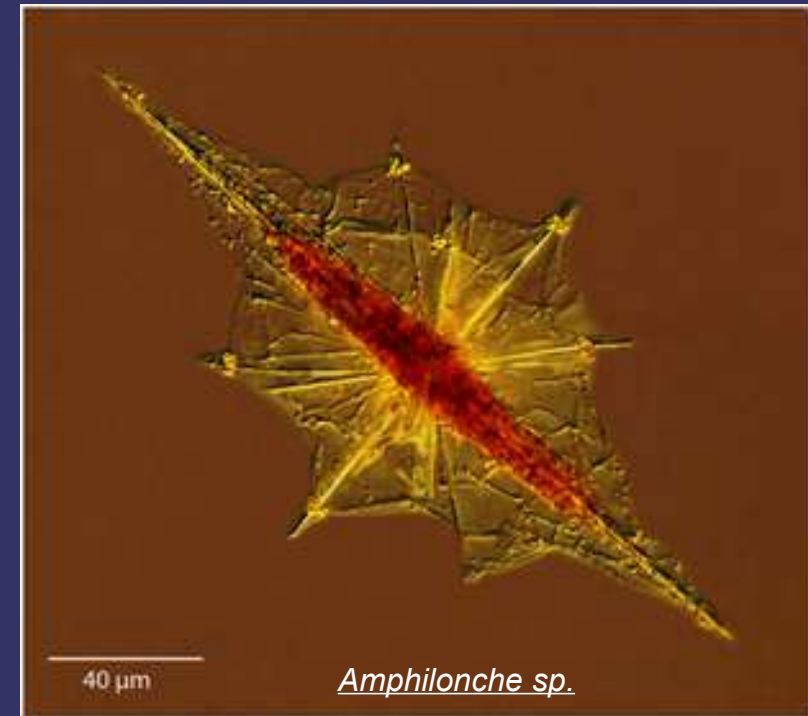
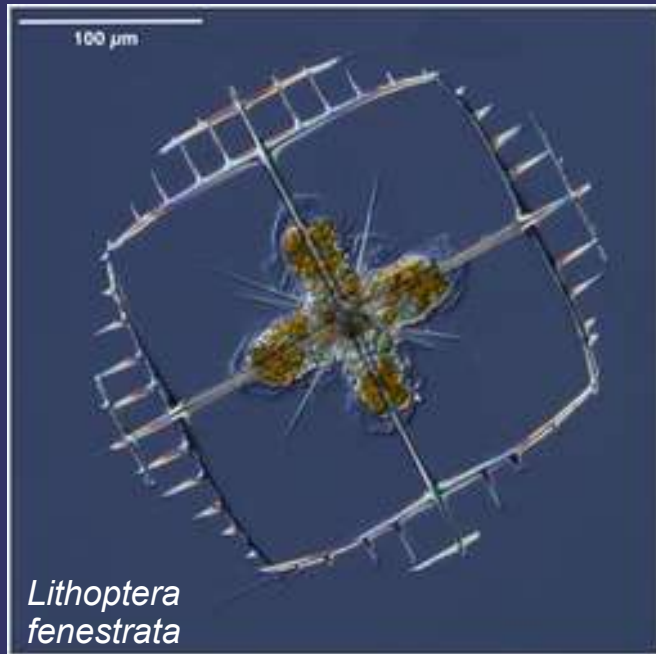
Cyttarocylis
Tintinnide



Cyttarocylis ampulla
Tintinnide

Acanthaires

Microzooplankton



Diversité biologique du plancton

Le plancton animal

2 - Le métazooplancton*

* Plancton composé de métazoaires (animaux pluricellulaires)

Le métazooplancton

On y rencontre entre autres:

- **les cnidaires**
- **les cténaires**
- **les vers**: annélides polychètes et chétognathes.
- **les crustacés** : cladocères, copépodes et euphausiacées.
- **les mollusques**
- **les tuniciers** : les salpes et les appendiculaires

...

Certains sont toujours planctoniques, d'autres de façon transitoire :

- **l'holoplancton**: les organismes présents dans le milieu pélagique durant tout leur cycle biologique.
- **le méroplancton**: les organismes présents dans le milieu pélagique que durant une partie de leur cycle biologique.

Crustacés du plancton

Copépodes



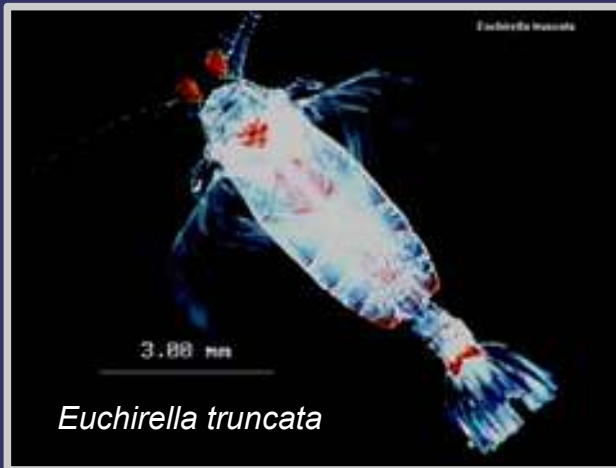
Ce sont des crustacés. Les adultes ne mesurent le plus souvent qu'un ou deux millimètres (entre 0,2 mm et 10 mm).

Ils sont l'une des principales composantes du zooplancton. Ils représentent rarement moins de 60 % et parfois plus de 80 % de la biomasse zooplanctonique.

L'alimentation des copépodes est très variable d'une espèce à l'autre, d'une classe d'âge à l'autre ainsi que d'un milieu à l'autre.



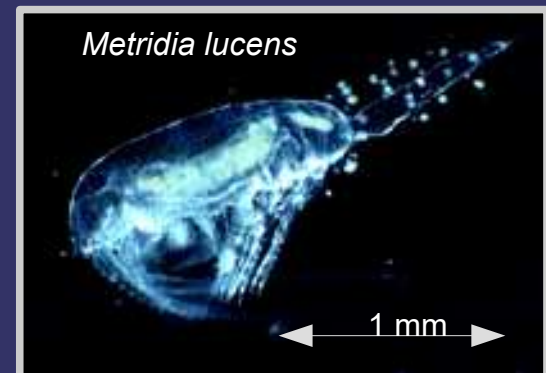
Calanus simillimus



Euchirella truncata



Paraeuchaeta antarctica



Metridia lucens



Pleuromamma sp.

Amphipodes : Phronimes



Phronime : Crustacé amphipode hyperien

Euphausiacées

Euphausiacées : Crustacé, Malacostracé, Eucarida



Photo : David Luquet

Elles font partie du micronecton, elles ont des capacités de déplacement importantes notamment les adultes.

Elles sont souvent appelées « Krill » quand elles se rassemblent en banc et sont la nourriture entre autres des cétacés.



Macroplankton « gélatineux »

Macroplancton « gélatineux »

★ Herbivores, filtreurs phytophages

- Salpes

★ Omnivores

- Mollusques Ptéropodes

★ Les carnivores

- Méduses

- Siphonophores

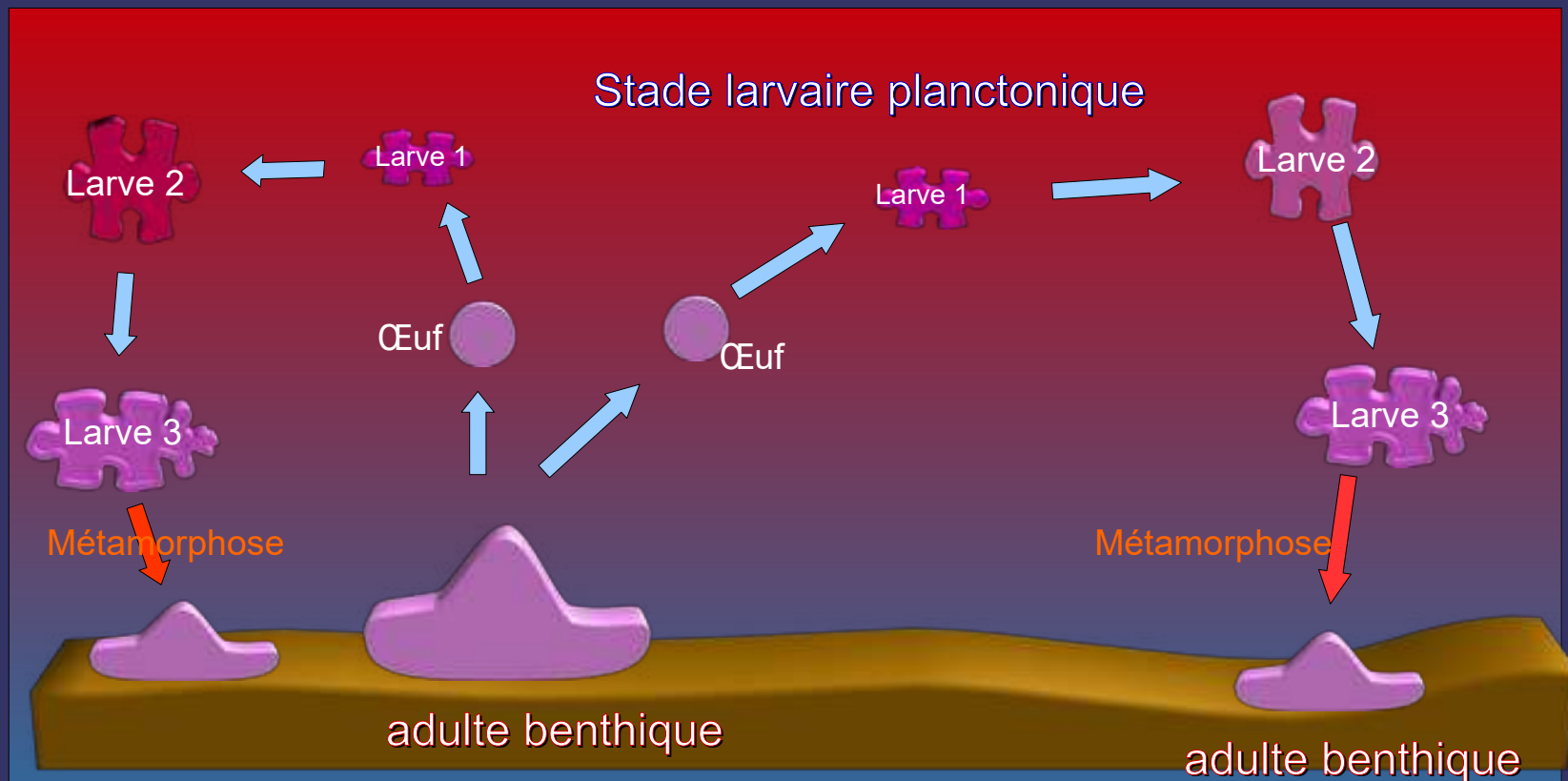
- Ctenophores

**Le méroplancton
ou plancton transitoire**

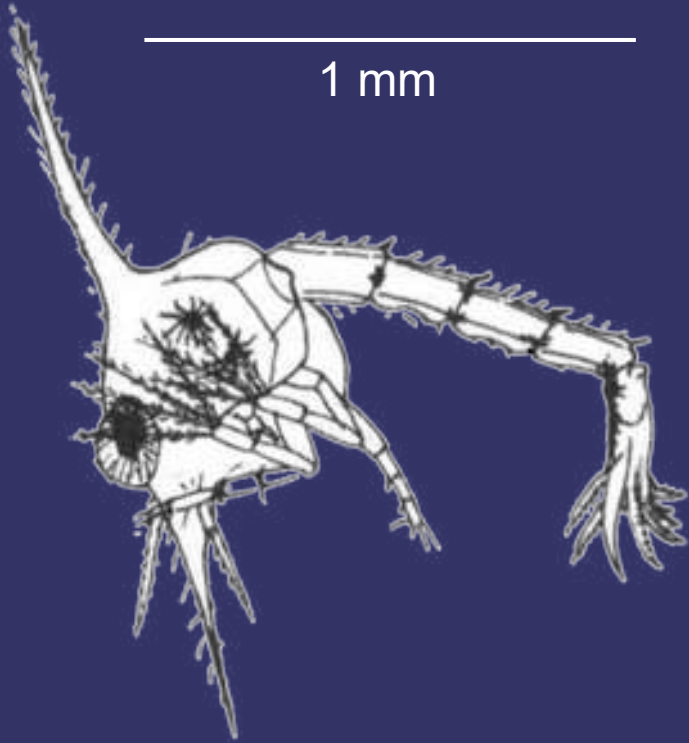
Le méroplancton

Des organismes d'espèces benthiques qui ne passent qu'une partie de leur existence, habituellement le stade larvaire, dans le plancton, le stade adulte étant alors benthique.

Il s'agit donc d'un zooplancton temporaire.



Qui suis je adulte ?

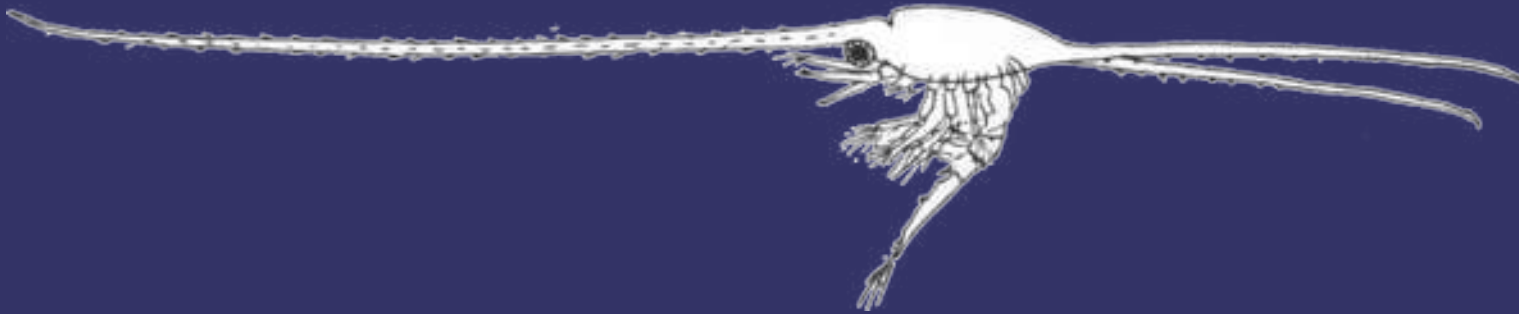


10 cm

Cancer pagurus

Qui suis je adulte ?

1 mm



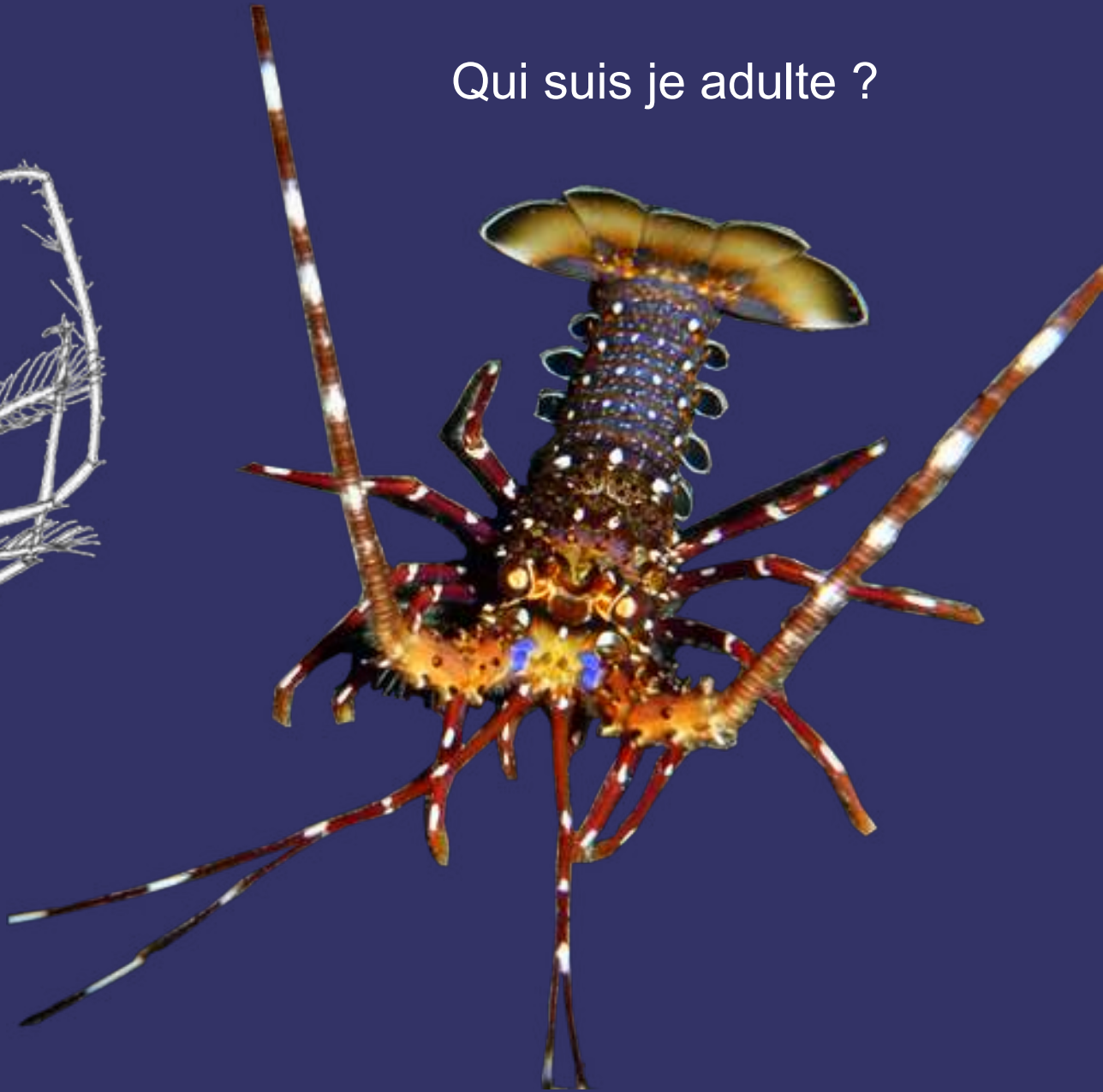
1 cm

Porcellana spp

Qui suis je adulte ?



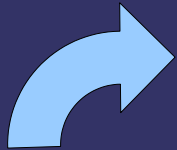
1 mm



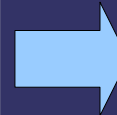
10 cm

Palinurus spp

Céphalopodes



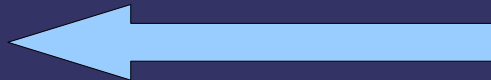
2



3



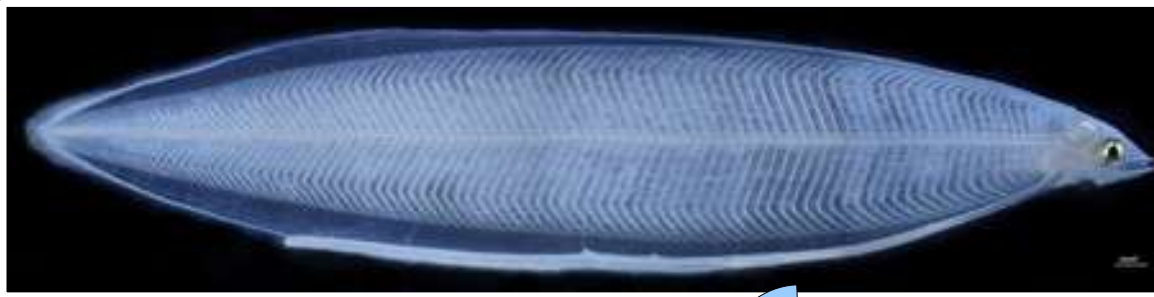
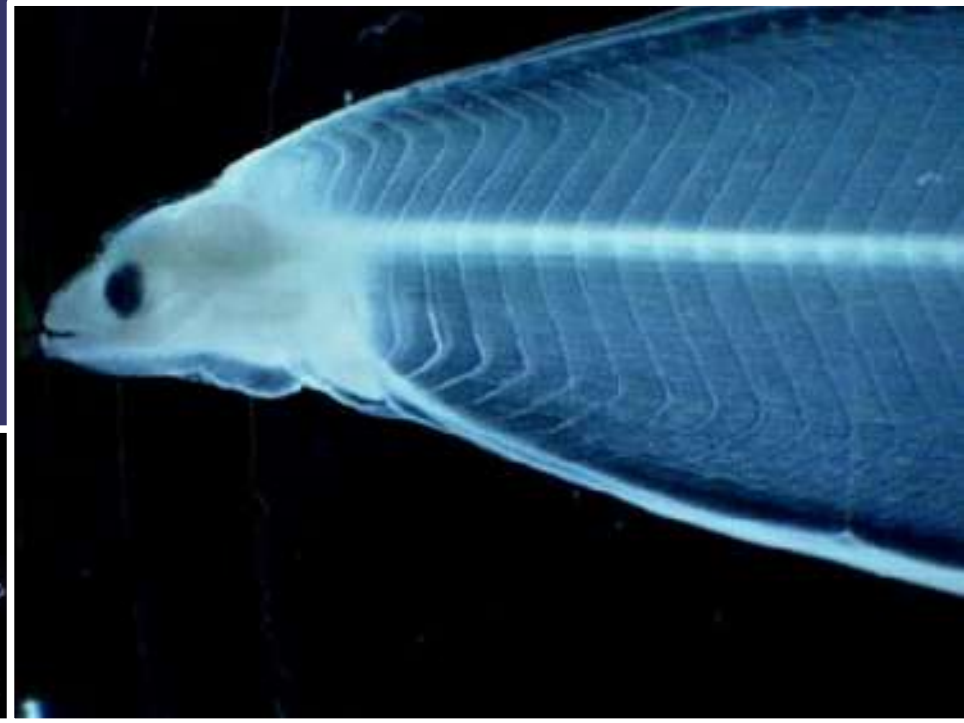
1



Œufs benthiques / larves planctoniques/ adultes nectoniques

Qui suis je adulte ?

Larve leptocéphale



Photos IFREMER



Poisson, Osteichthien, Anguilliformes

Larve pluteus



Qui suis je adulte ?

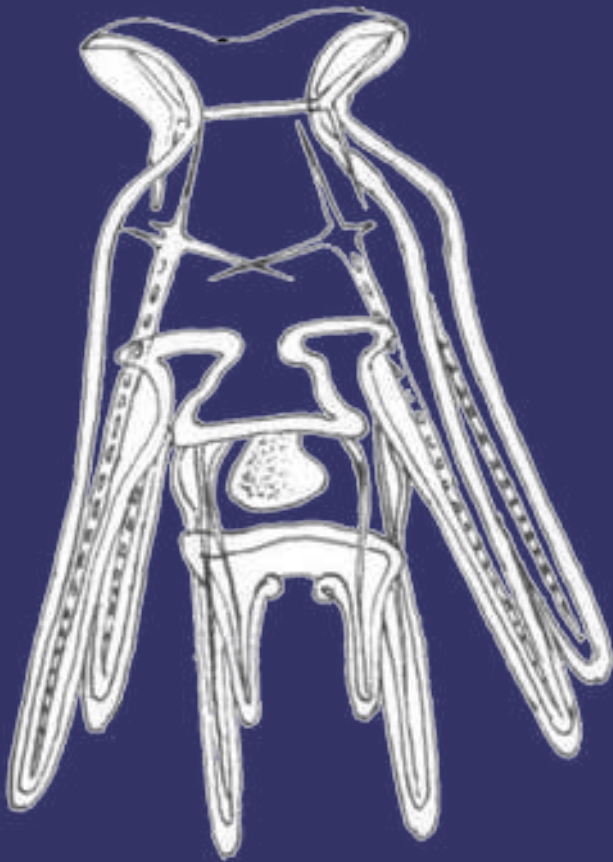


Photo:Steven van Tendeloo

Sphaerechinus spp

Fonctionnement de l'écosystème pélagique

Argo Jason Bloom Benguela Upwelling Photosynthèse Anchois Filet Eutrophe Broutage CPR Pélagique Zone aphotique

Océan Chlorophylle

Profondeur de compensation Sels nutritifs Microzooplancton Production régénérée Calanus helgolandicus

Oscillation Glider Salinité Gyre Température Anomalie Prédation PPP Histoire

Plancton
Ecosystème pélagique

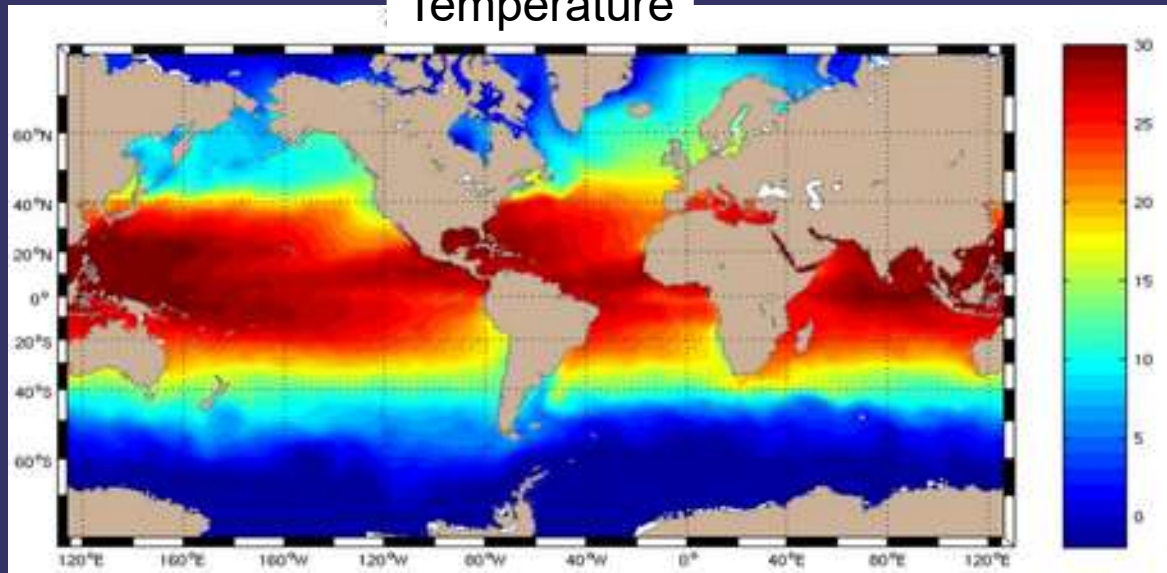
Boucle microbienne Phytoplancton Masse volumique Couleur Stratification Thermocline Calanus finmarchicus Pression

OPC Humboldt SST

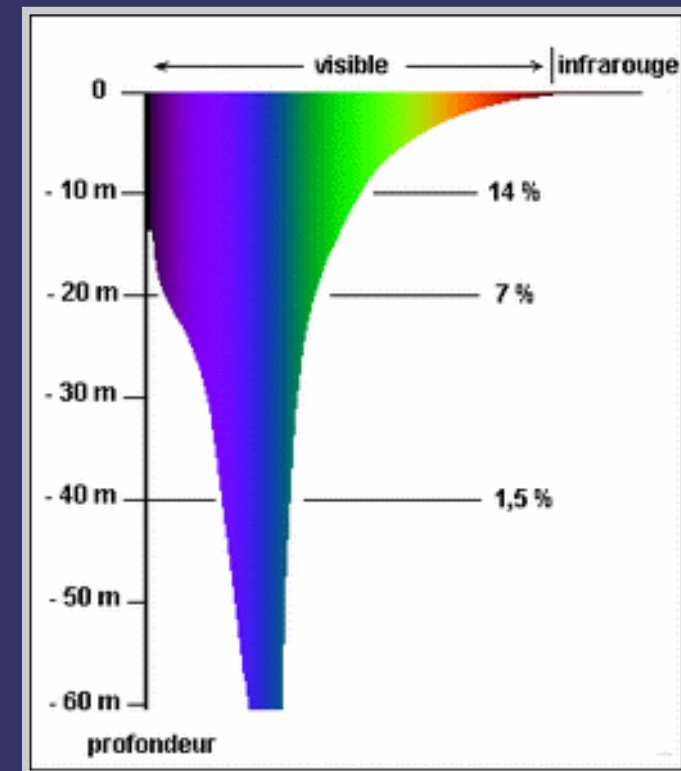
Le domaine pélagique
un espace non homogène

Le domaine pélagique : un espace en trois dimensions

Température

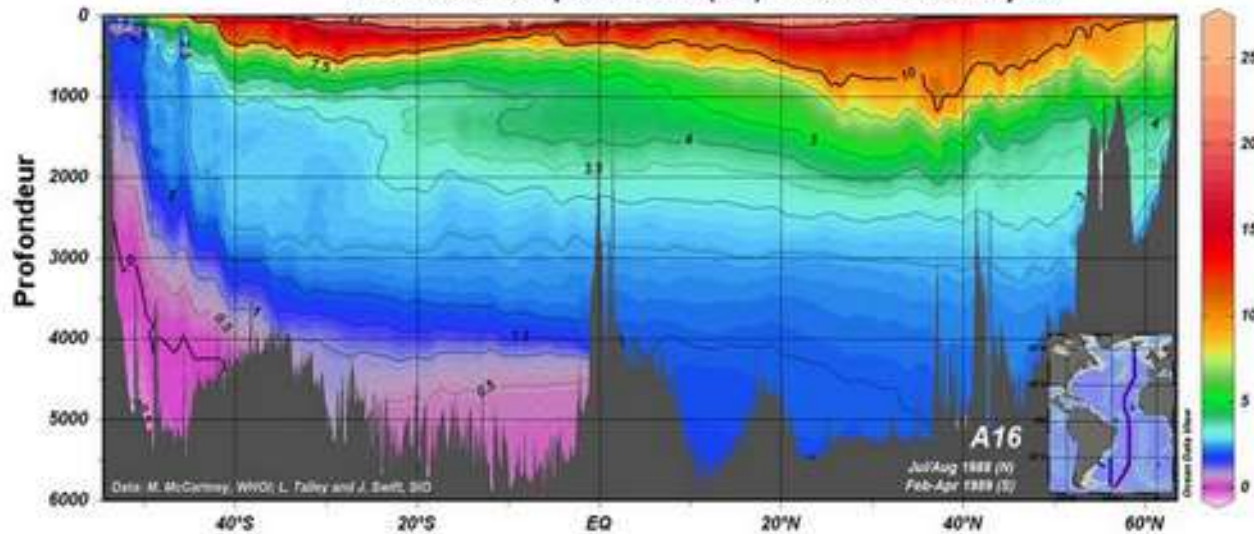


Lumière



71% de la surface terrestre et $1,3 \cdot 10^9 \text{ km}^3$

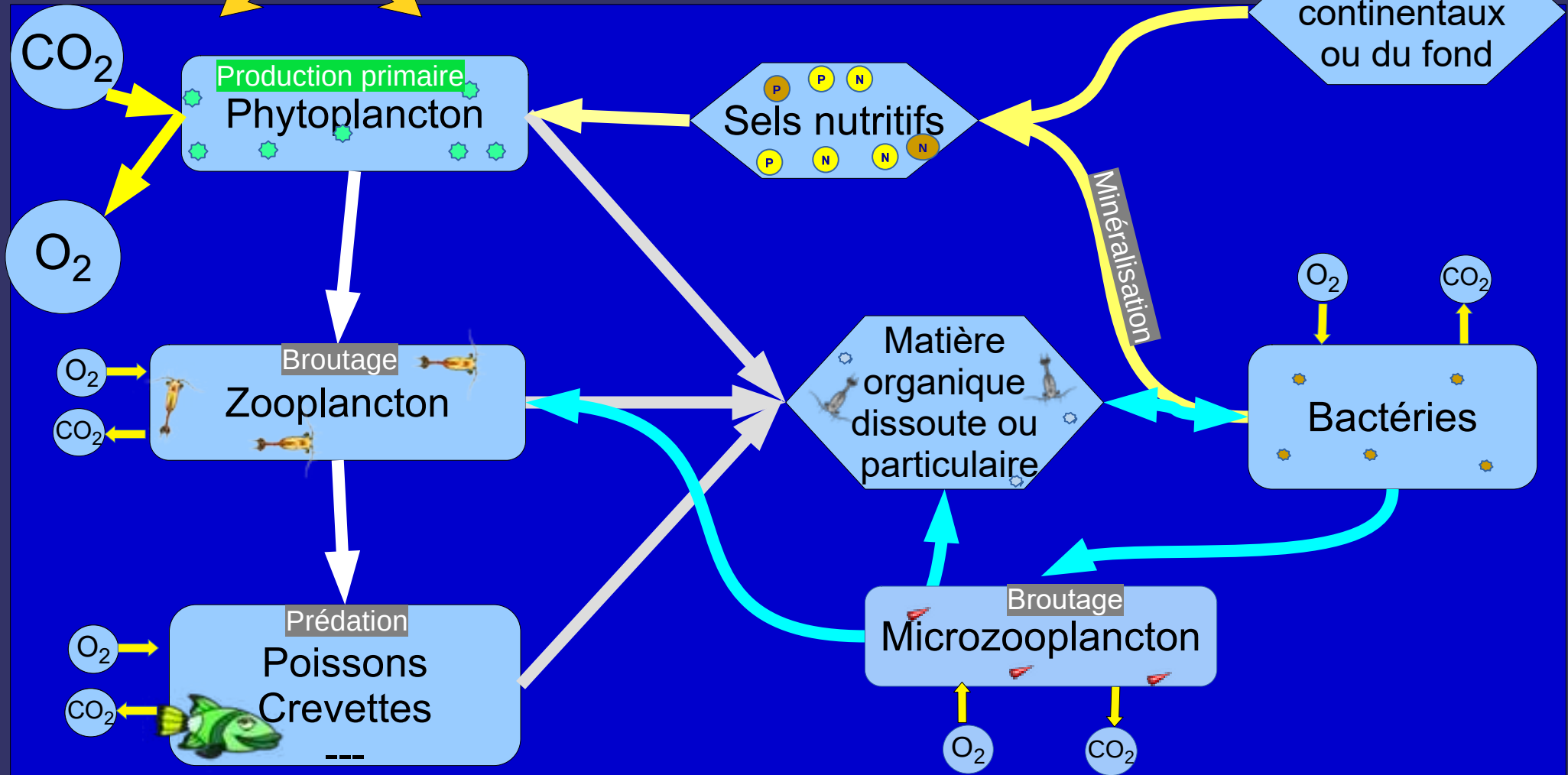
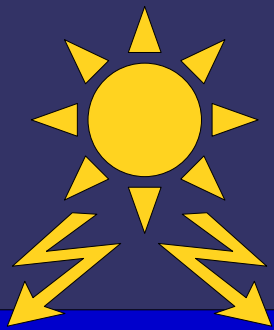
Profil des températures (C°) - Océan Atlantique



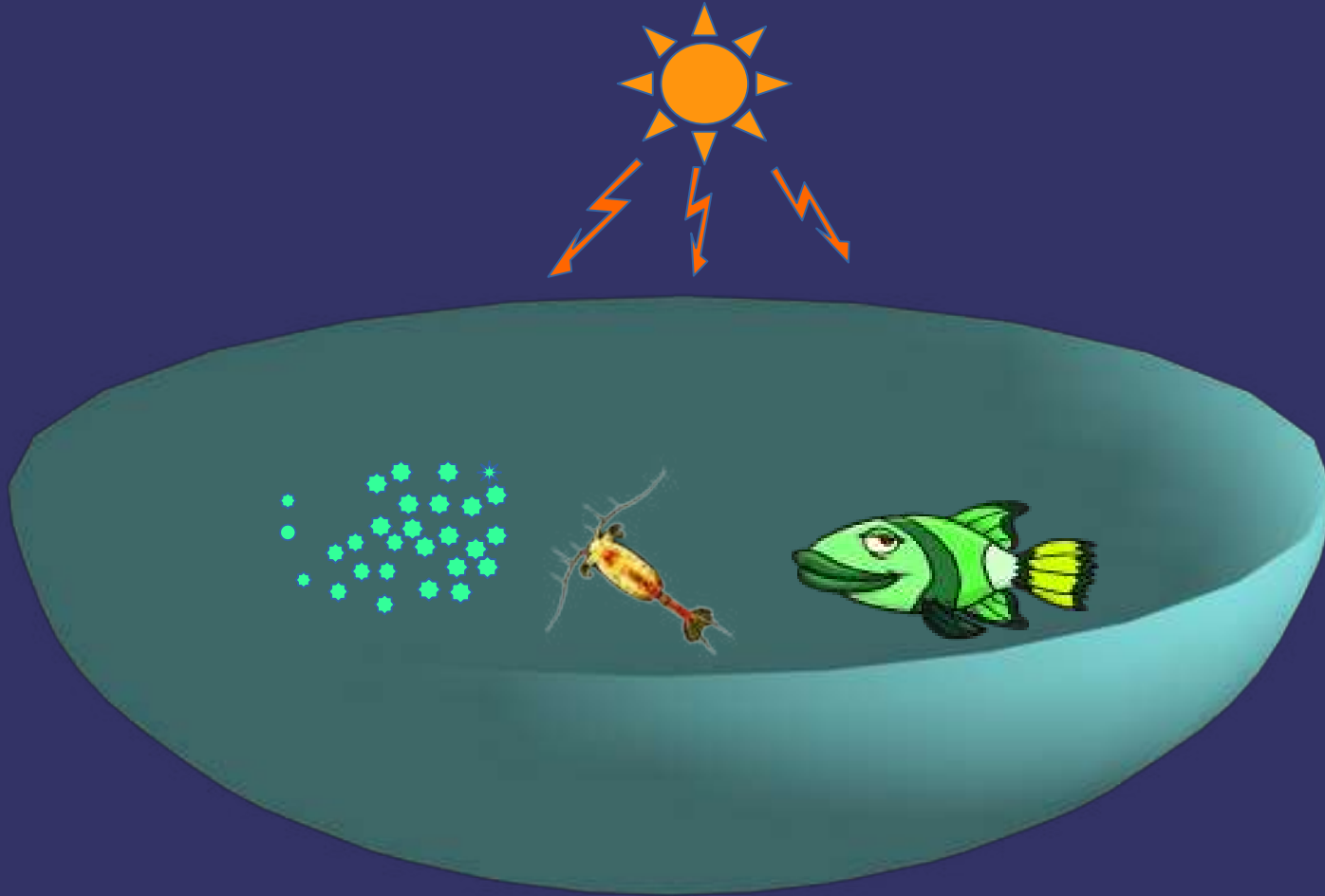
Écosystème pélagique

Chaîne alimentaire classique

Boucle microbienne

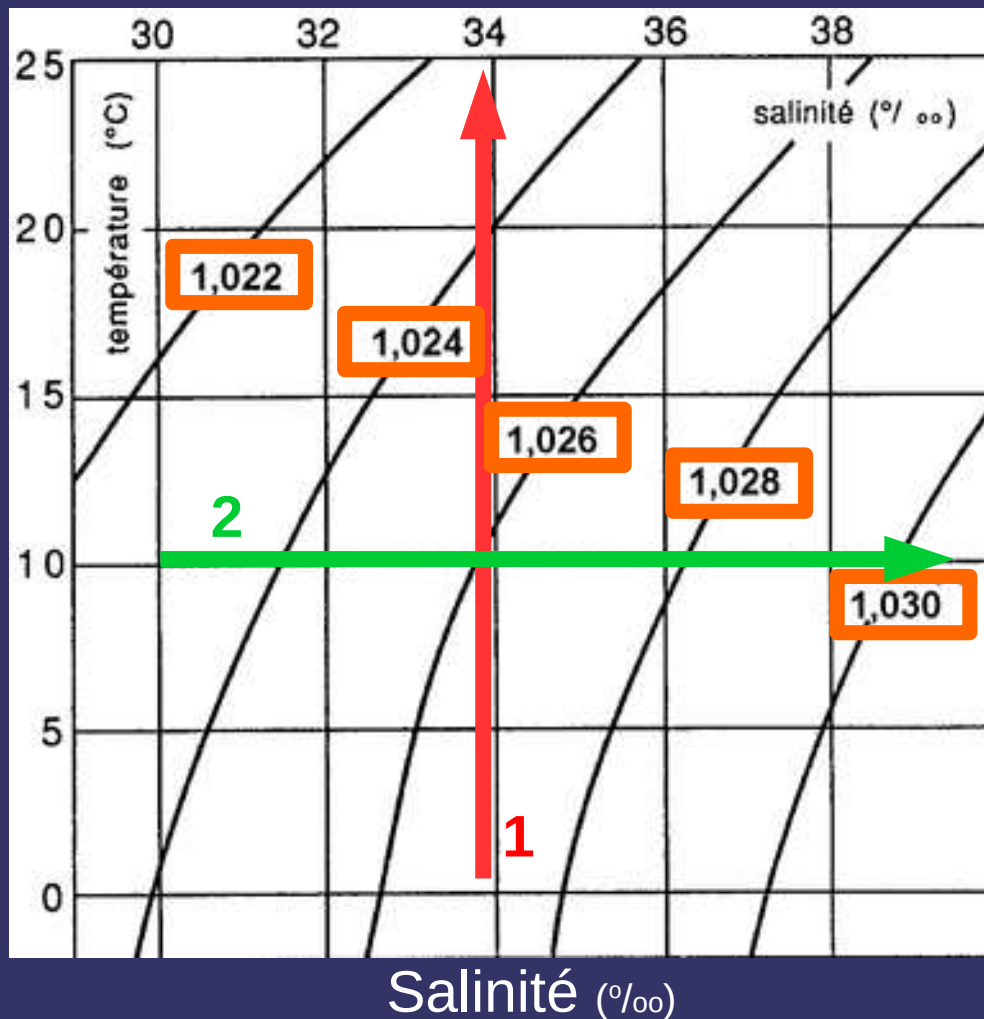


Avant d'aller vers des exemples "réels", spatialisons un océan théorique.



Quelques éléments physiques dont il faut se souvenir

Une eau «légère» flotte sur une eau «lourde».

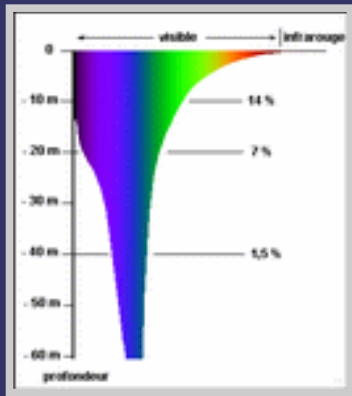


Masse volumique $\rho = f(T, S, p)$ ou T température, S salinité, p pression.
Eau de mer entre 1022 et 1029 (kg/m³)
Anomalie de masse volumique :
 $\sigma = \rho - 1000 \text{ kg/m}^3$

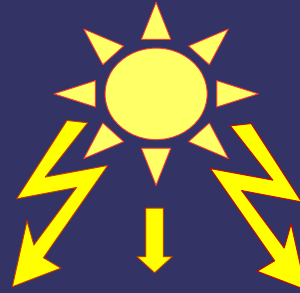
1 - Une augmentation de température diminue la densité de l'eau.

2 - Une augmentation de salinité augmente la densité de l'eau.

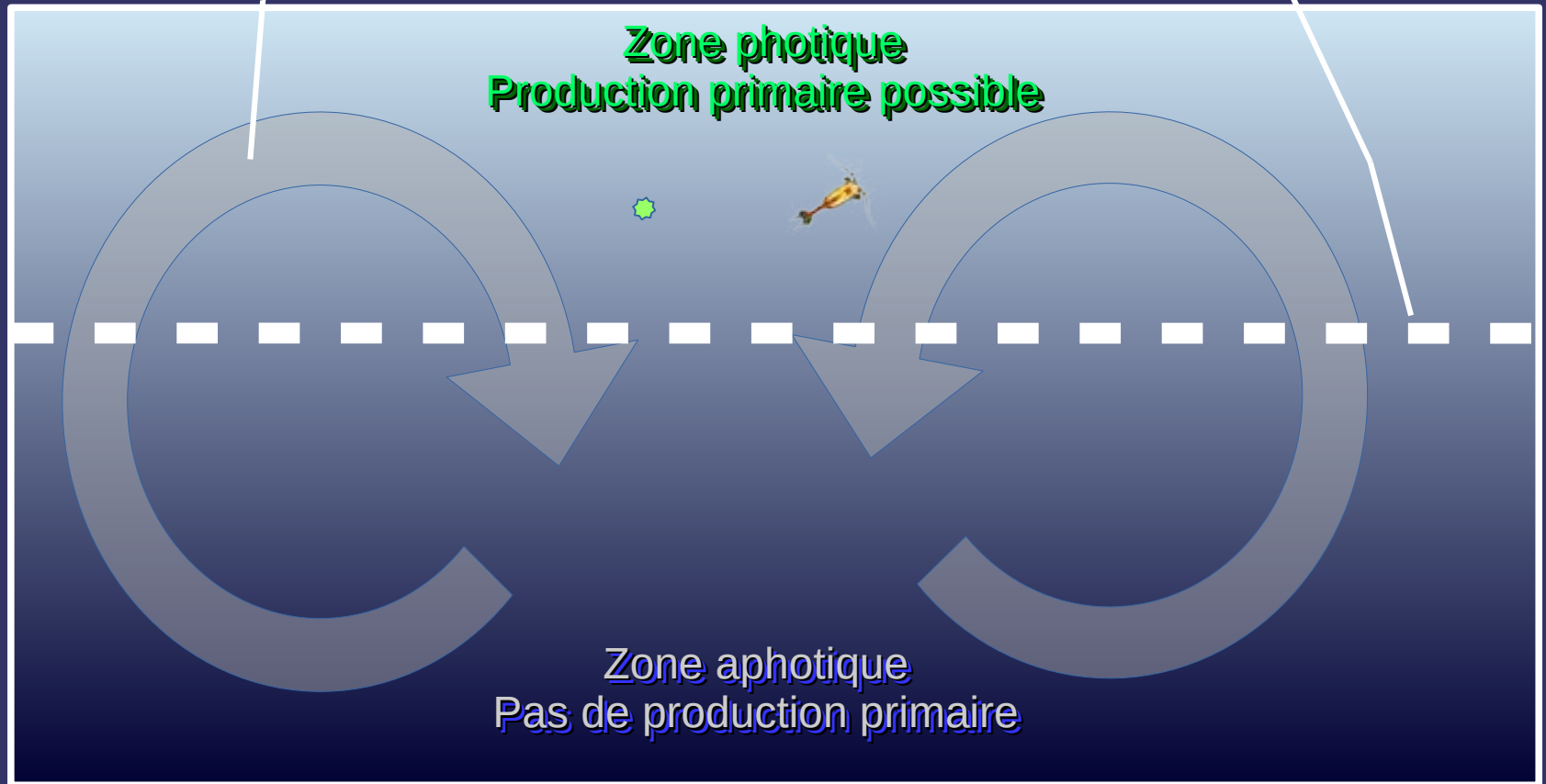
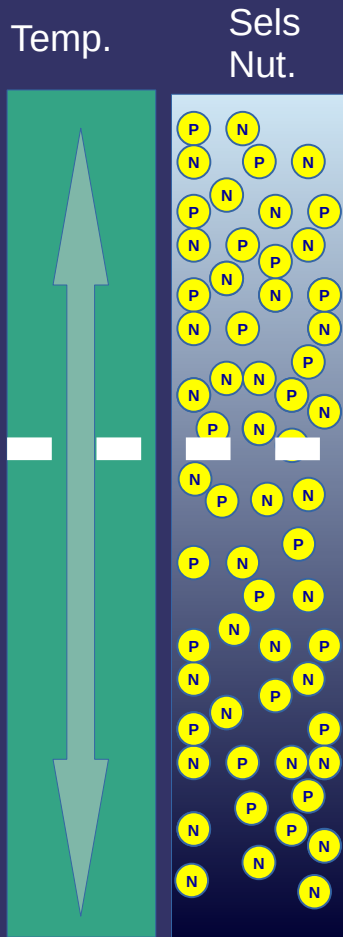
Vision dans un océan en 2D



Mélange
Turbulence, $\neq$ densité

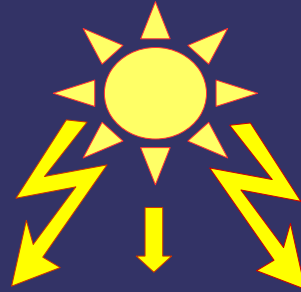


Profondeur de compensation



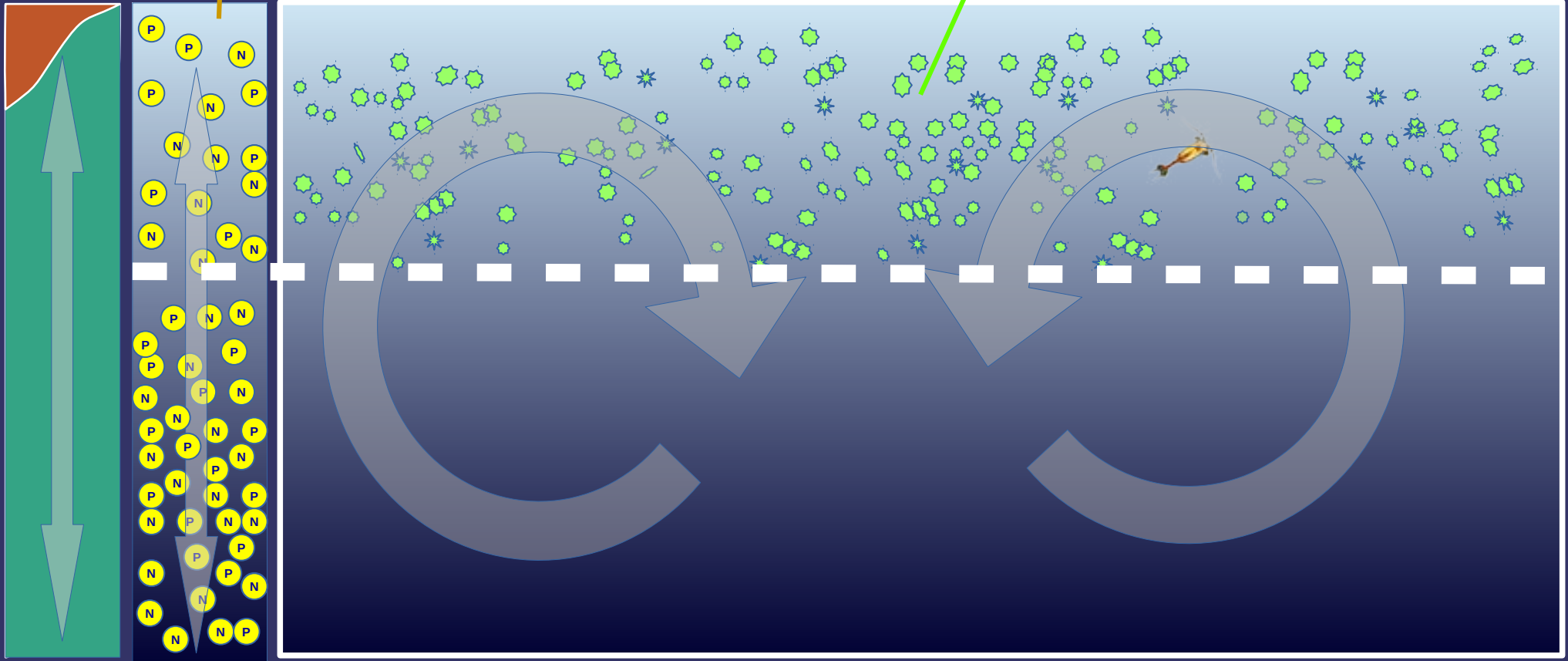
Profondeur de compensation : profondeur où la quantité de lumière est juste suffisante pour permettre aux algues de compenser leurs pertes sans croître.

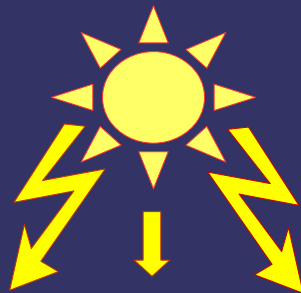
Consommation
des sels nutritifs compensée
par mélange



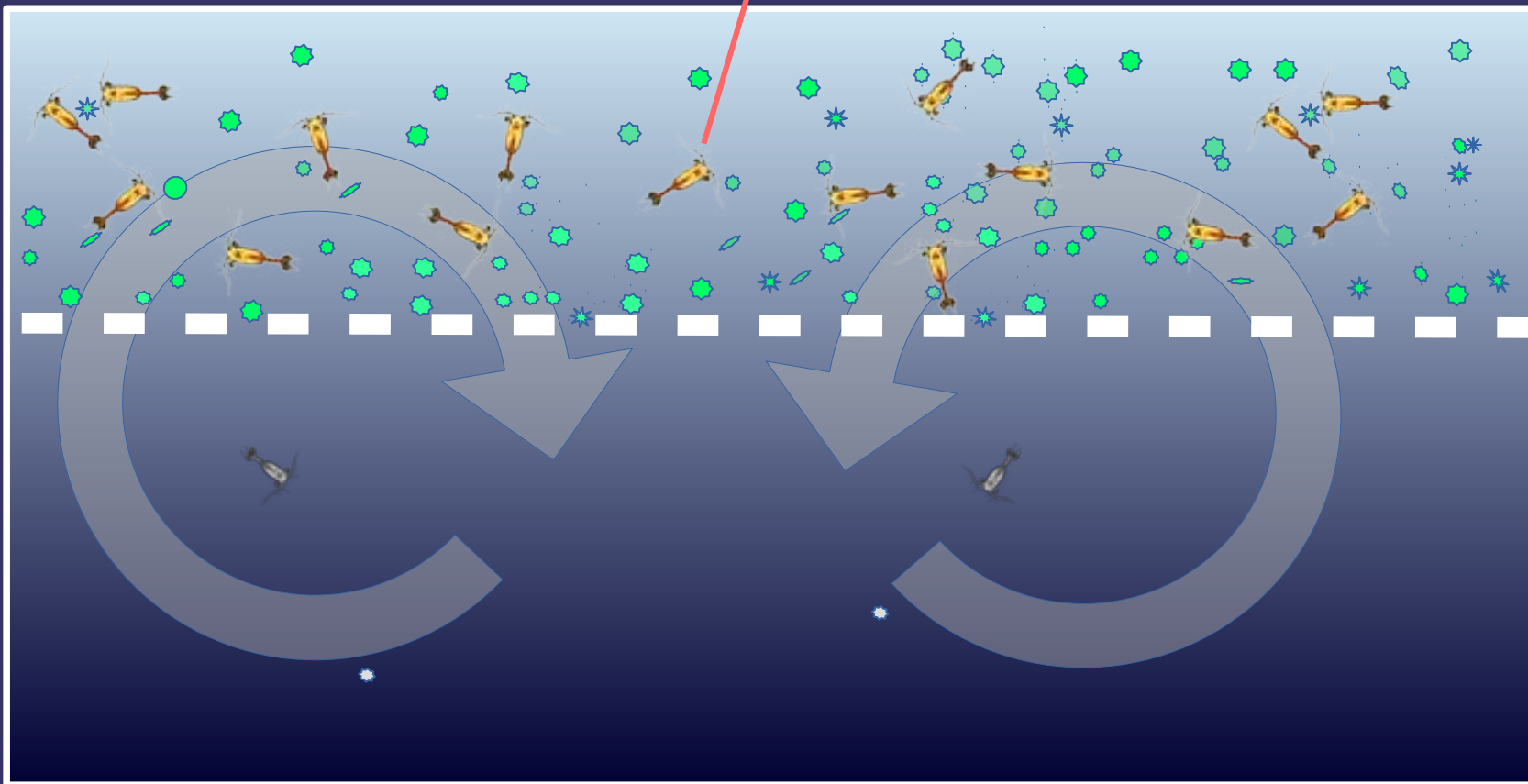
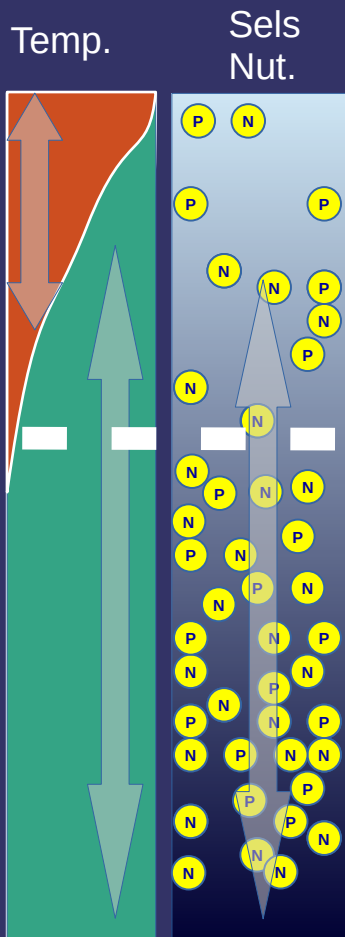
Développement du
plancton végétal
par photosynthèse

Temp.





Développement
du plancton animal par
broutage du plancton végétal

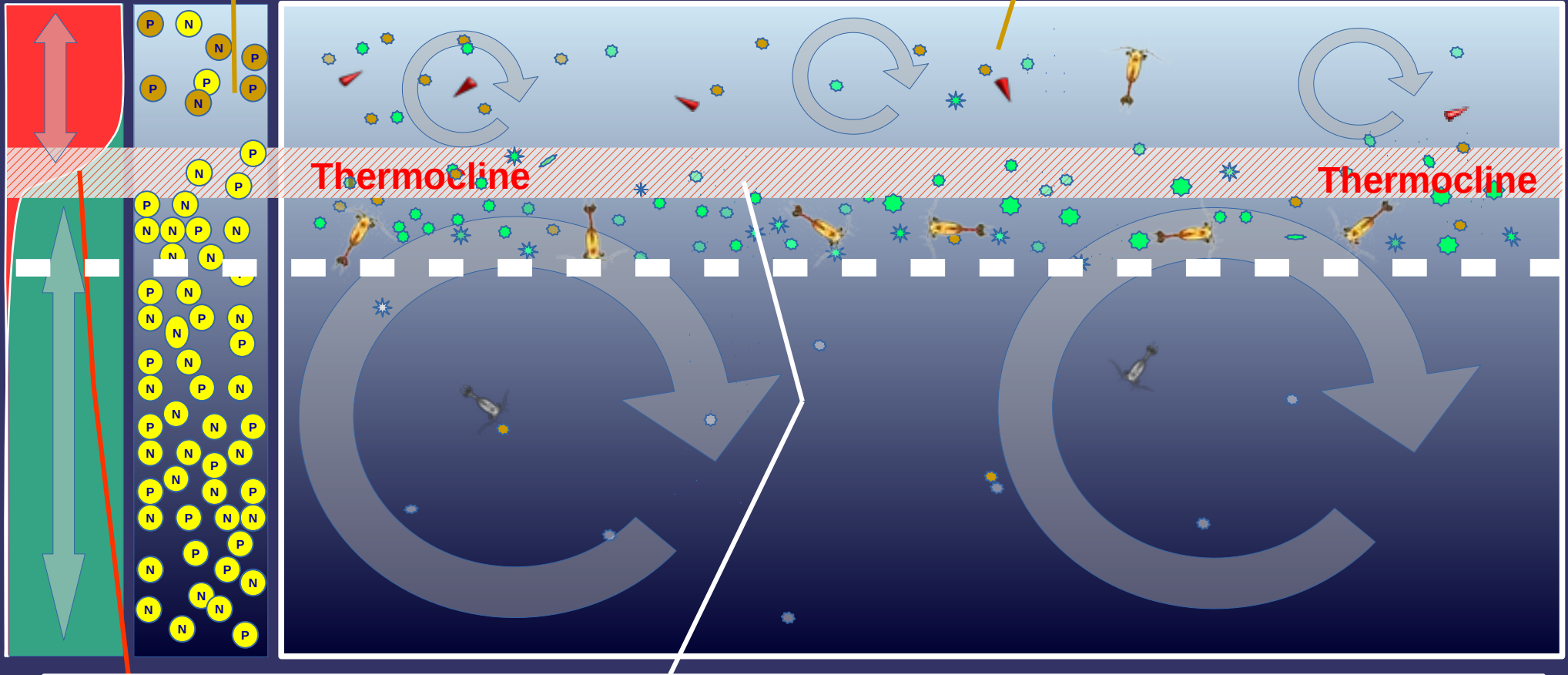


Limitation de la production primaire par les sels nutritifs

Développement de la boucle microbienne et de la production régénérée

Temp.

Sels Nut.



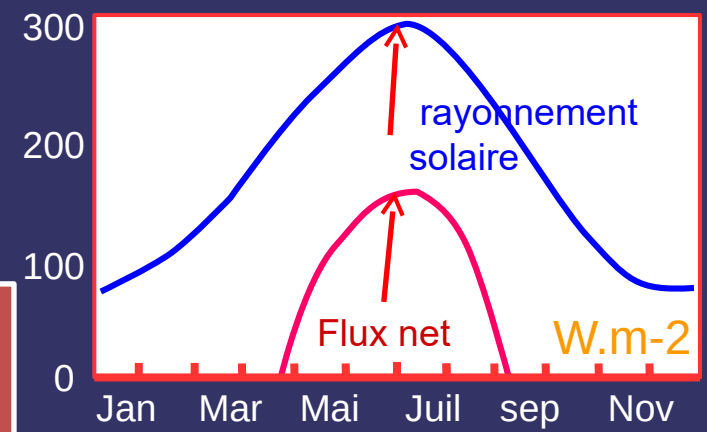
Création d'une thermocline :
barrière physique entre les eaux superficielles et les eaux profondes.

Illustration de la dynamique d'un système pélagique dans le temps

Cas réel : la station « point B », Villefranche/mer



Cycle annuel de la température

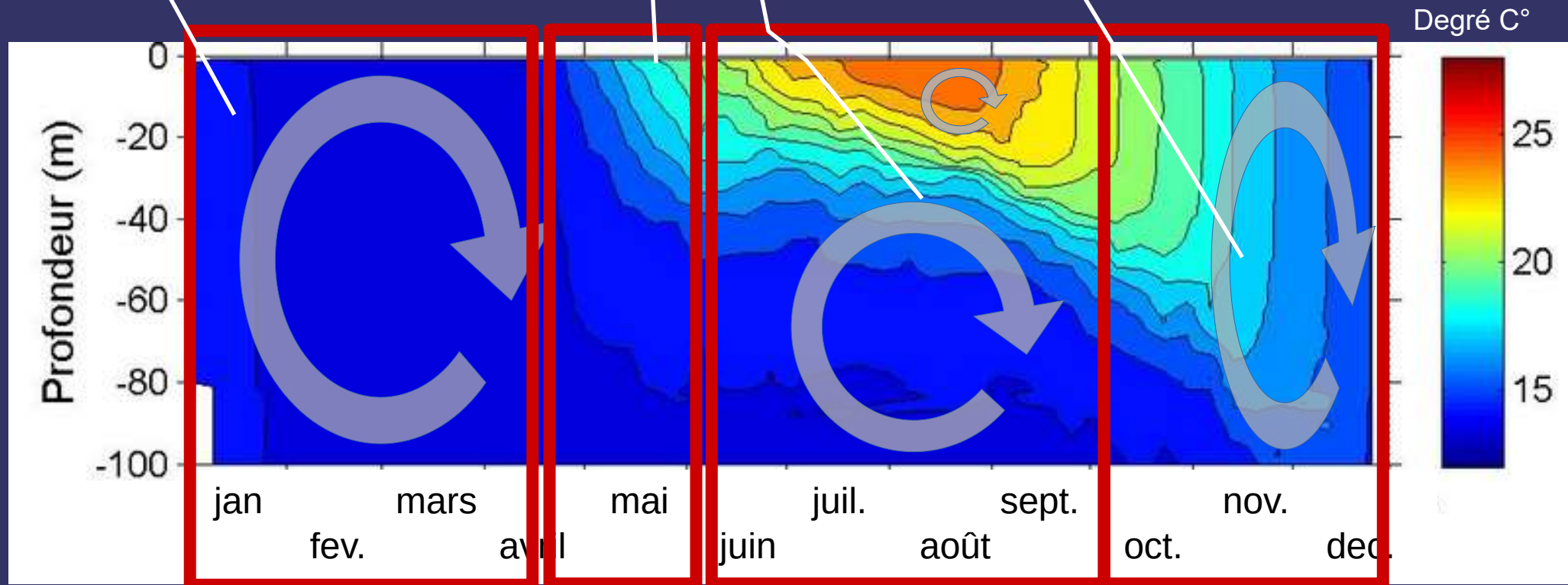


Très faible stratification en hiver

Réchauffement de surface dû au bilan thermique

Thermocline saisonnière

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

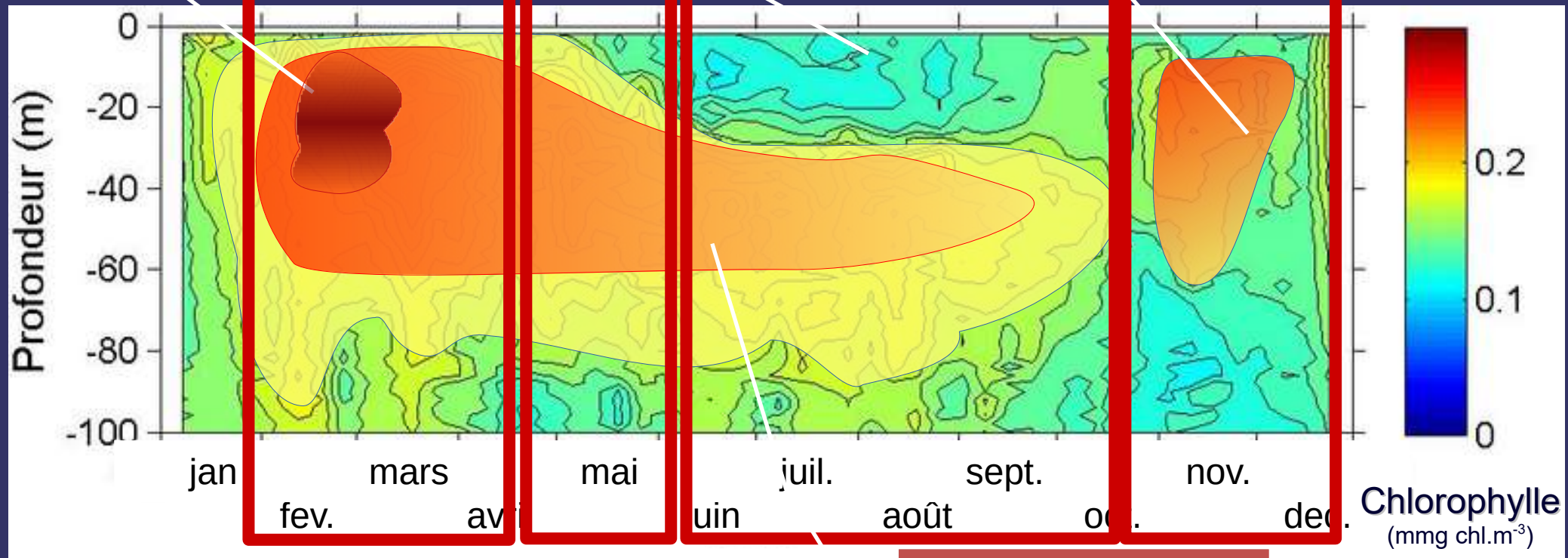


Cycle annuel du phytoplancton

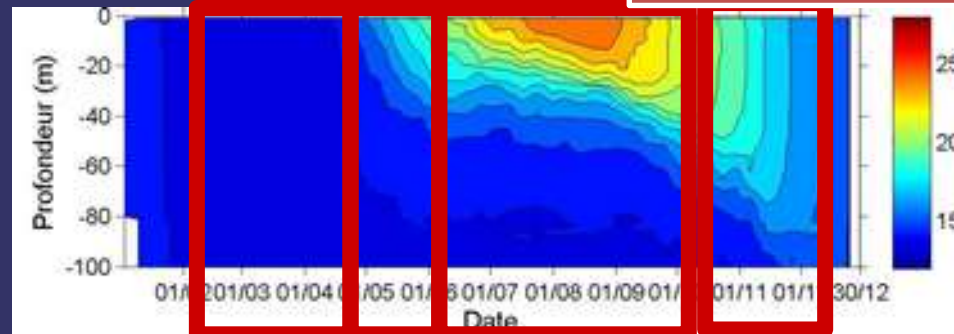
Bloom printanier

Oligotrophie de surface estivale

Bloom automnal dû à la dé-stratification



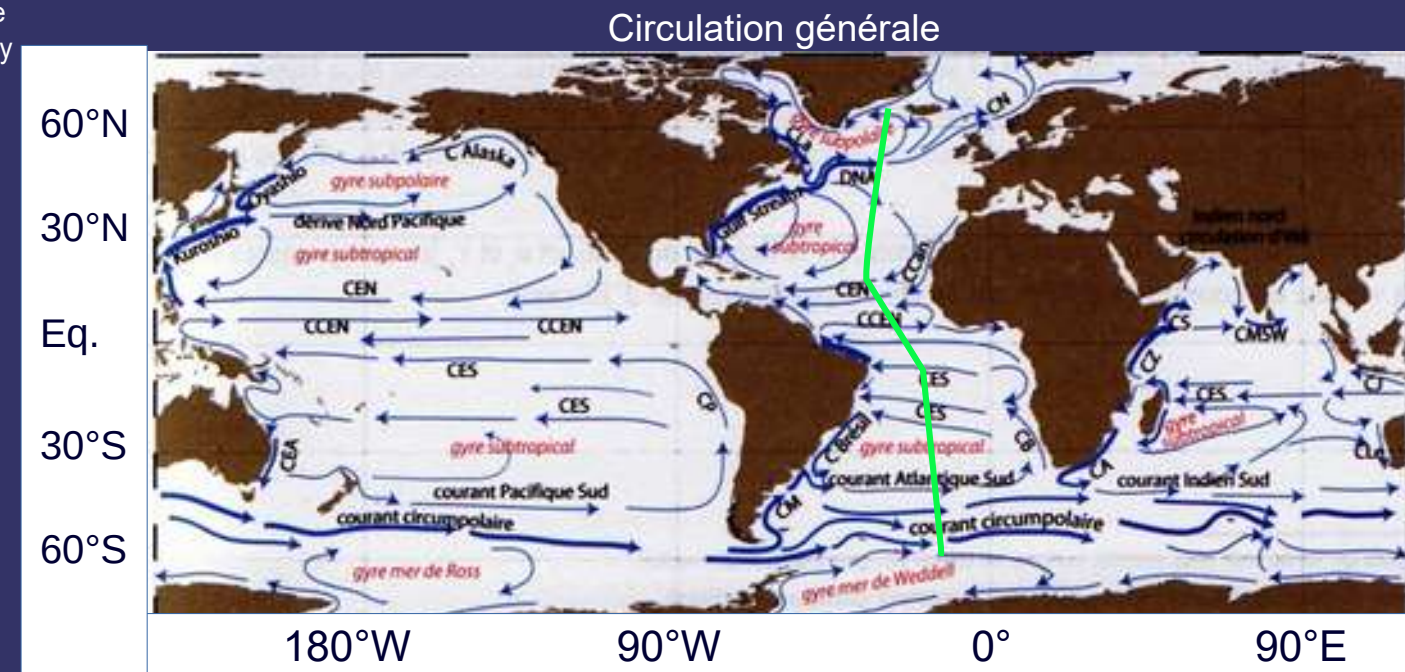
Production primaire sous la thermocline



**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

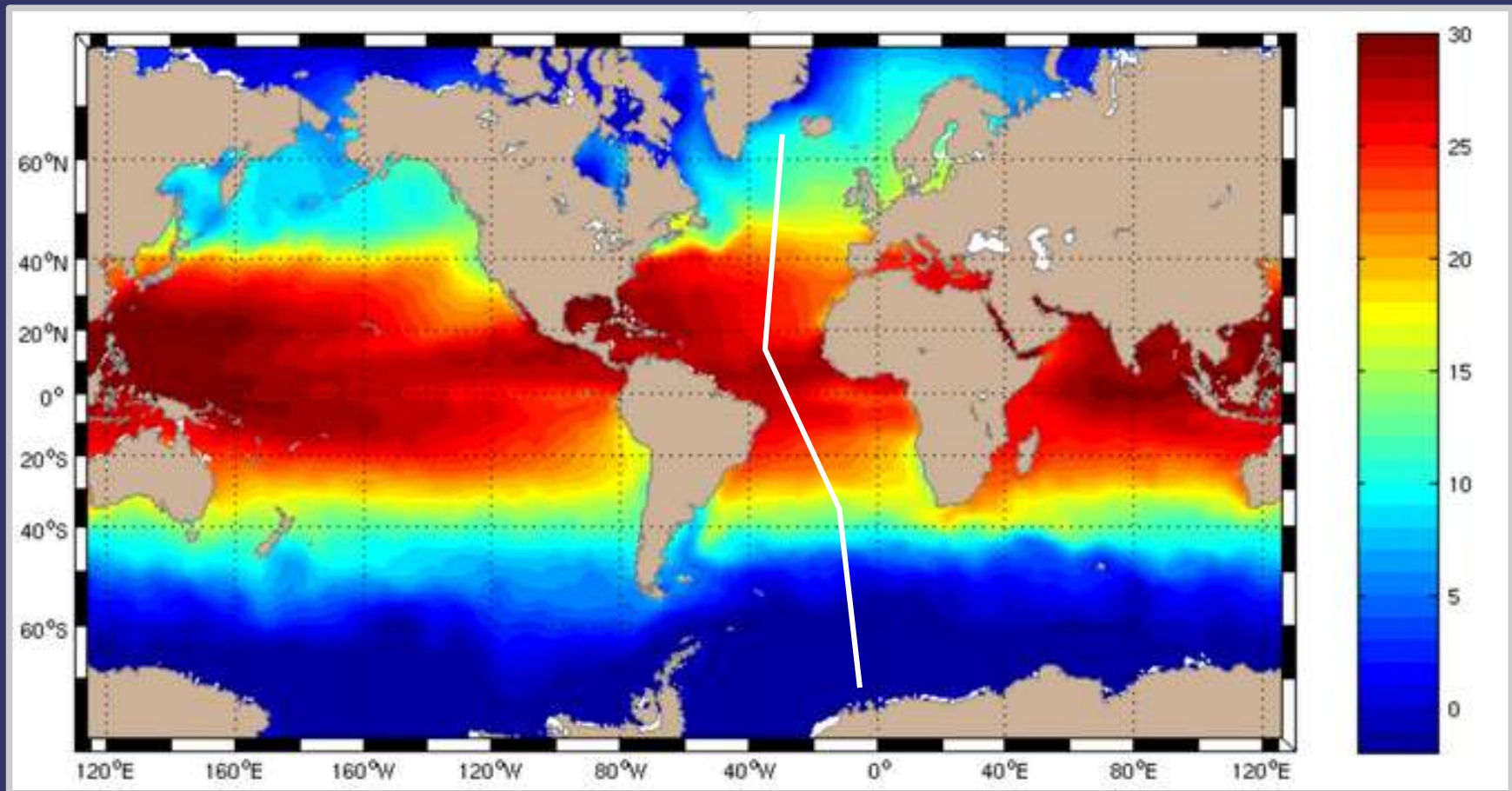
The diagram illustrates the general circulation of the atmosphere, showing the relationship between pressure belts, wind systems, and atmospheric cells. The Earth is represented as a circle with latitude lines at 60°, 30°, and 0° (the Equator). The pressure belts are shown as horizontal bands: 'D' (Dépression or Low Pressure) at the poles and the Equator, and 'A' (Anticyclone or High Pressure) at 30° North and South. The wind systems are indicated by arrows: 'Vent d'ouest' (Westerlies) between 30° and 60° in both hemispheres, and 'Vent d'est' (Easterlies) between the Equator and 30° in both hemispheres. The atmospheric cells are labeled: 'Cellule polaire' (Polar cell) near the poles, 'Cellule de Ferrel' (Ferrel cell) between 30° and 60°, and 'Cellule de Hadley' (Hadley cell) between the Equator and 30°. The 'Zone de convergence intertropicale' (ITCZ) is marked at the Equator. The 'Alizé' (Trade winds) are specifically labeled in the Southern Hemisphere between the Equator and 30° South.



L'océan planétaire. Michèle Fieux. Presse de l'Ensta, Paris, 2010

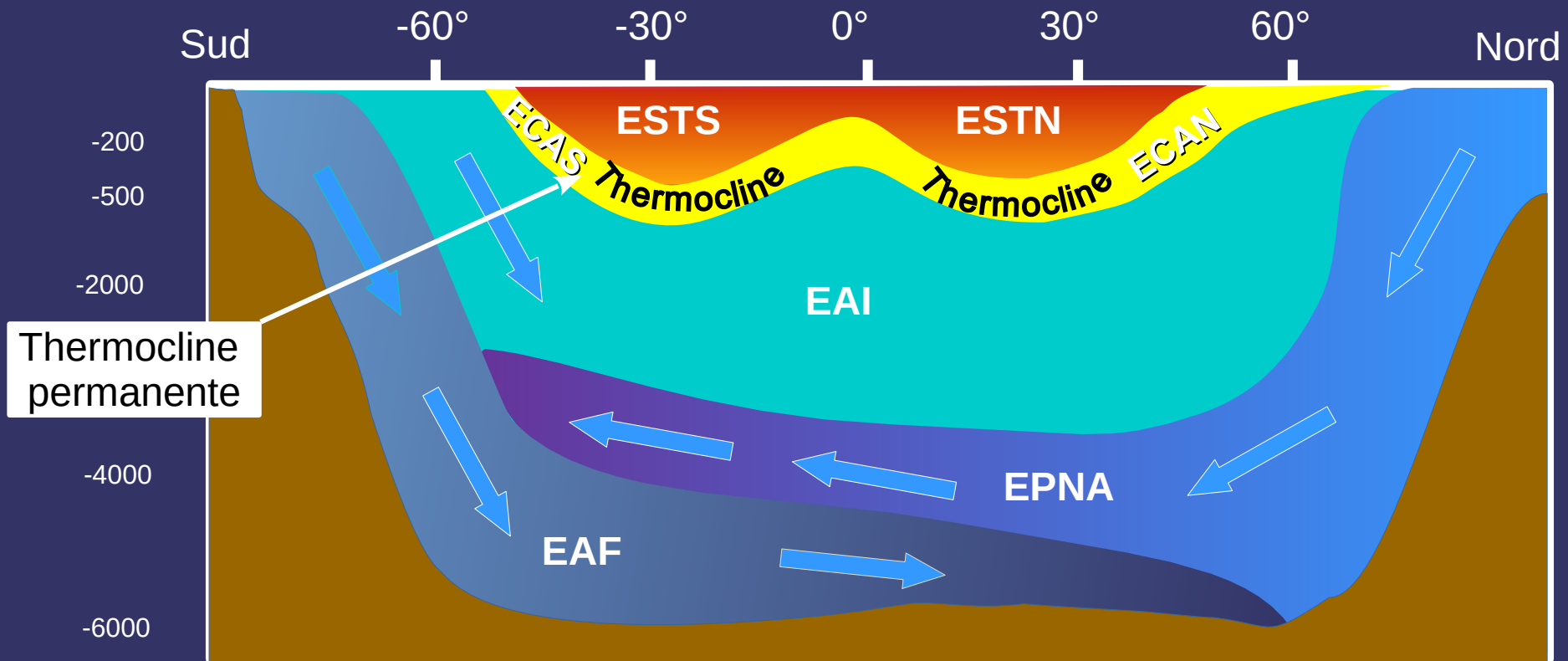
Températures de surface

Juillet 2008



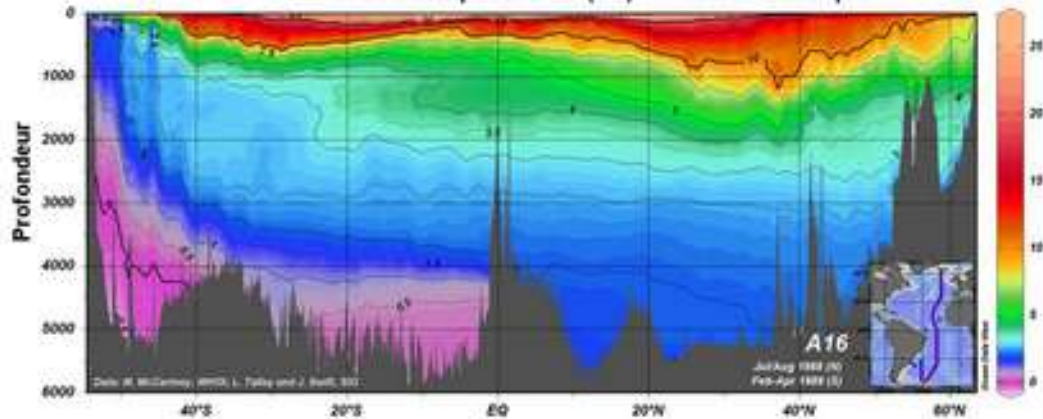
Données des flotteurs Argo Coriolis/Ifremer

Schéma simplifié de la circulation océanique dans l'Atlantique



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

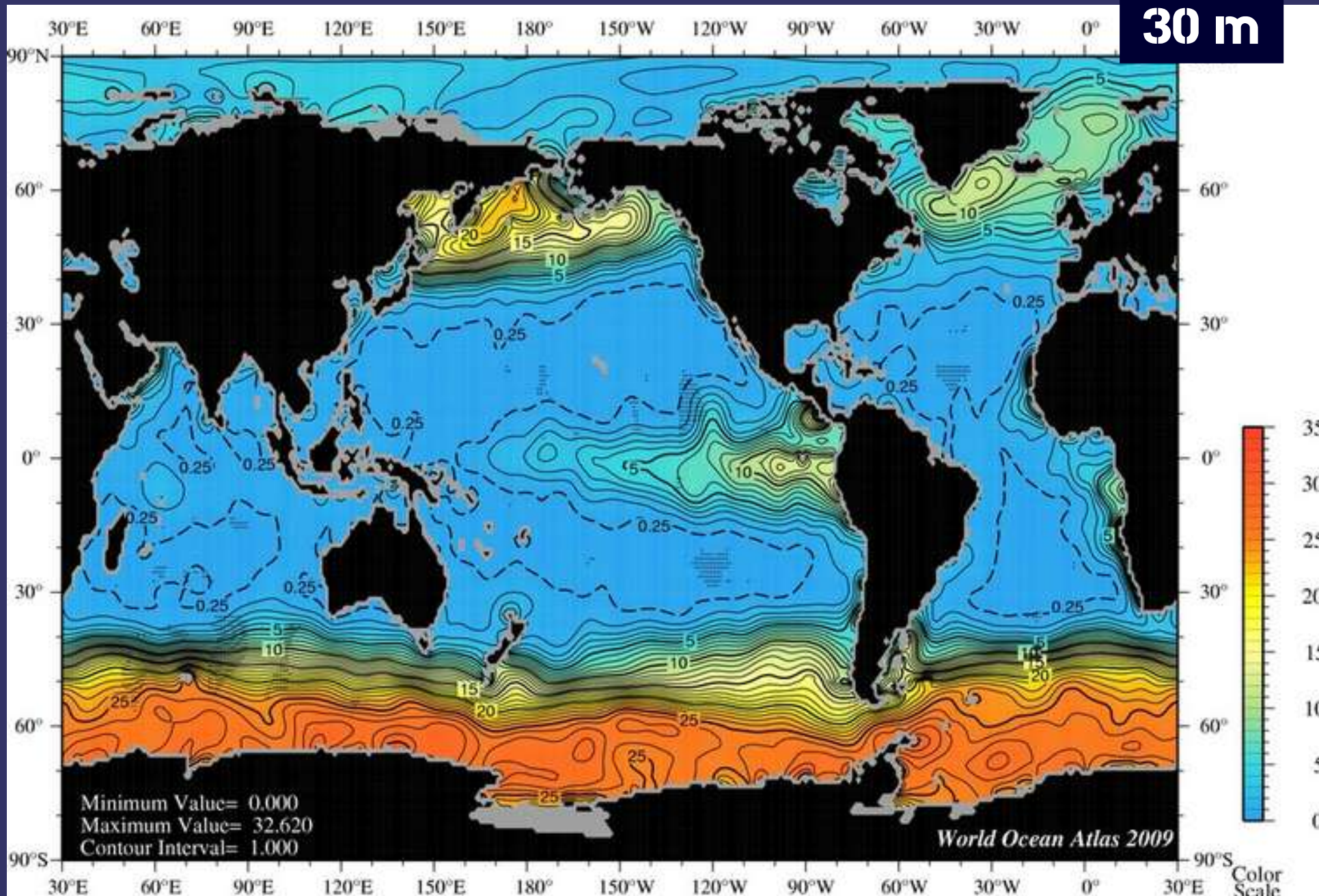
Profil des températures (C°) - Océan Atlantique



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

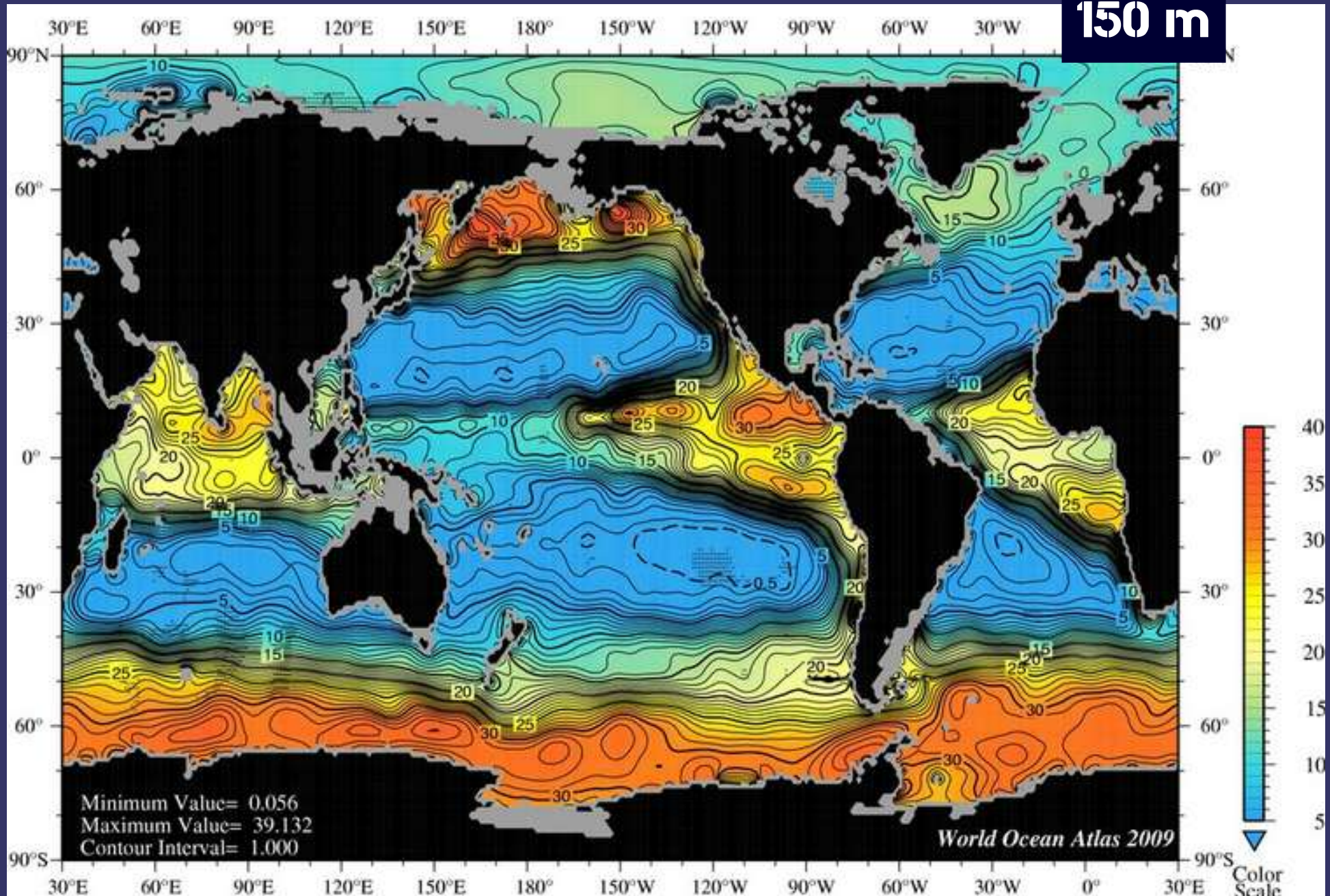
Nitrate dans l'océan mondial [$\mu\text{mol/l}$]

30 m



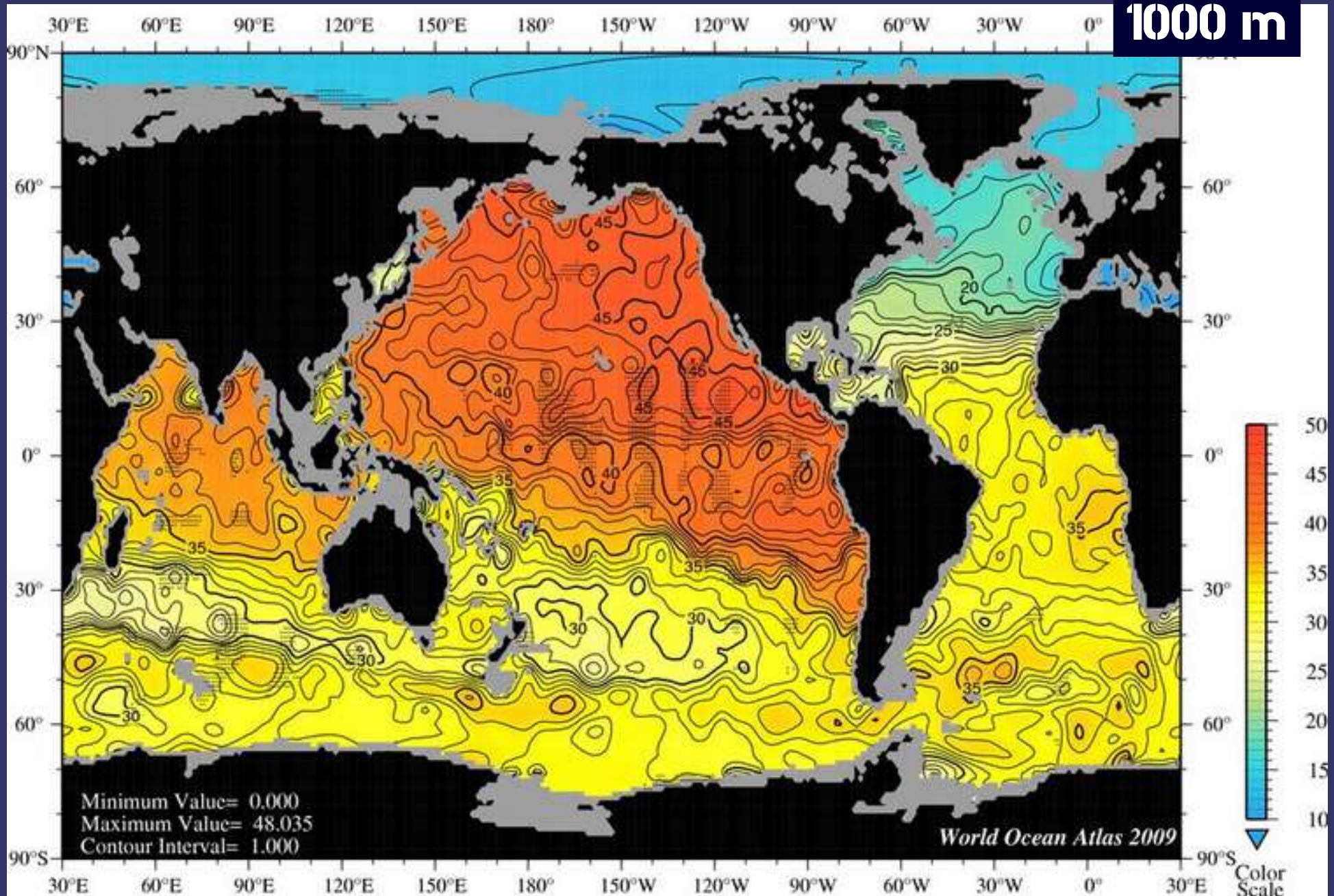
Nitrate dans l'océan mondial [$\mu\text{mol/l}$]

150 m

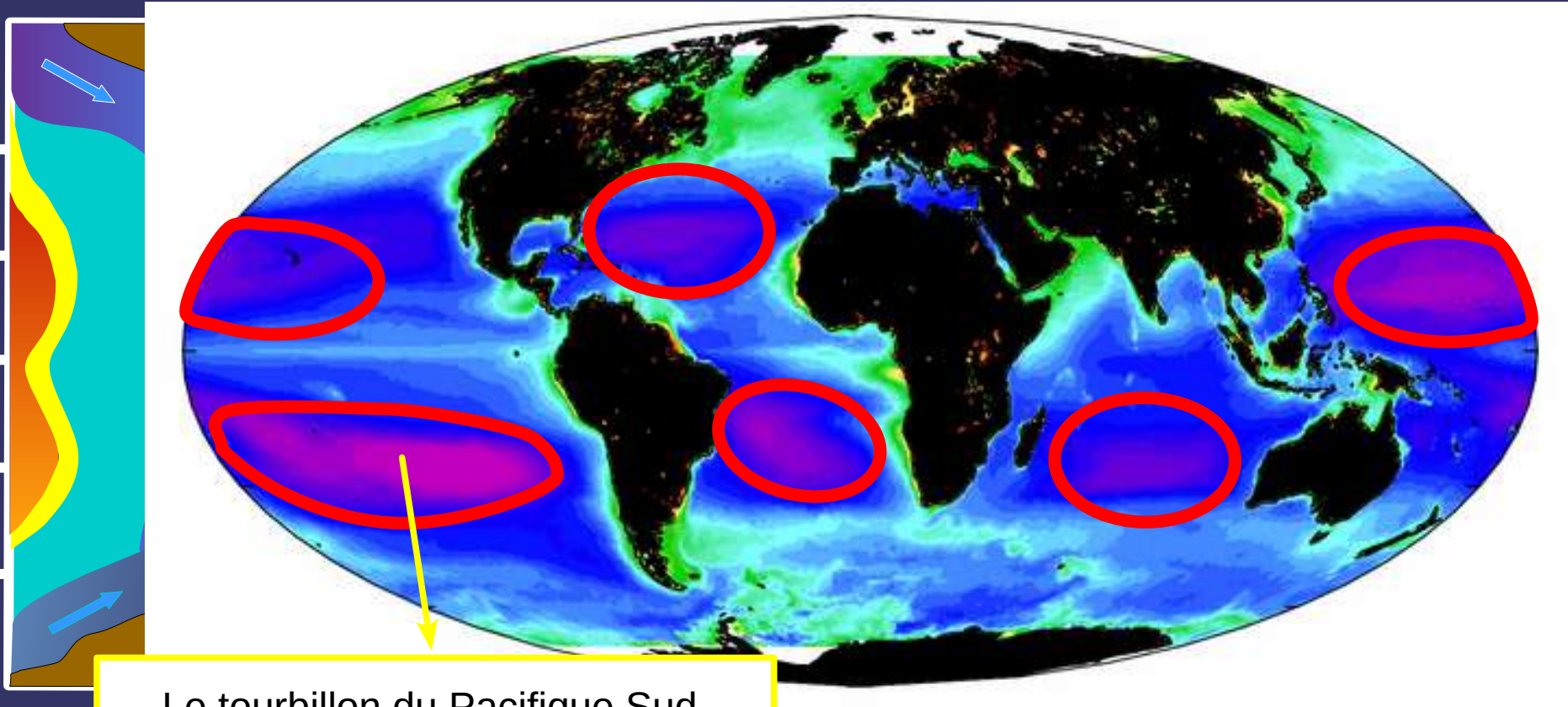
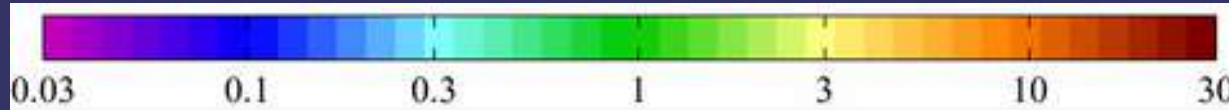


Nitrate dans l'océan mondial [$\mu\text{mol/l}$]

1000 m



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



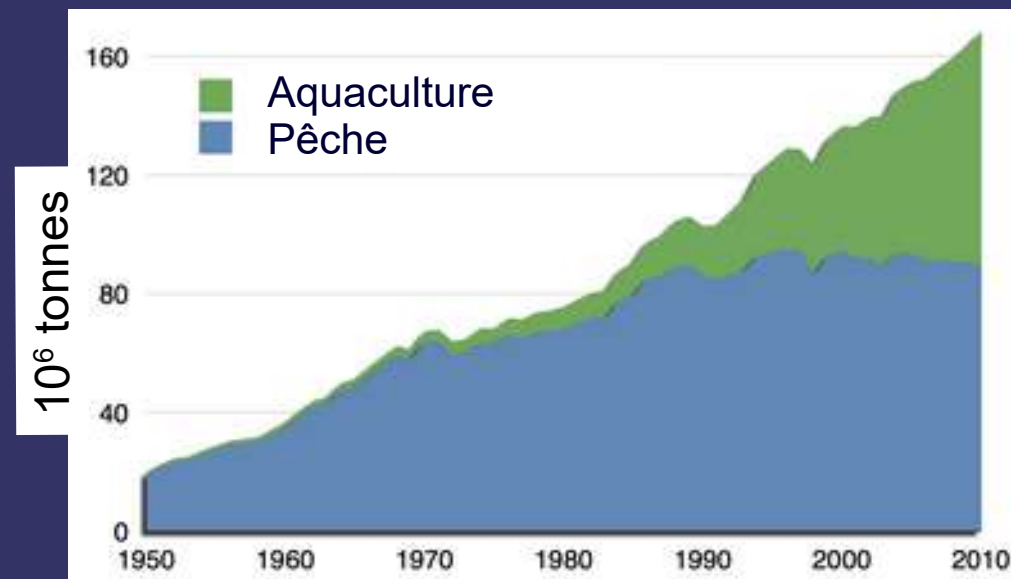
Le tourbillon du Pacifique Sud,
la zone la plus oligotrophe au monde

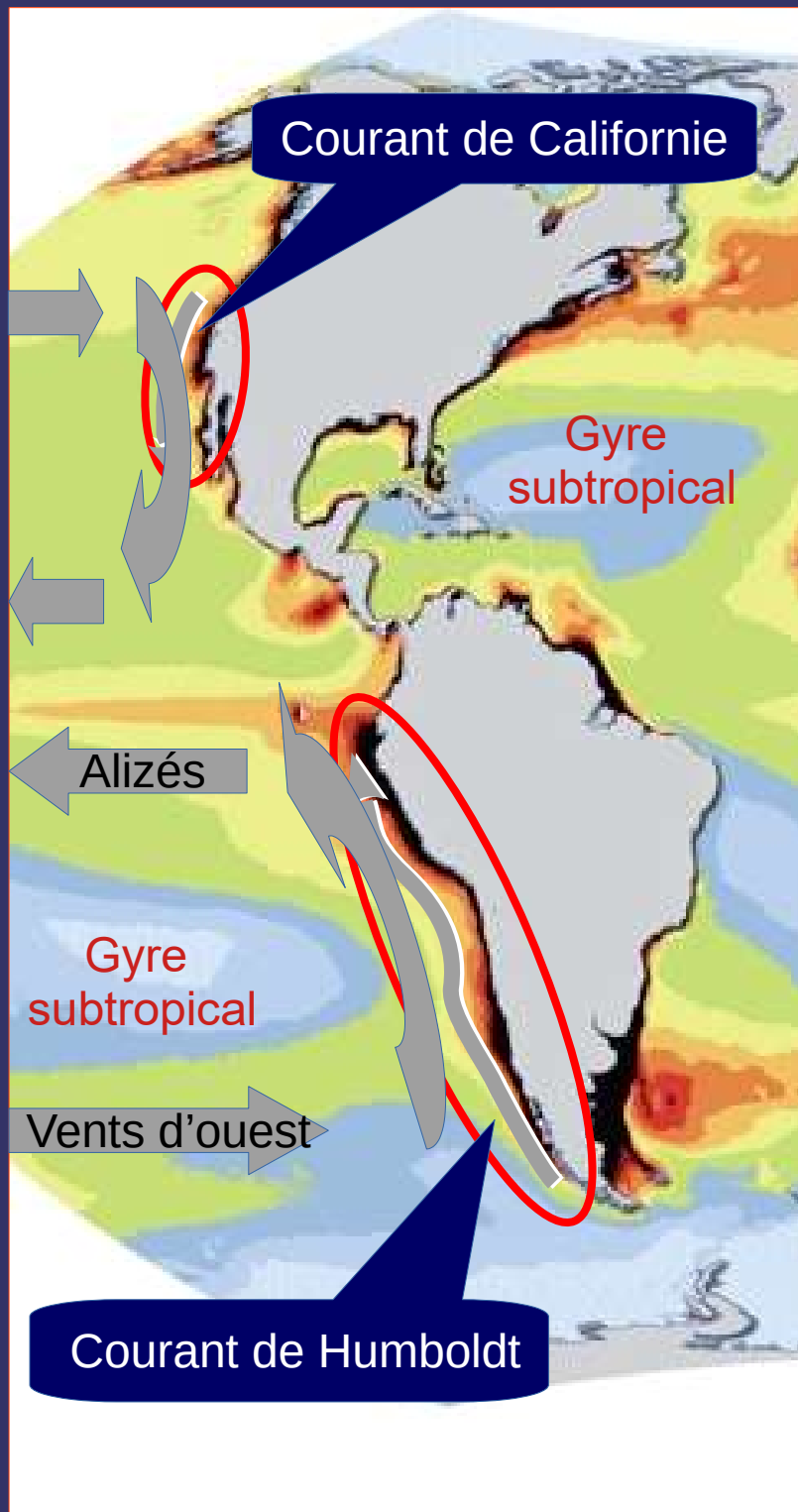
SeaWiFS. (NASA)

- 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

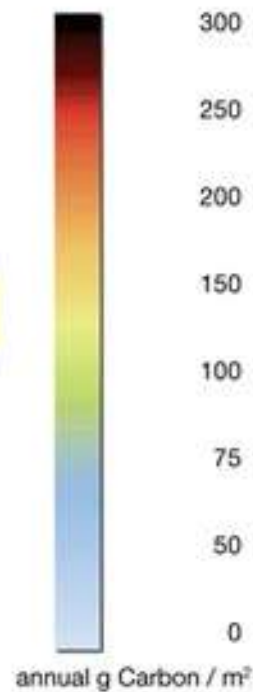
La suite de l'histoire où on reparle de thermocline et où on répond à la question :

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

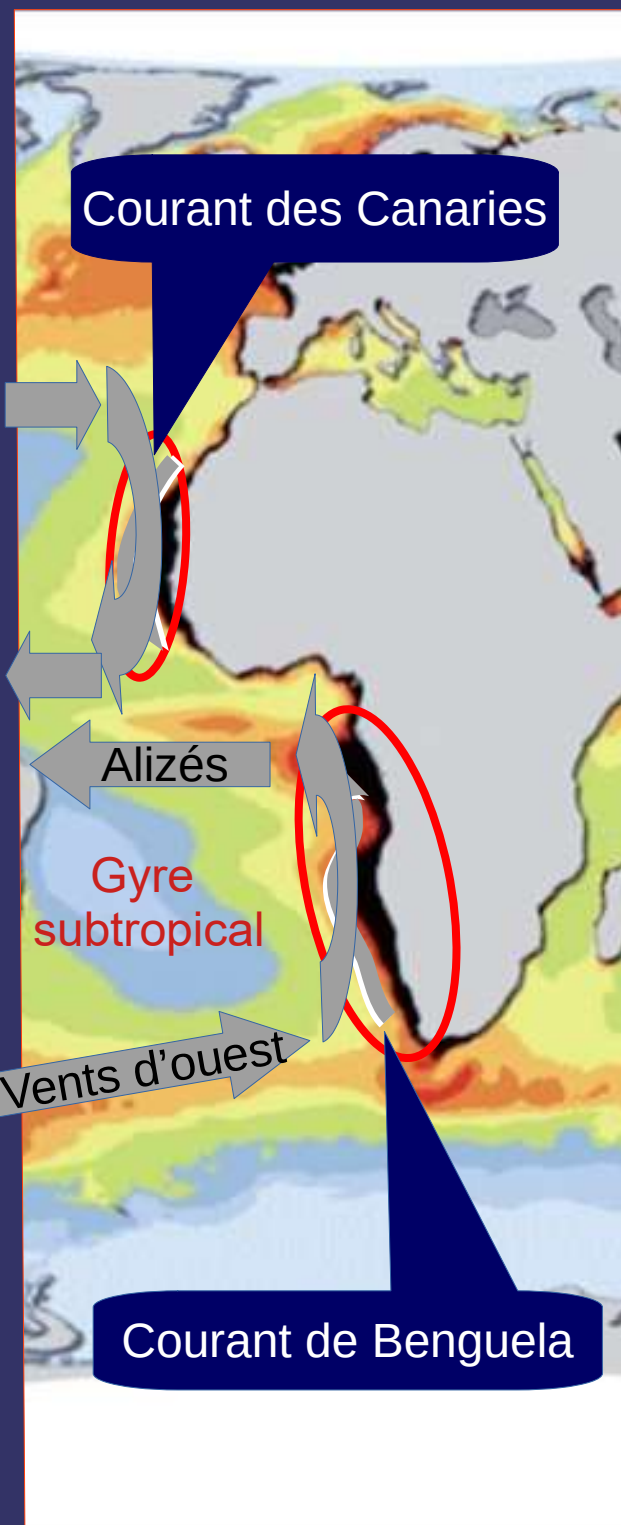




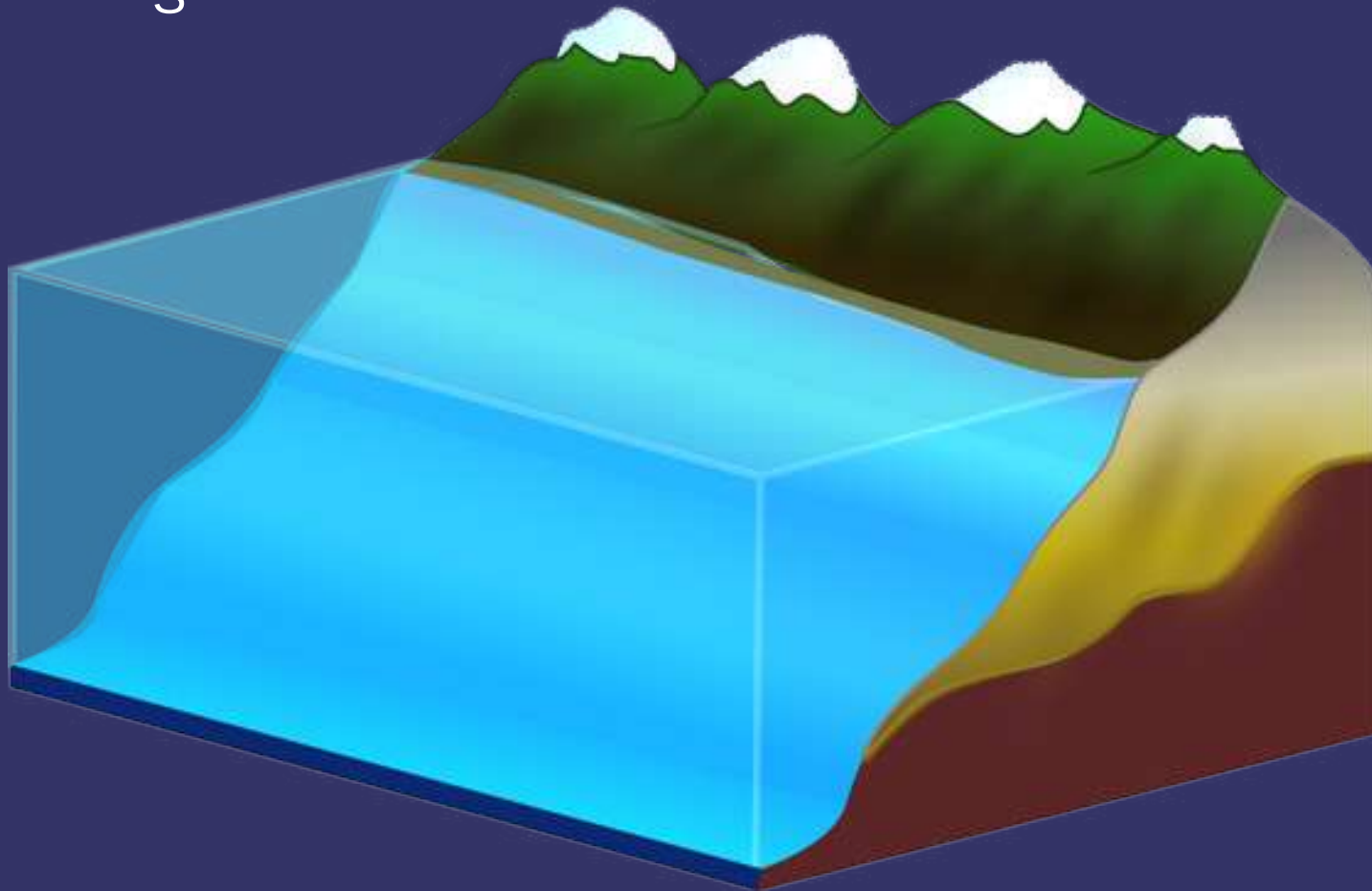
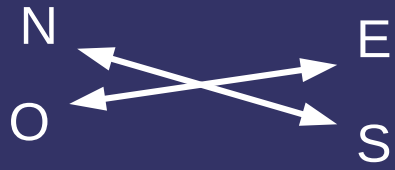
Production primaire
nette par an,
1998-2006



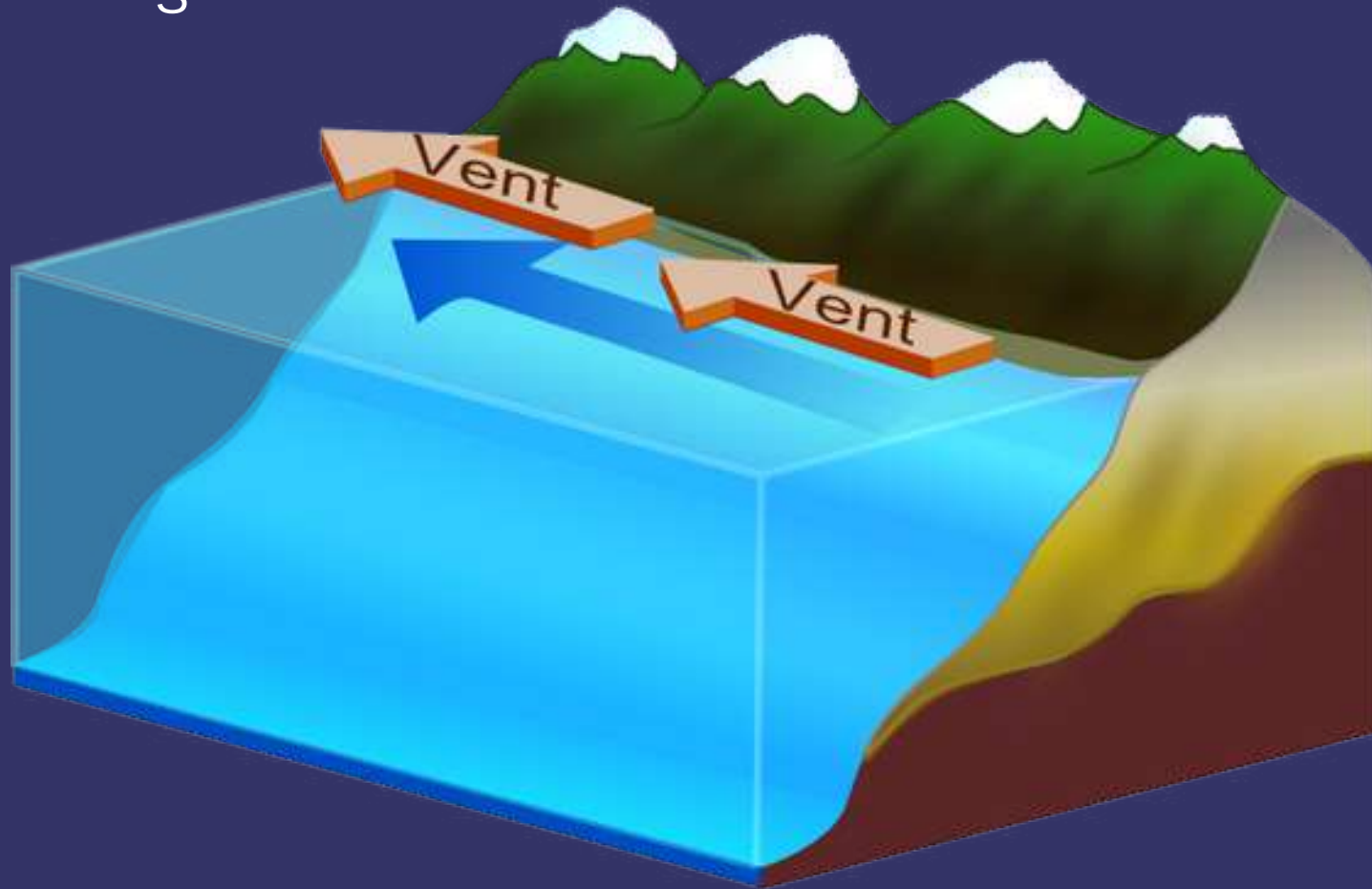
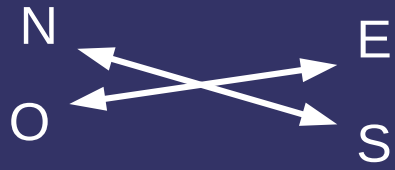
« Upwelling »
Remontée d'eau



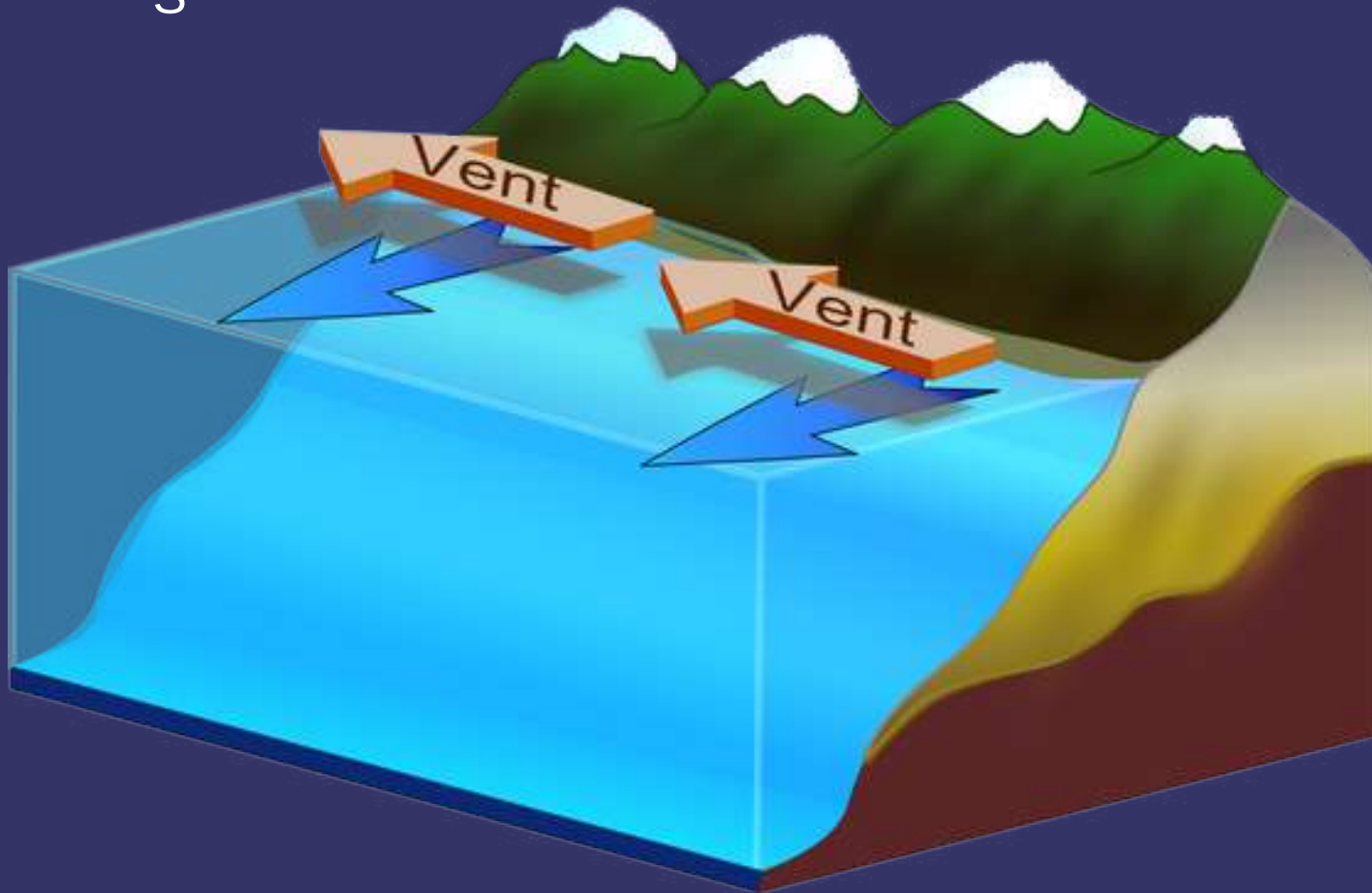
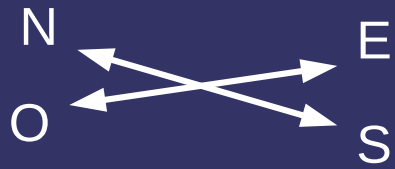
Upwelling dans hémisphère sud



Upwelling dans hémisphère sud

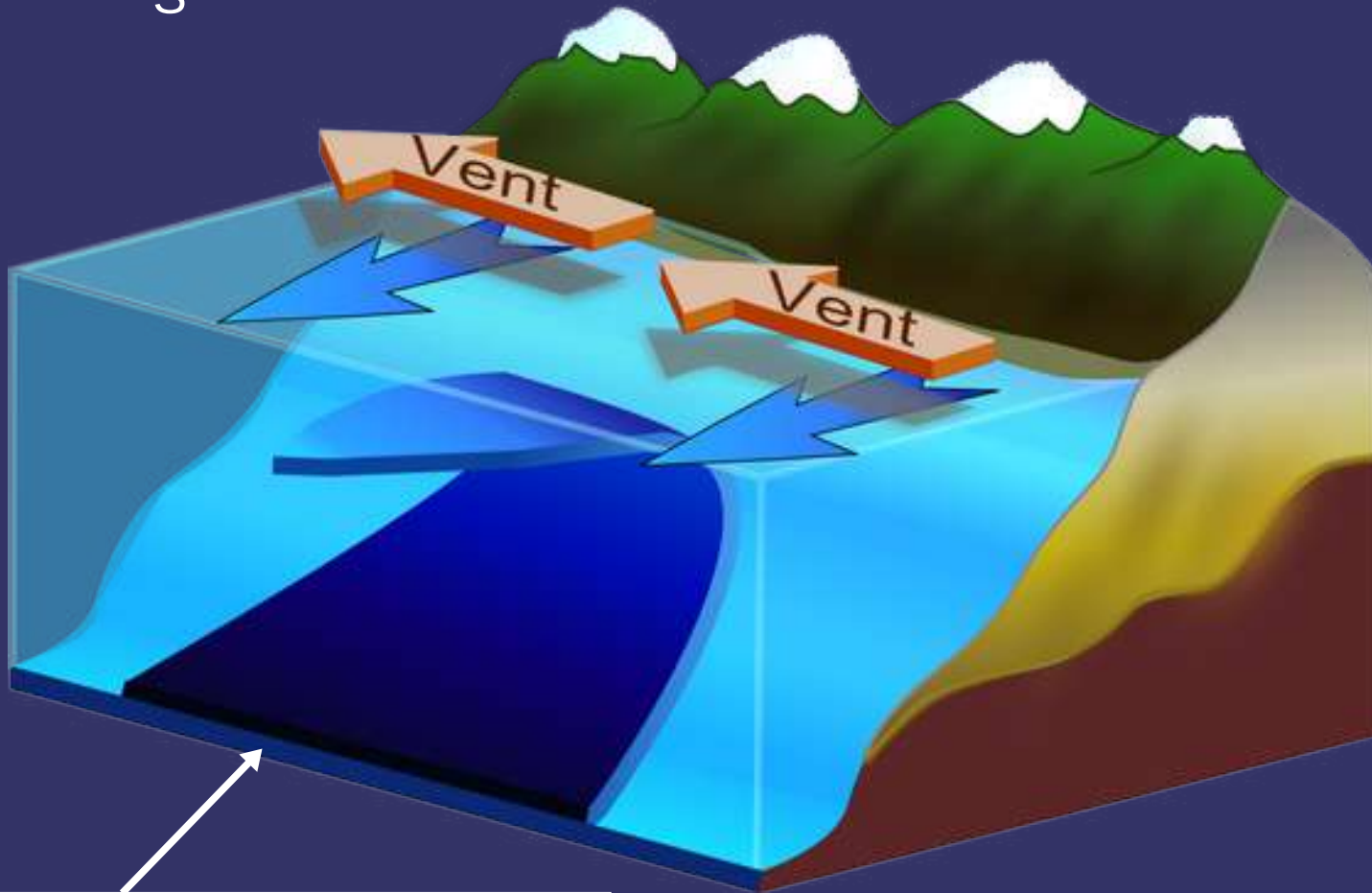
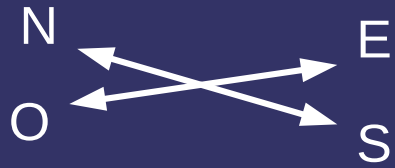


Upwelling dans hémisphère sud



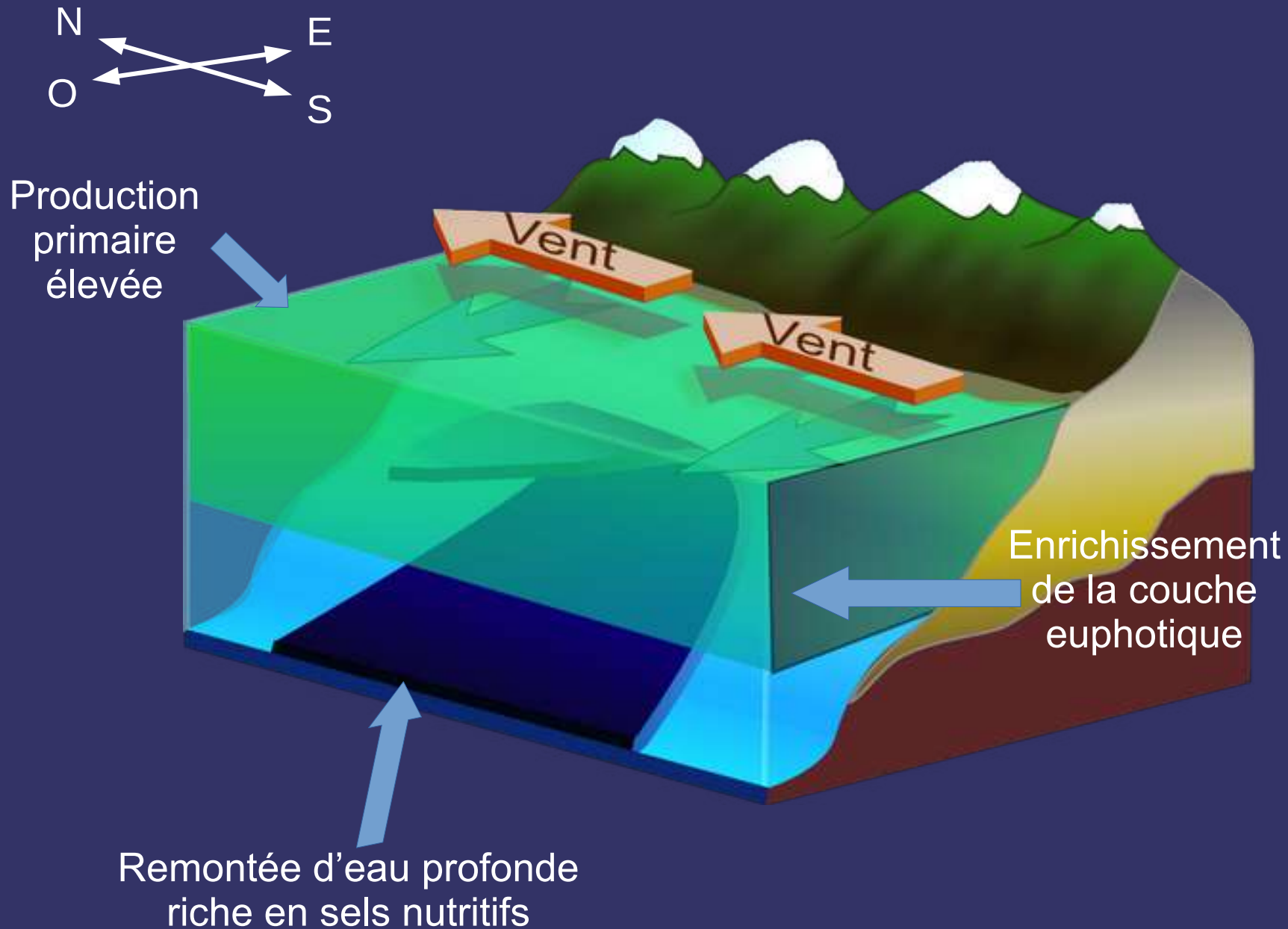
Effets de la force de Coriolis,
vers la gauche dans hémisphère sud.

Upwelling dans hémisphère sud

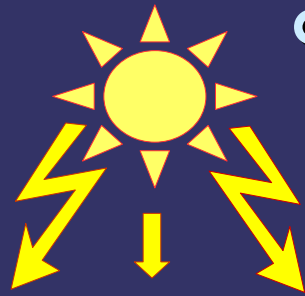


Création d'un « Upwelling »
(remontée d'eau)

Upwelling dans hémisphère sud



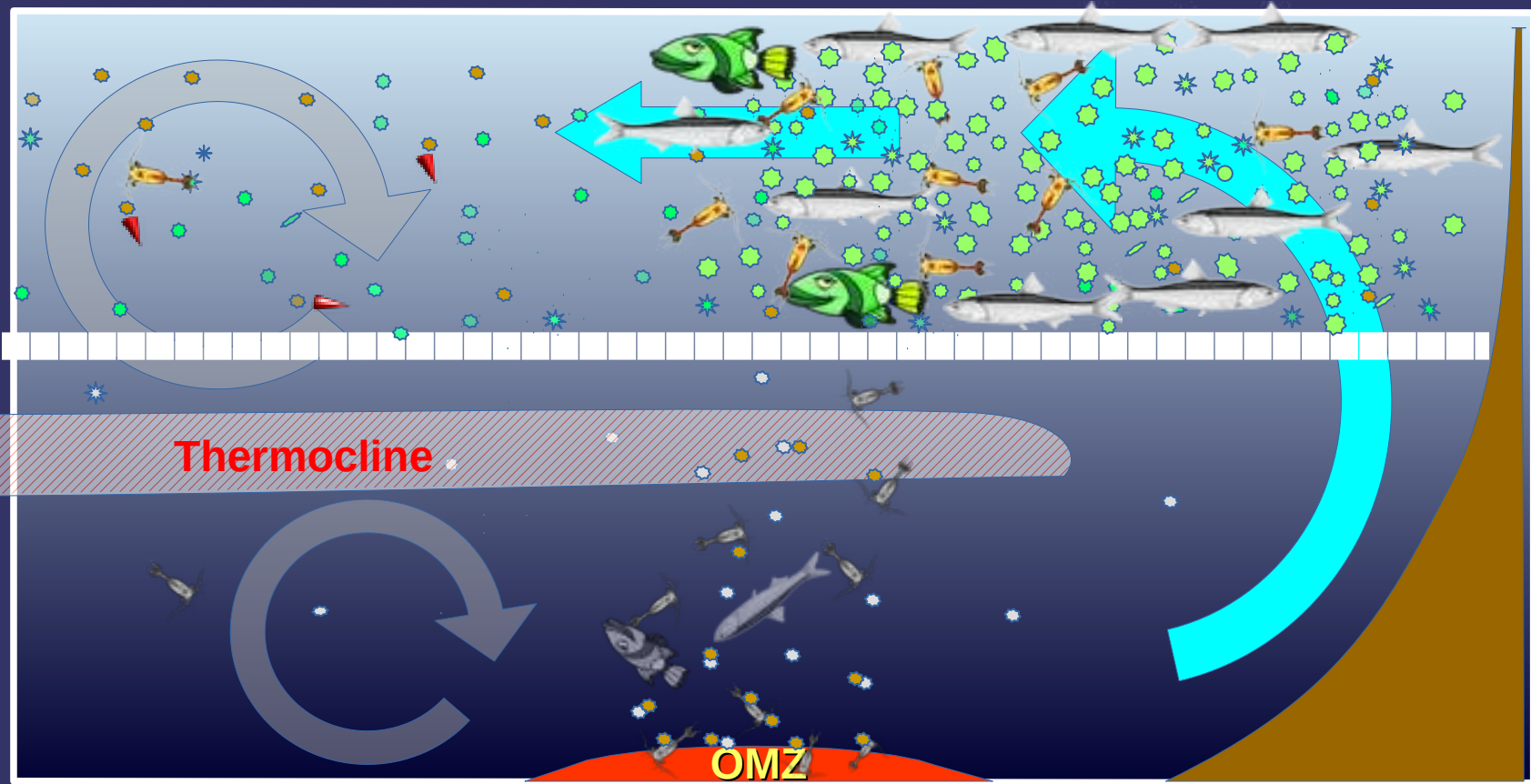
Forçage externe (vent) crée une dynamique qui va entraîner un mélange localisé des deux couches.



Upwelling

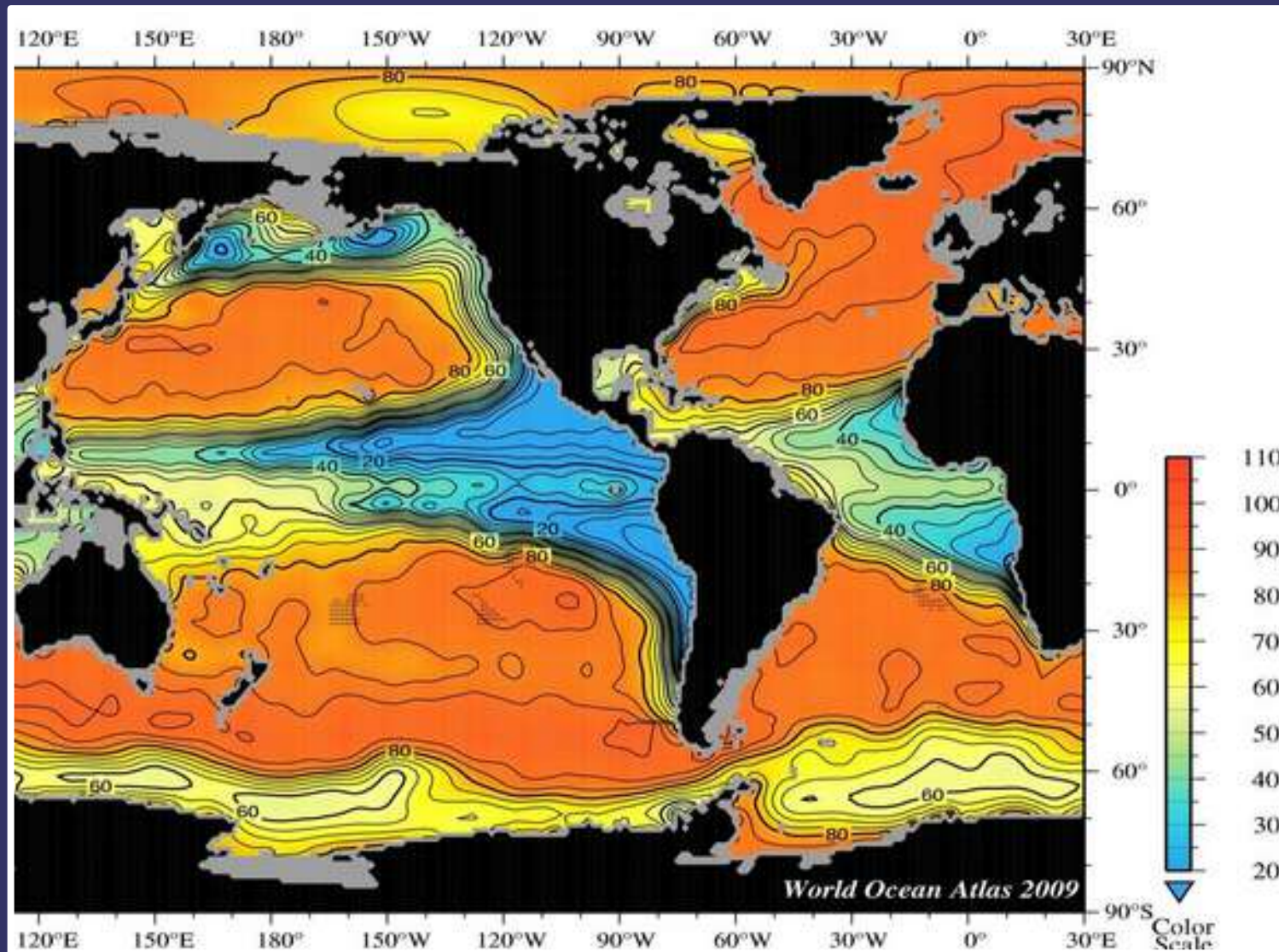
Sels
Nut.

Sels
Nut.



OMZ : « Oxygen minimum zone »

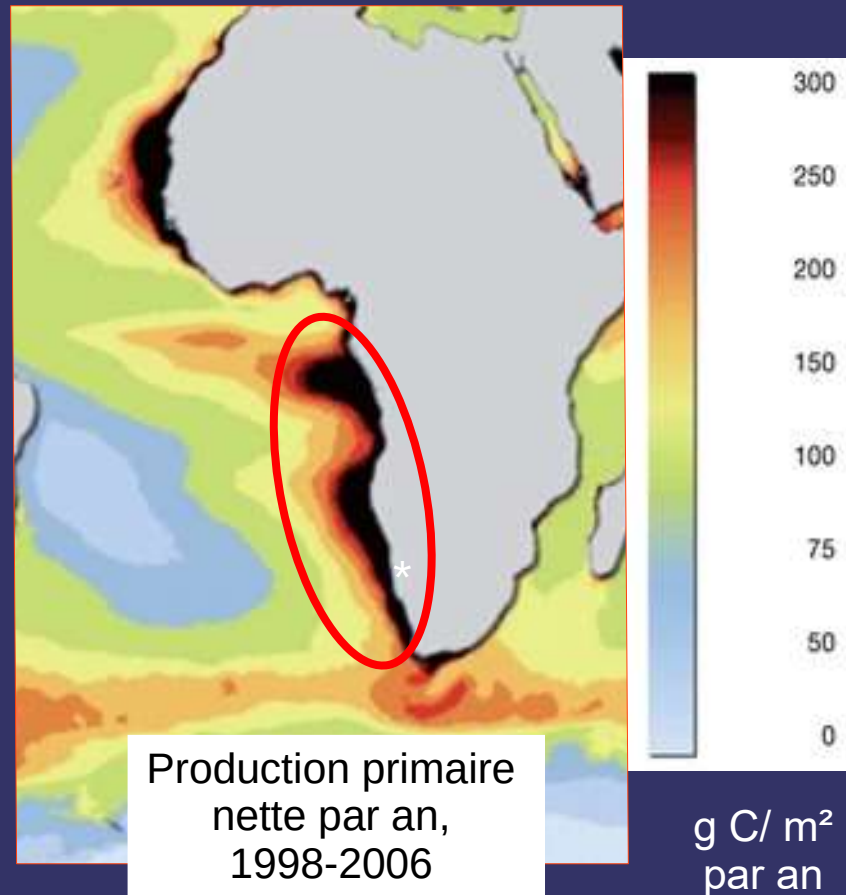
Oxygène (% de saturation) à 200 m



Moyenne annuelle

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.

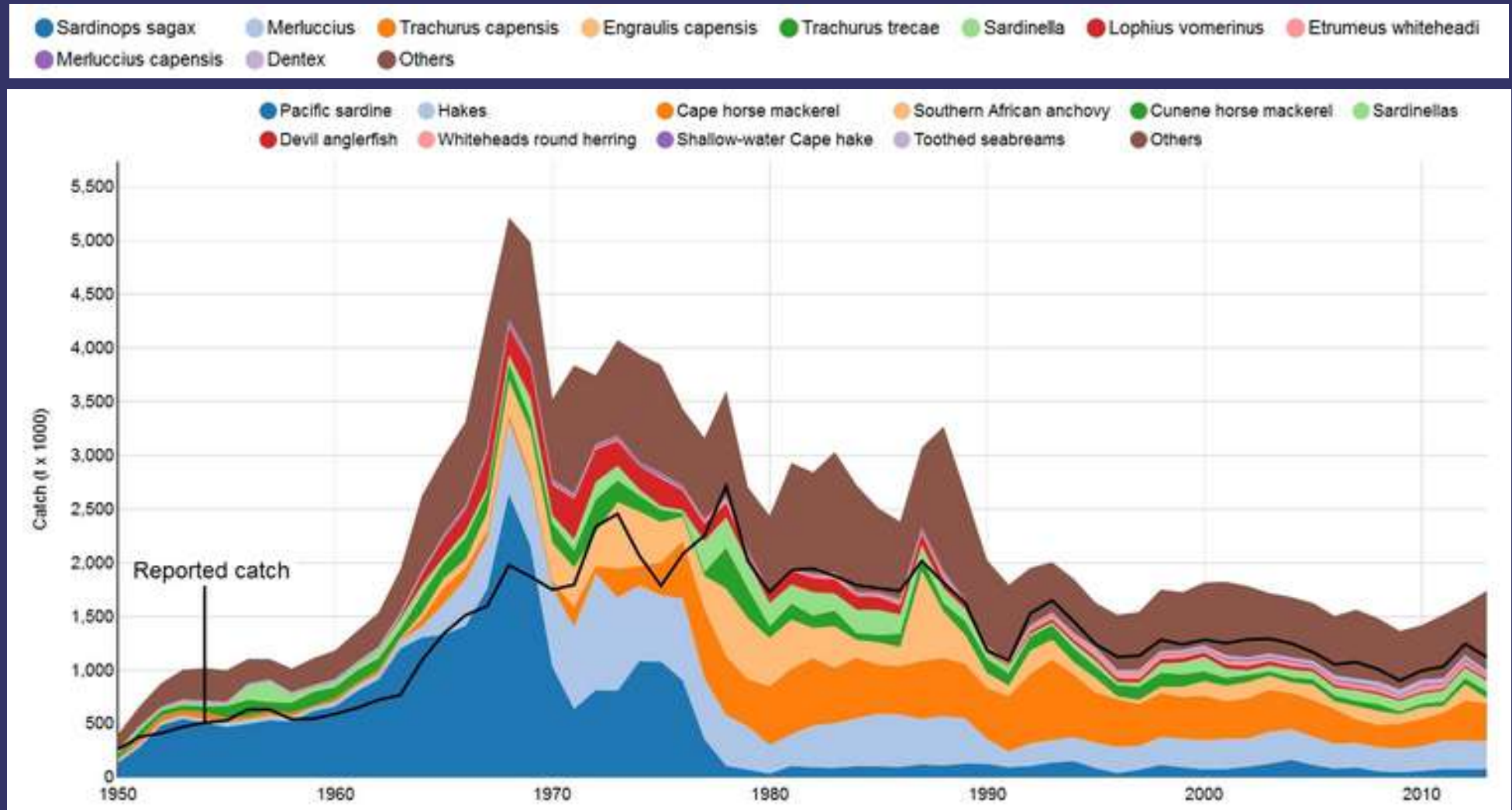
Upwelling du courant du Benguela



Walvis Bay, Namibie

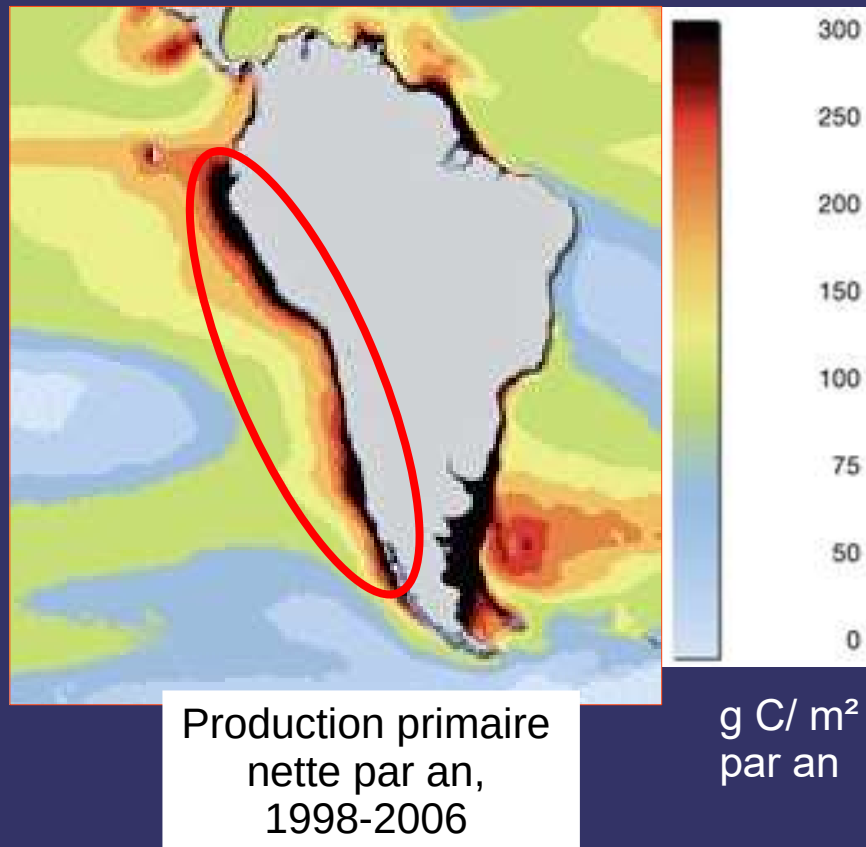
Upwelling du courant du Benguela

Statistique des pêches



Upwelling du courant de Humboldt

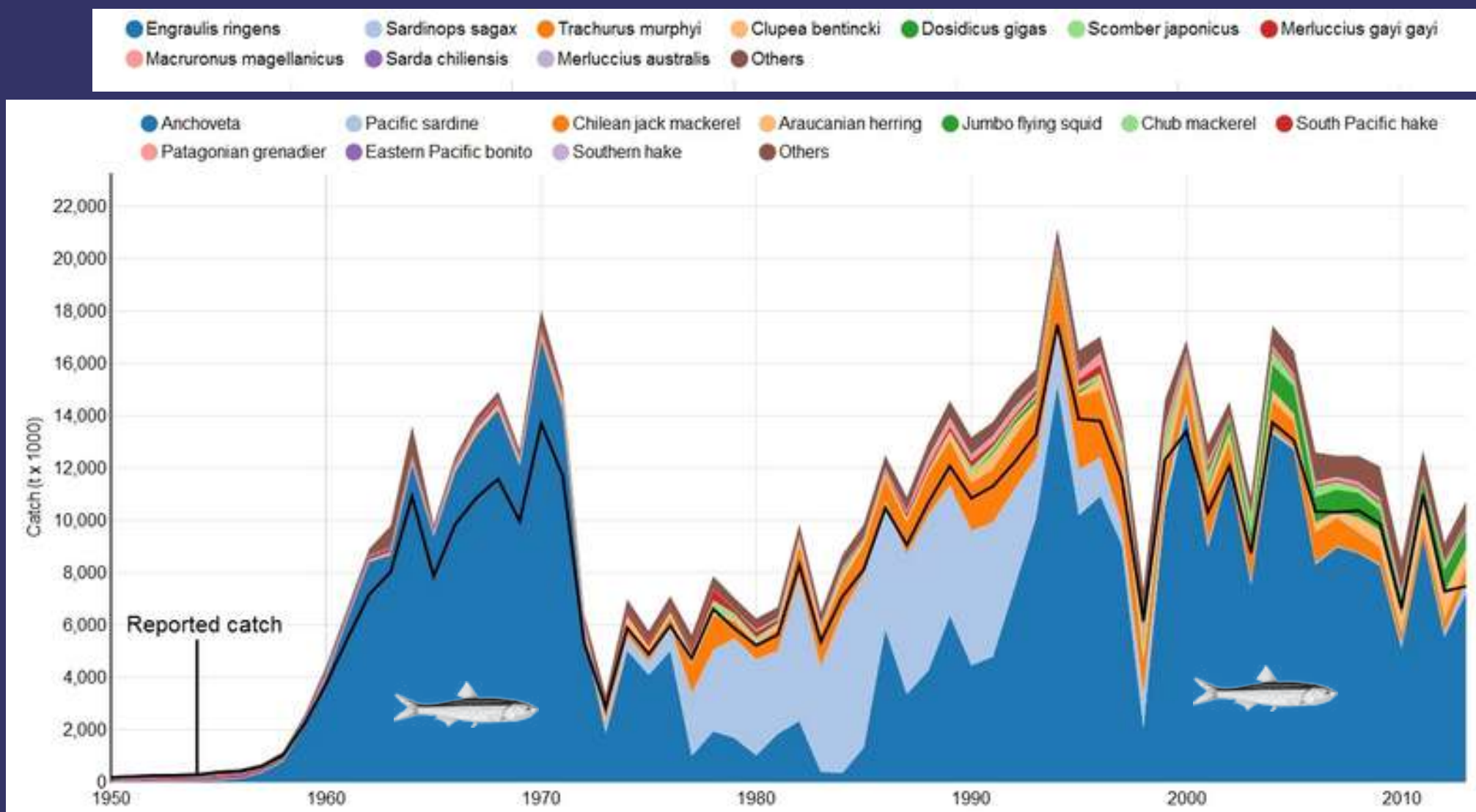
Production phytoplanctonique



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

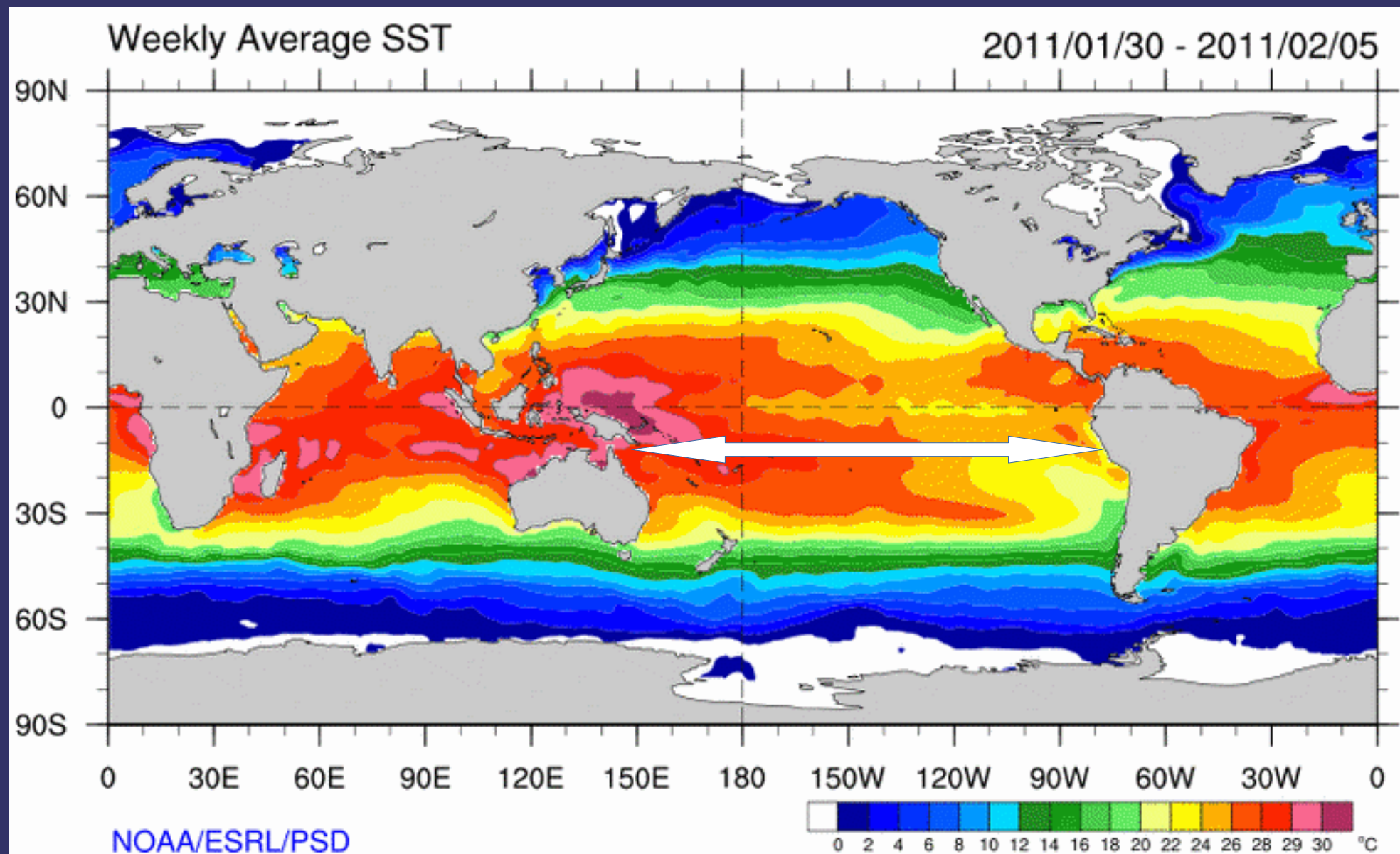


La suite de la suite de l'histoire où on reparle de thermocline, d'Upwelling et où on répond à la question :

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

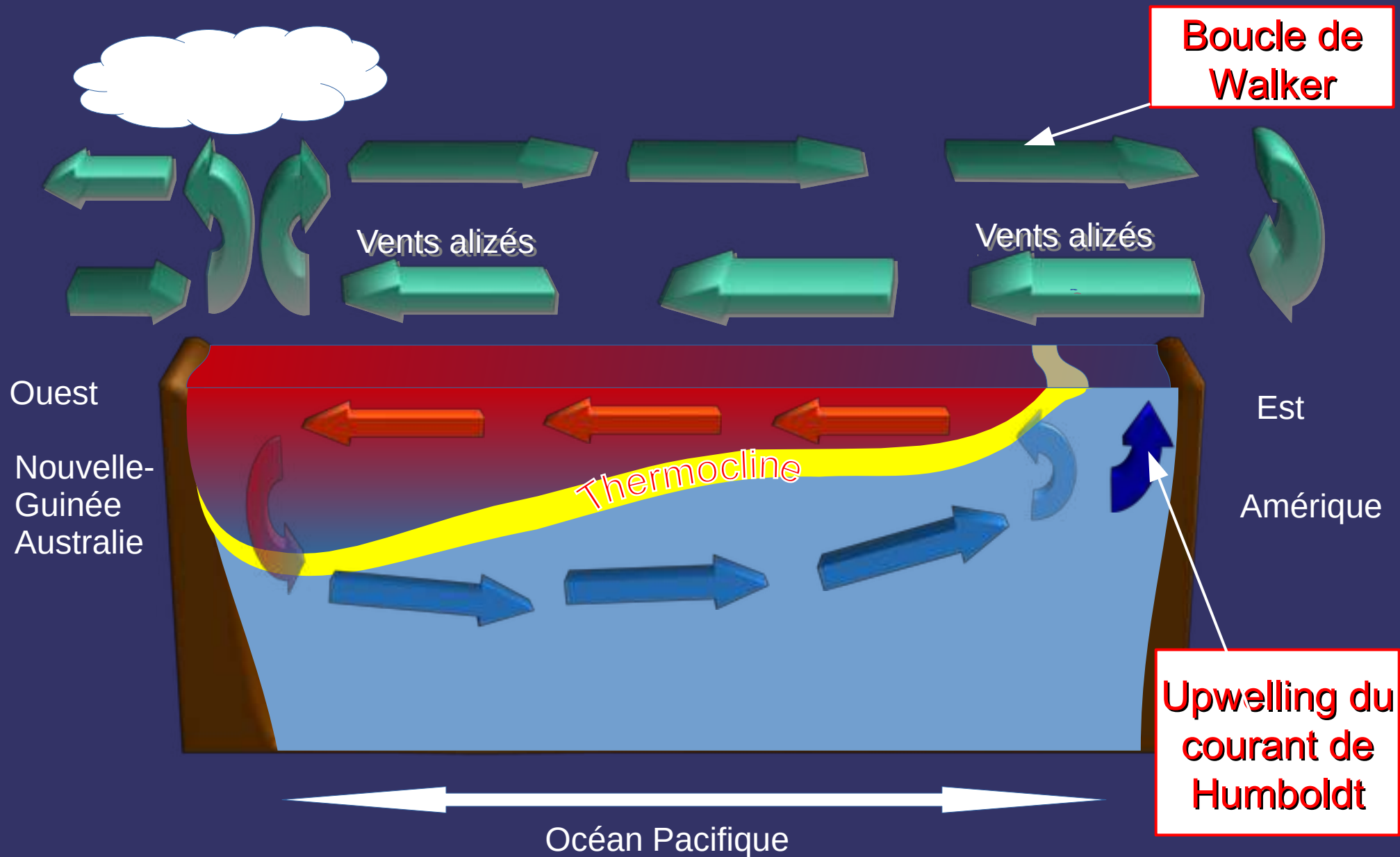
L'Oscillation du Pacifique Sud, phénomène El Niño ENSO (El Niño Southern Oscillation)

Température de surface, SST en C°



Oscillation du pacifique sud, phénomène El Niño

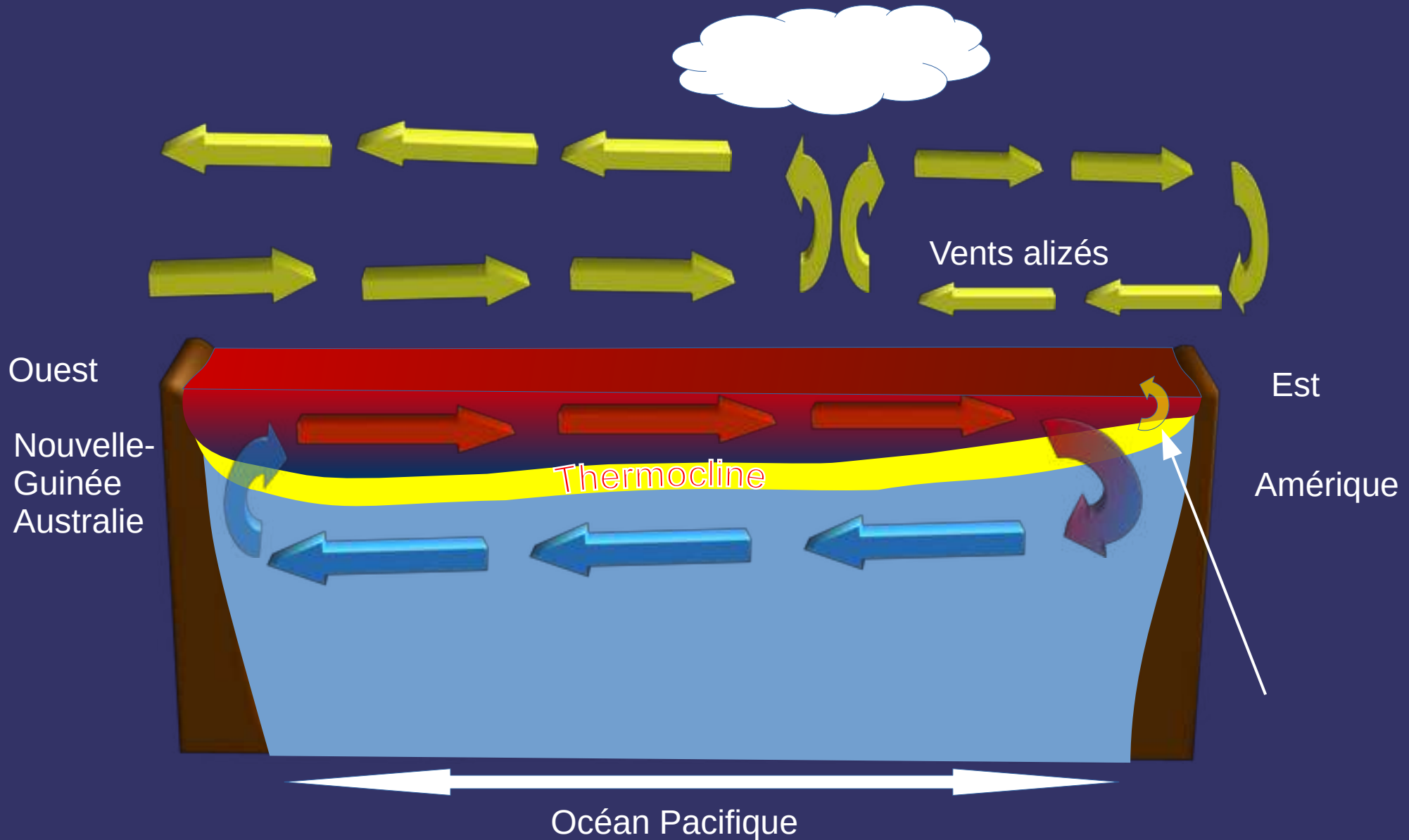
Situation «neutre »



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

Oscillation du pacifique sud, phénomène El Niño

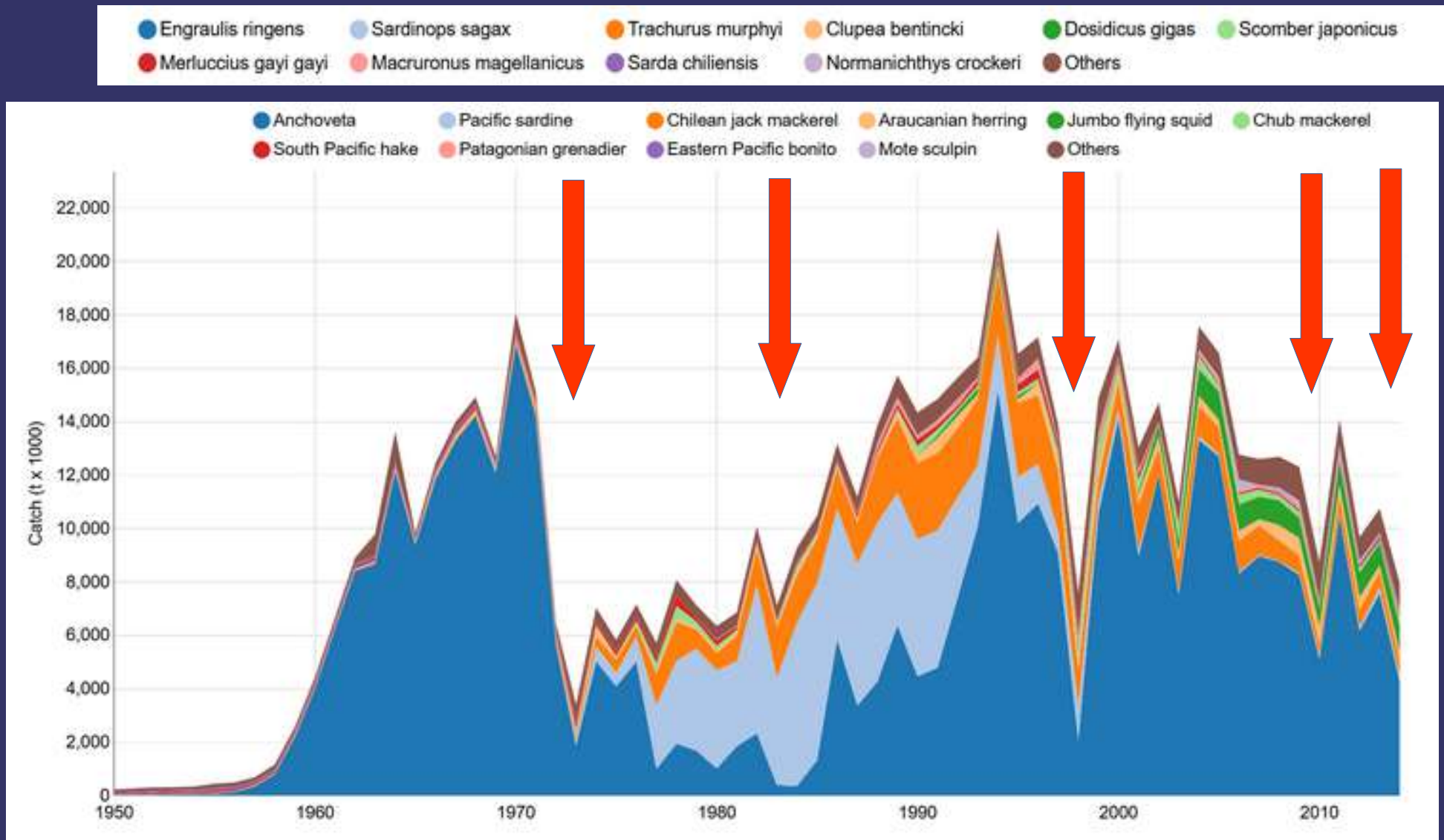
Situation «El Niño»



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, 2014-2015





Histoire naturelle d'une vie à la dérive

Outils d'étude du plancton

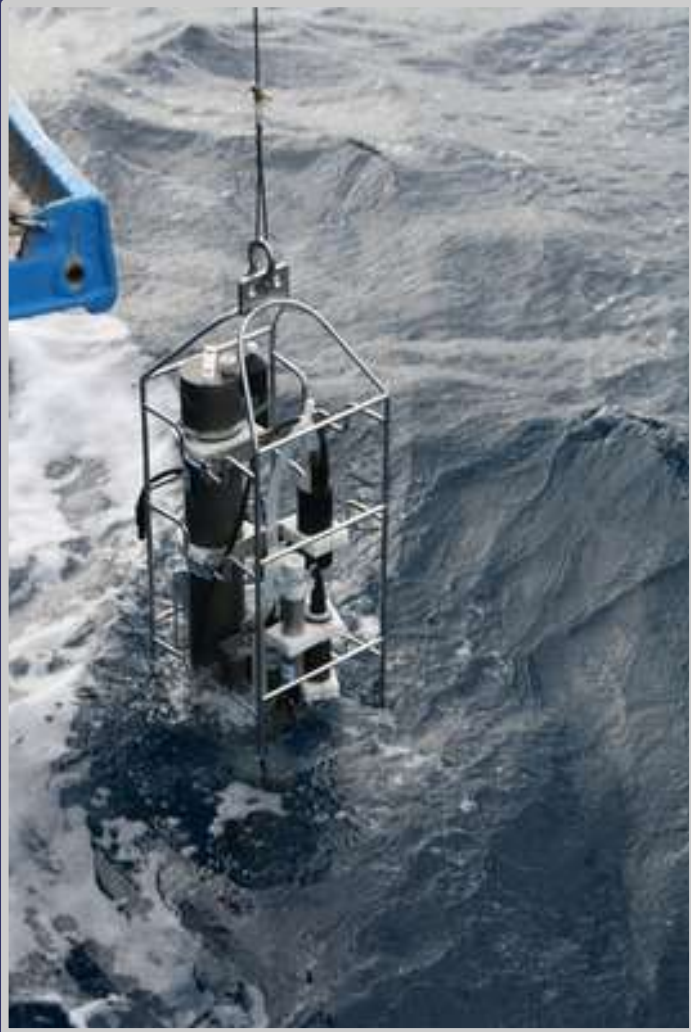


Navires océanographiques



Plateformes de travail et d'acquisition de données

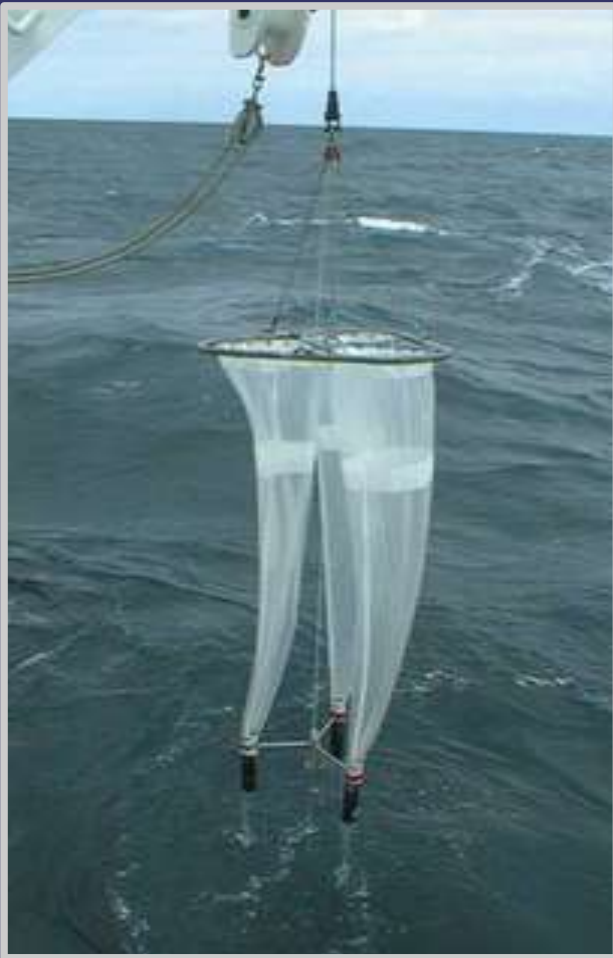
Bouteilles de prélèvements et sondes multi-paramètres



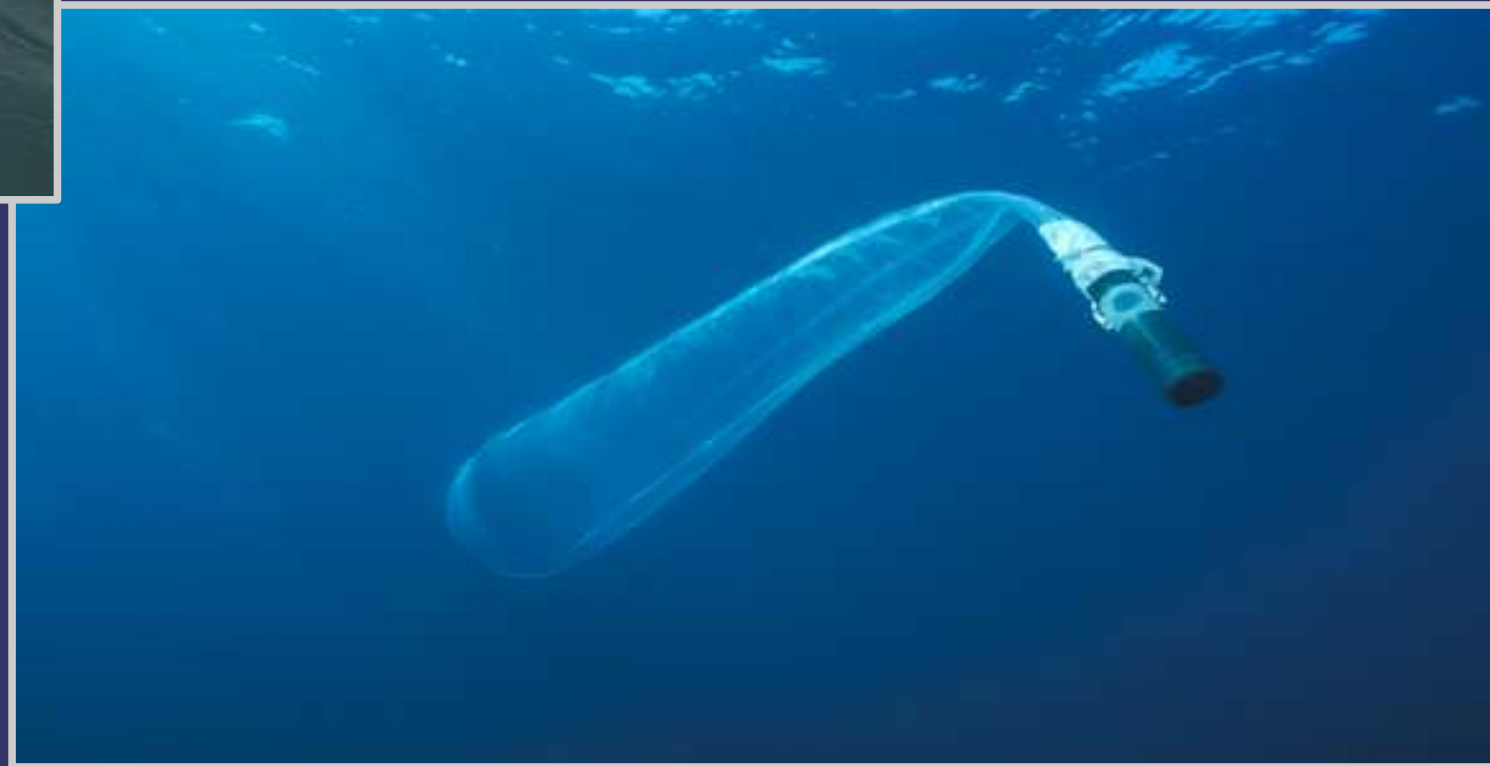
Paramètres acquis en continu:

- ★ Pression → Profondeur
- ★ Température
- ★ Conductivité → Salinité
- ★ Oxygène
- ★ Fluorescence → Plancton végétal
- ★ Paramètres chimiques : sels nutritifs

Les filets à plancton



1 mm



Les filets à micronecton



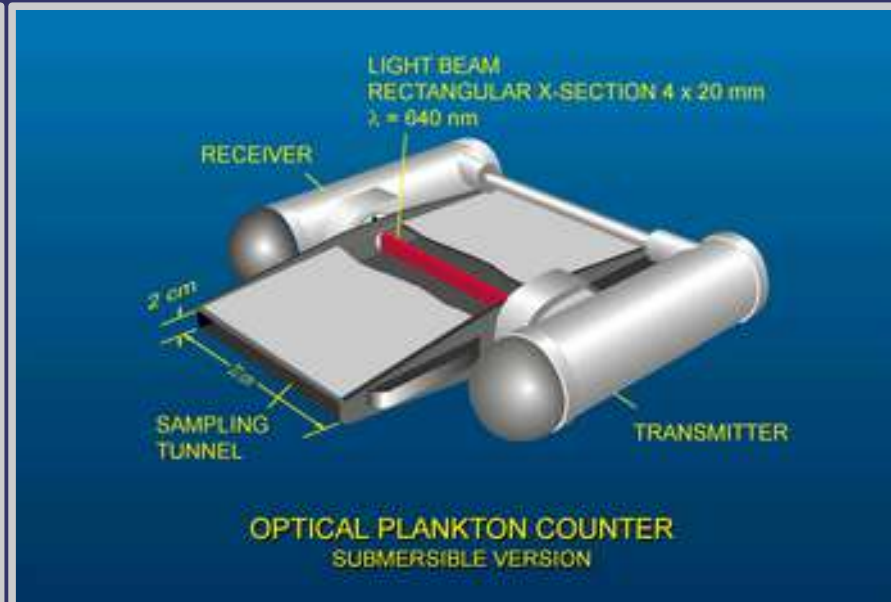
← 3 cm →



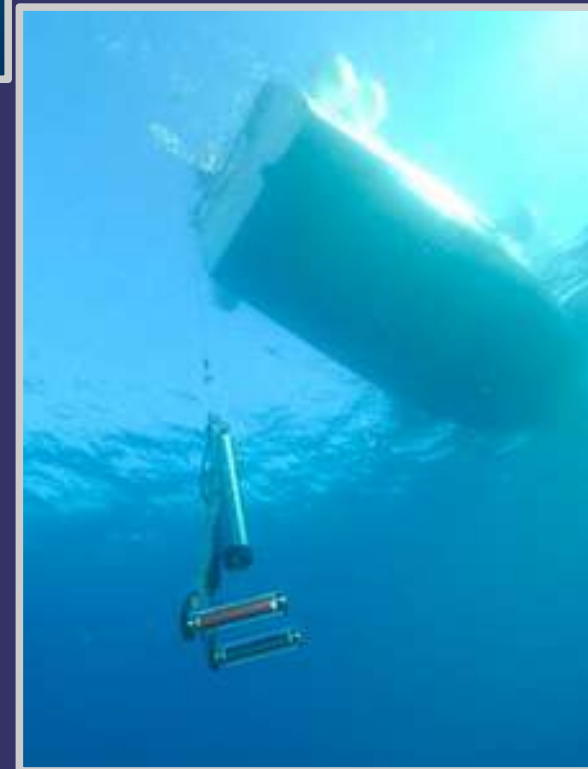
Les compteurs et profileurs



OPC



UVP



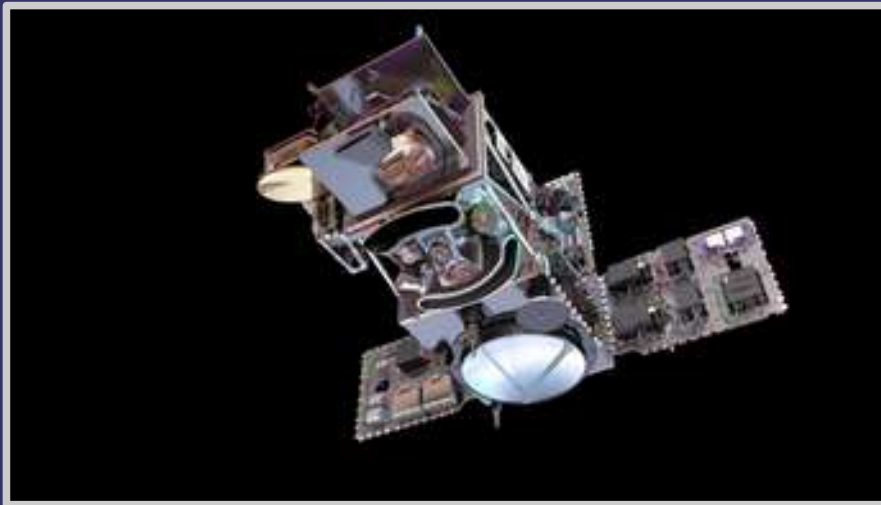
Les satellites

Les satellites permettent d'observer la surface de la mer sur de très grandes étendues et de façon quasi instantanée.

On peut mesurer :

- la température de surface,
- la richesse en phytoplancton,
- la circulation océanique,
- l'intensité des vents de surface,
- ...

Satellites série Sentinel



Sentinel-3 (© : ESA)

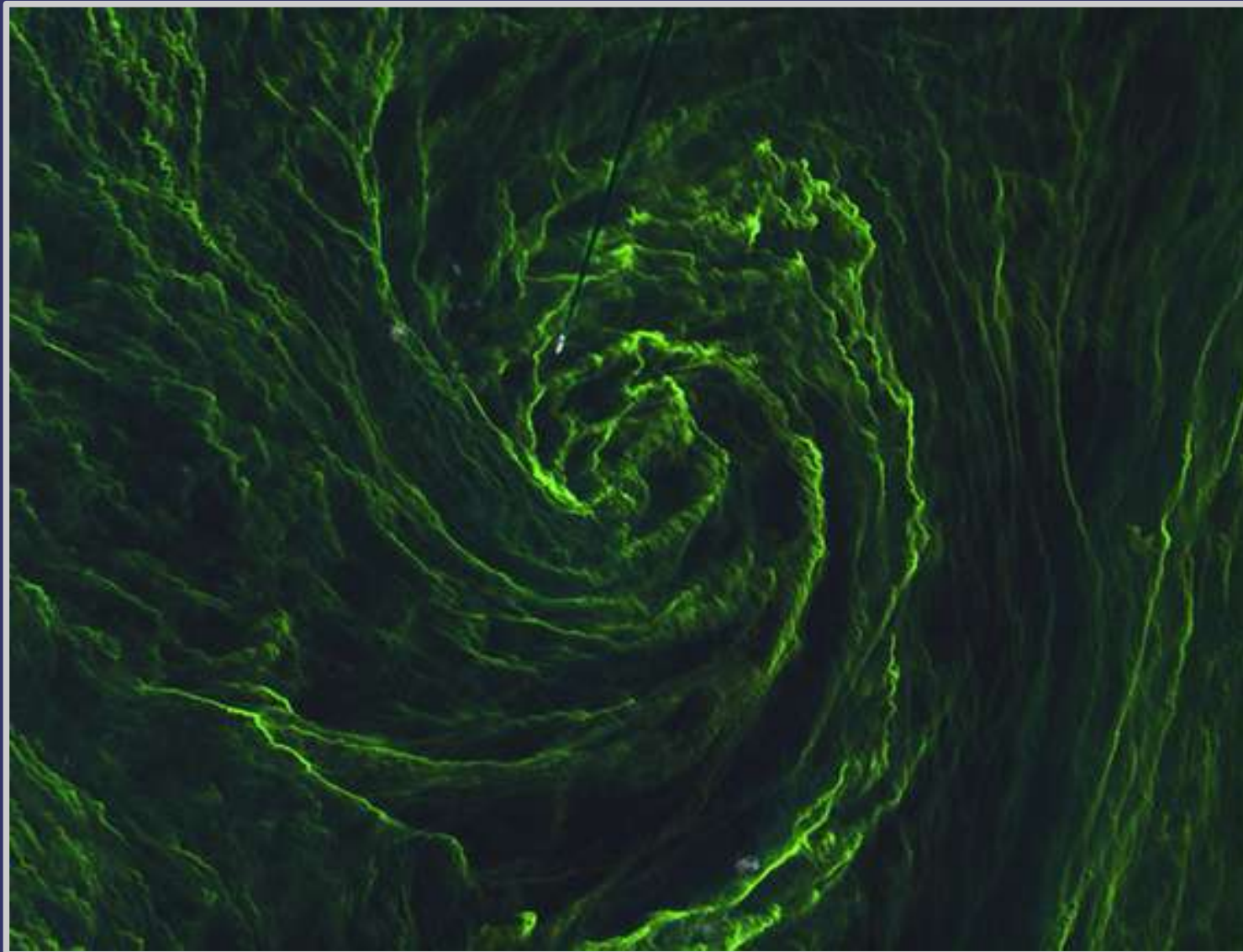
Satellites série Jason



NASA — <http://sealevel.jpl.nasa.gov/mission/jason-1.html>

Visions satellitaires

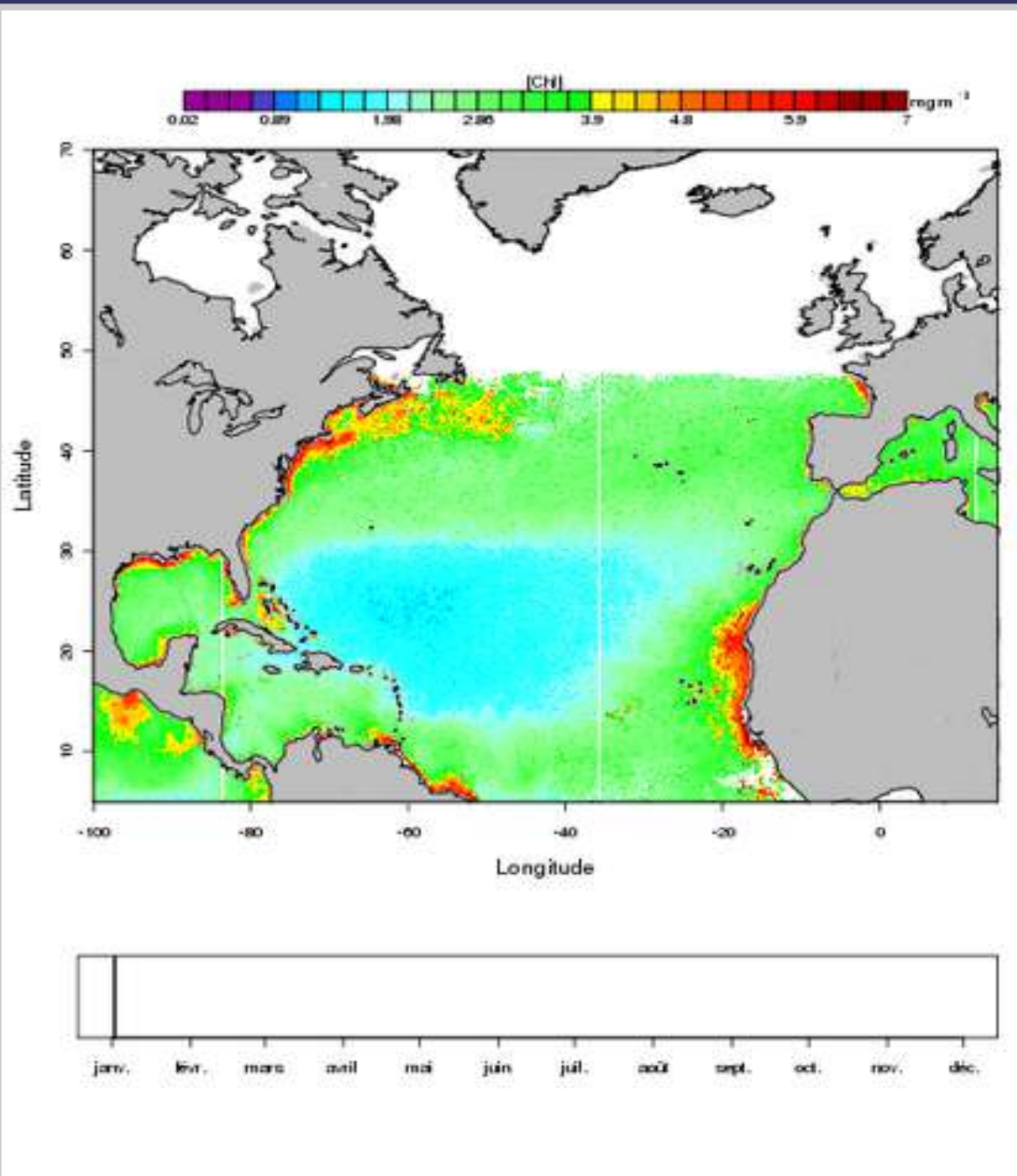
La couleur de l'Océan



Copernicus Sentinel data (2015) ESA

Visions satellitaires

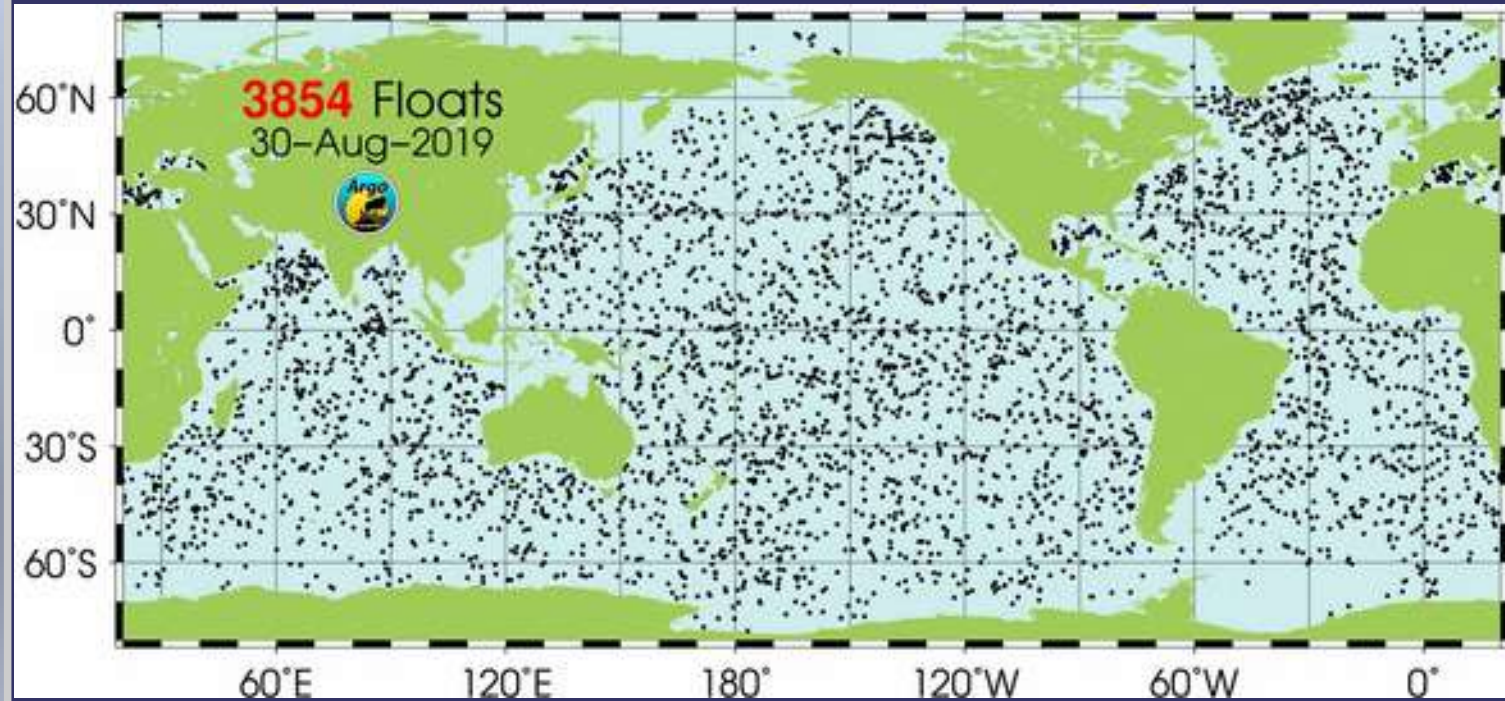
Dynamique de la chlorophylle dans l'Atlantique nord



Les bouées autonomes



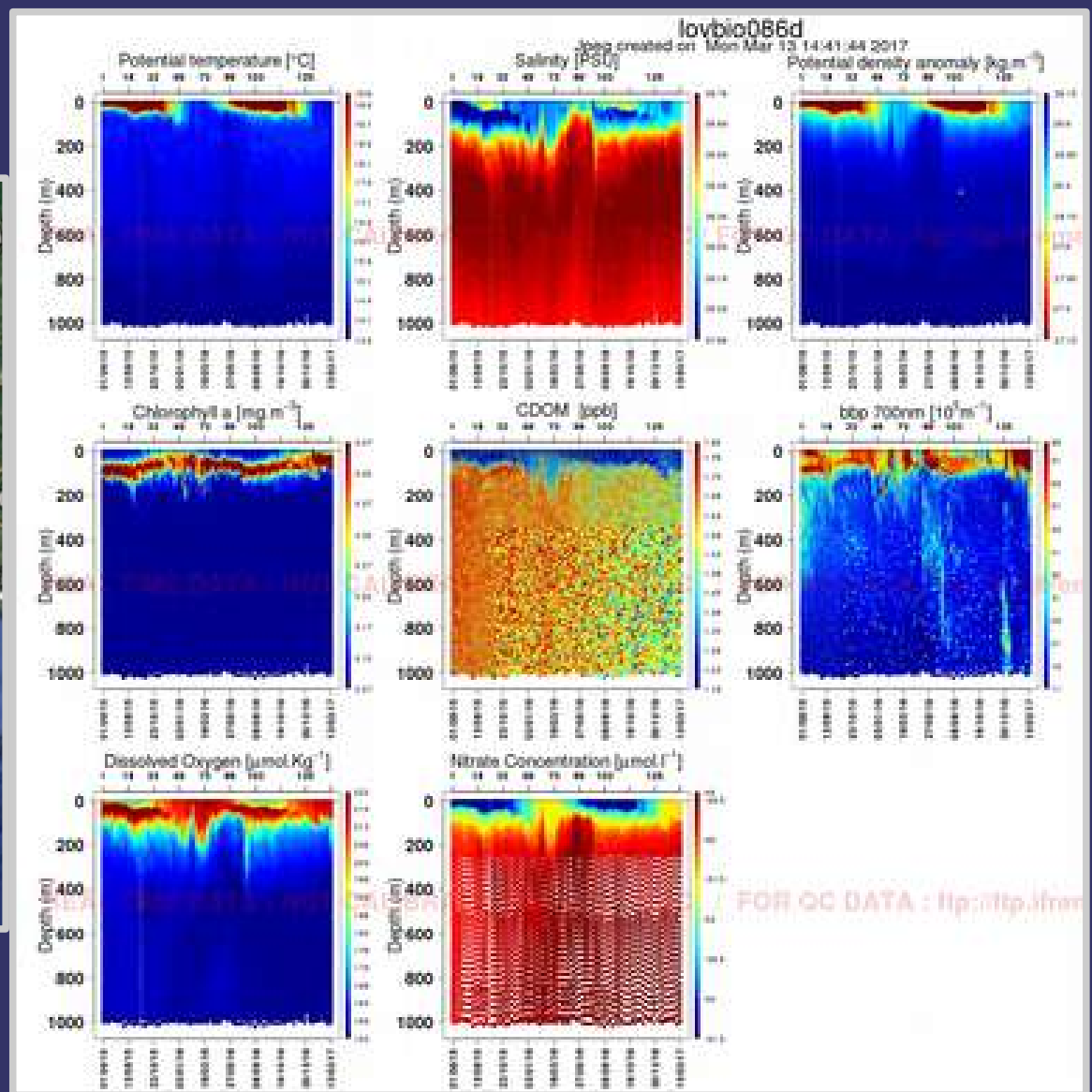
Profileurs Bio-Argo.



Argo

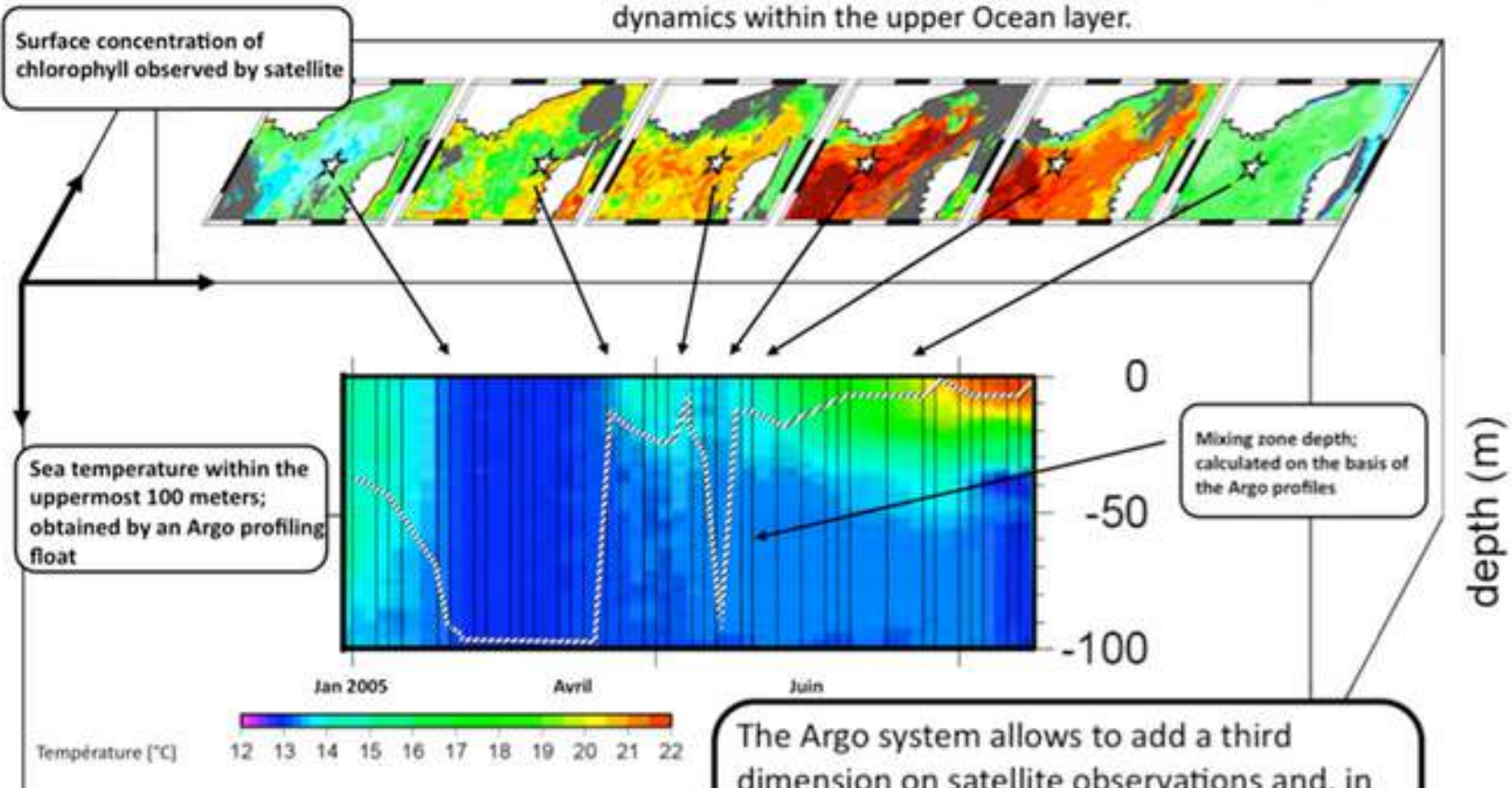
part of the integrated global observation strategy

Profileurs Bio-Argo.



Couplage satellites/ bouées autonomes

Spring 2005, Ligurian Sea: algal bloom observations from space have been coupled with vertical measurements of an Argo profiling float on the mixing dynamics within the upper Ocean layer.



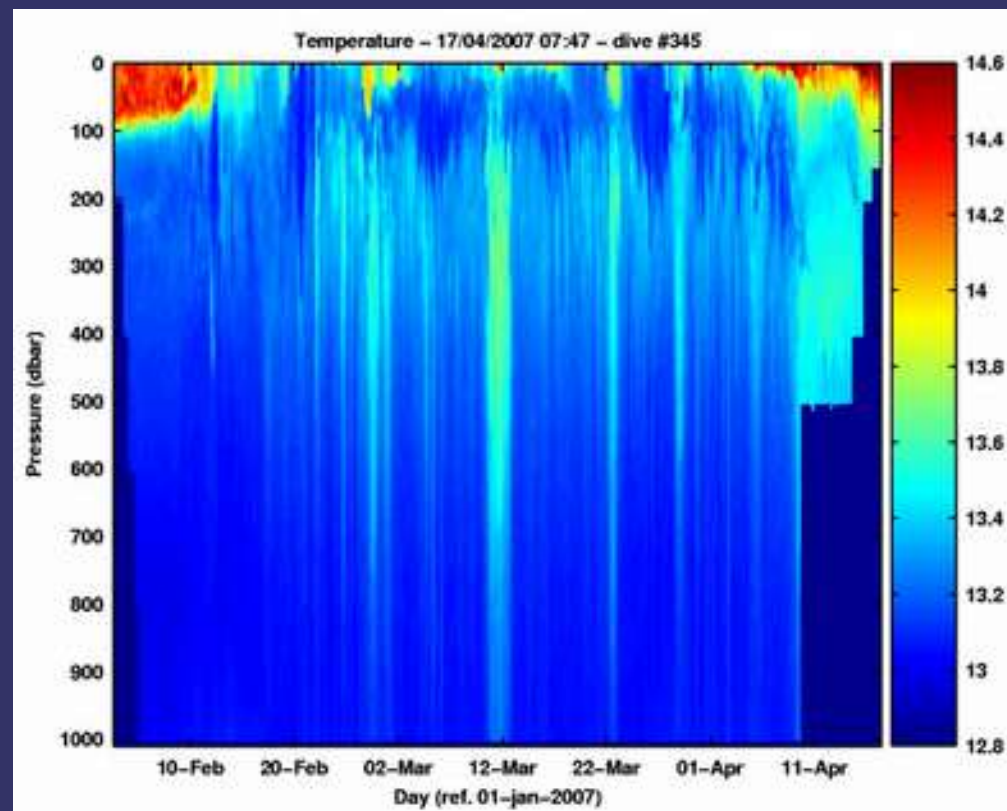
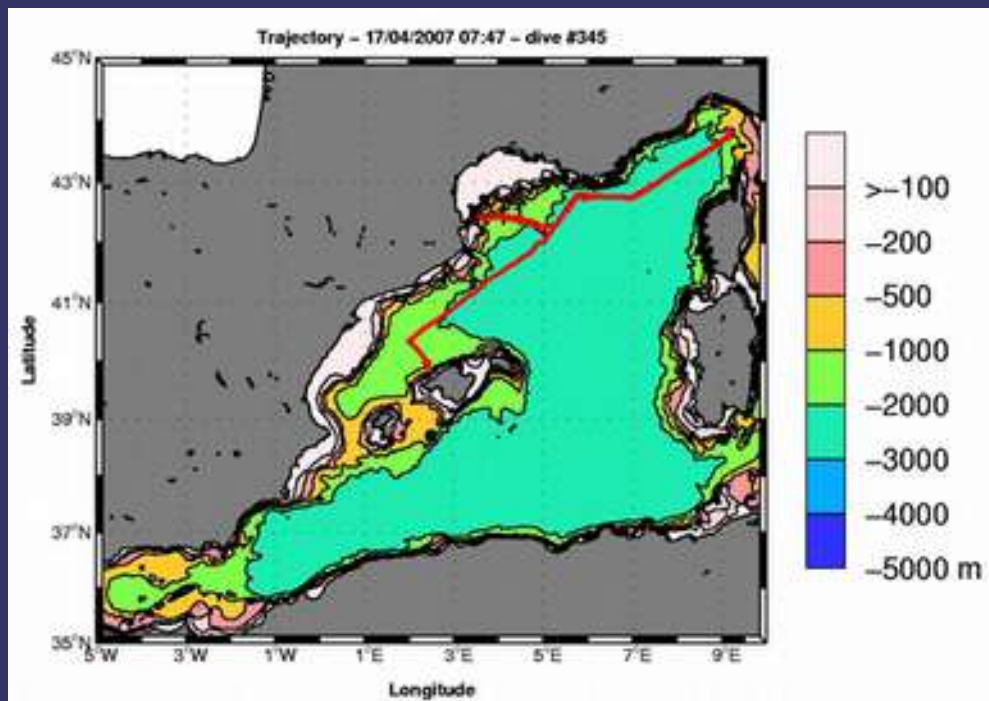
modified after D'Ortenzio et al.

The Argo system allows to add a third dimension on satellite observations and, in case of the present example, to characterize the physical state of the Ocean in the "below surface" layers.

Les Planeurs sous-marins autonomes - Gliders



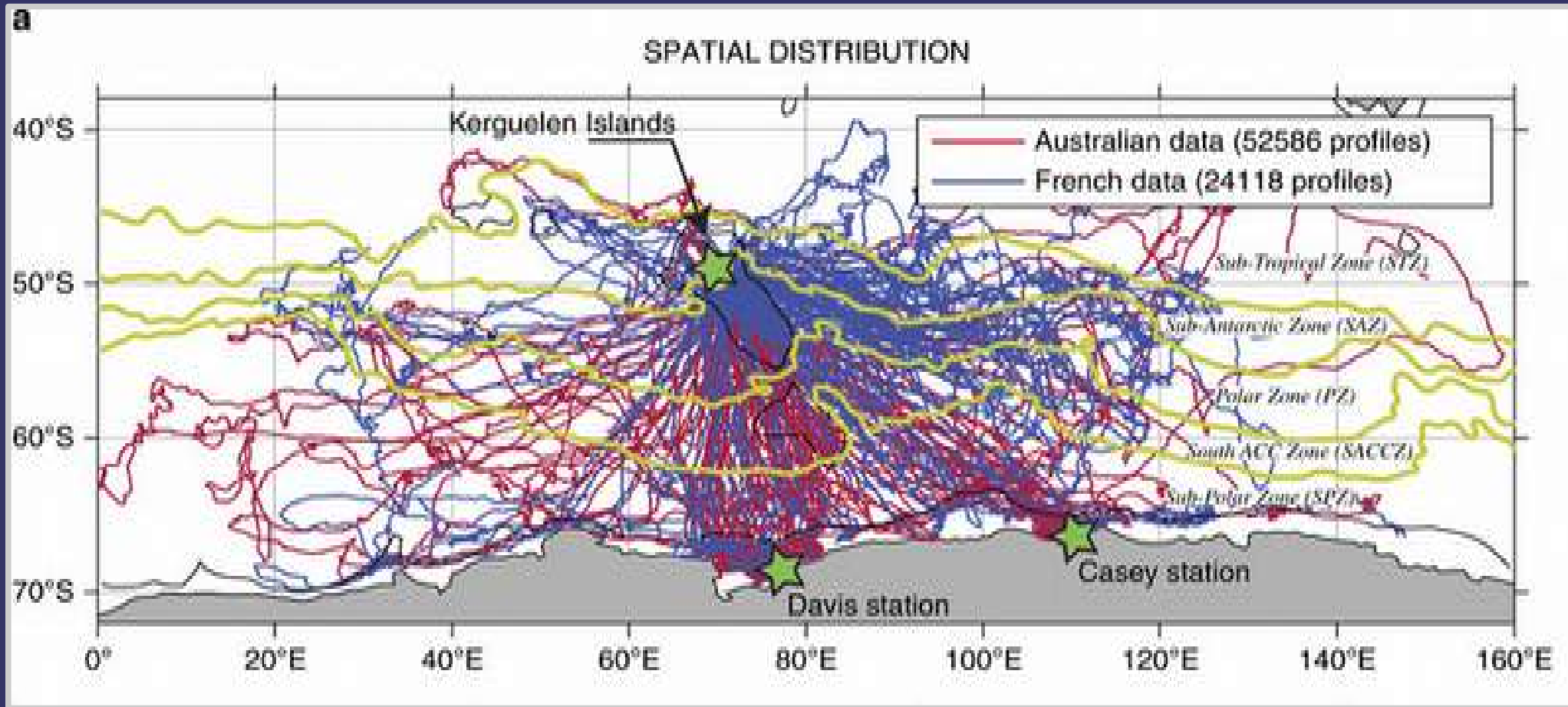
Les Planeurs sous-marins autonomes - Gliders



Les animaux équipés

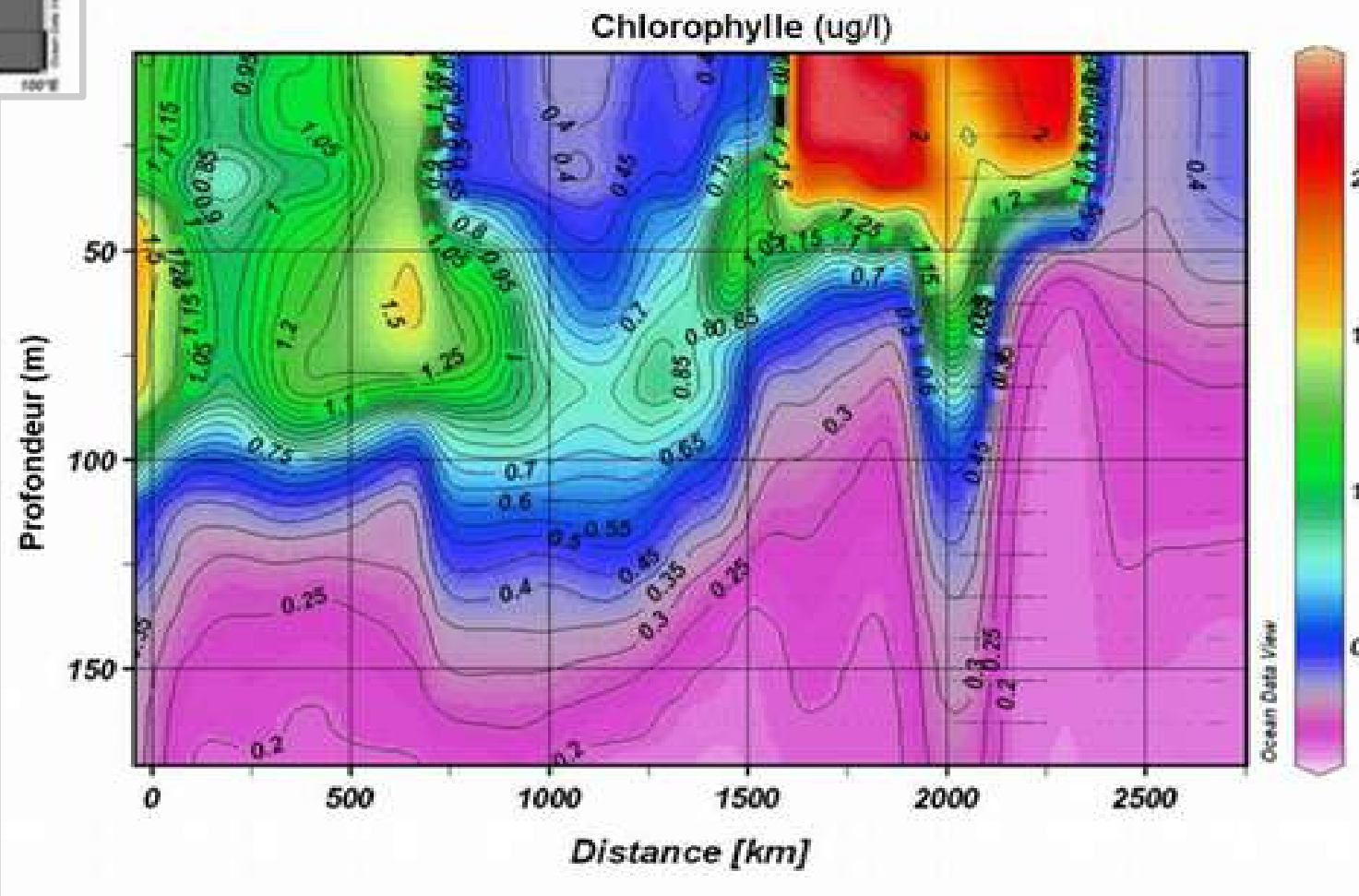
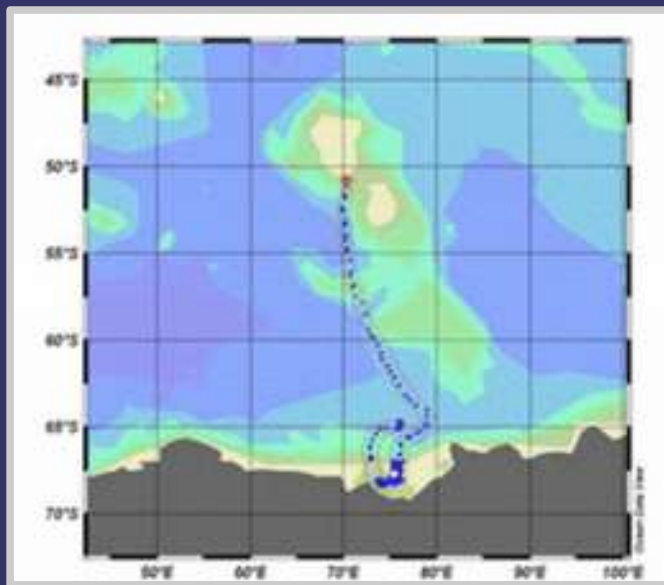


Les animaux équipés



A Southern Indian Ocean database of hydrographic profiles obtained with instrumented elephant seals. Fabien Roquet et al.
www.nature.com/scientificdata

Les animaux équipés

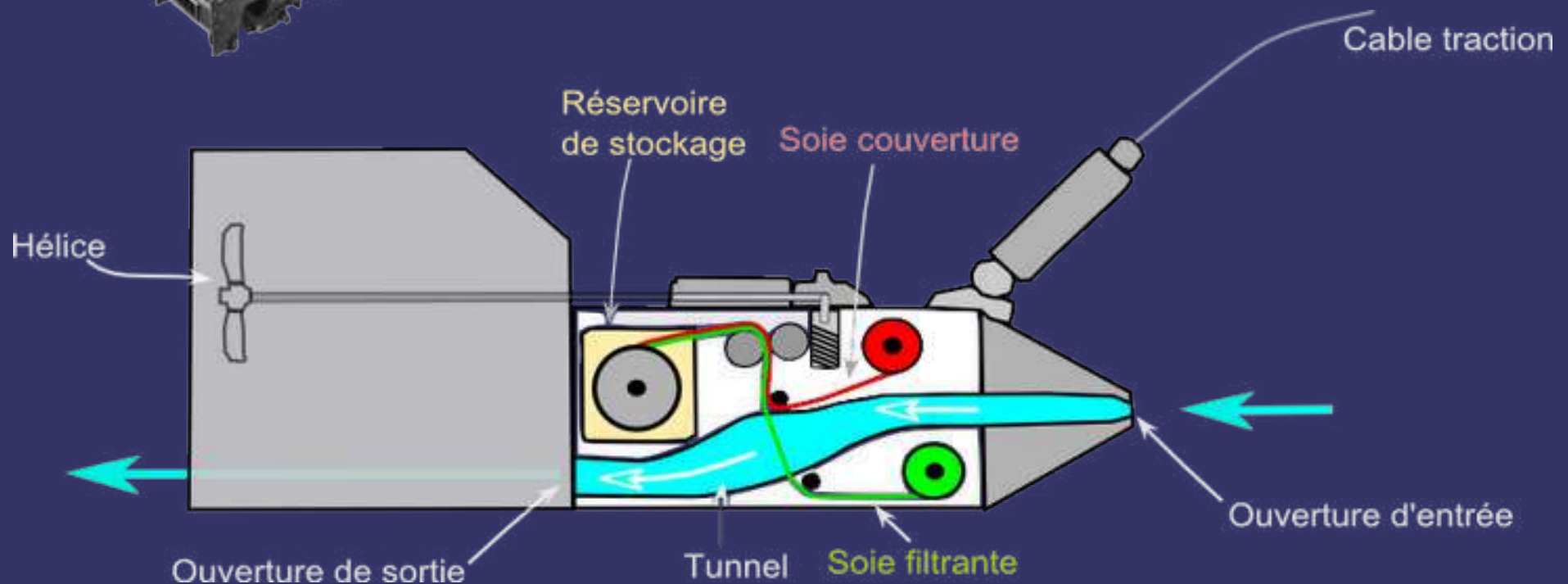


Guinet C. et al. (2013). Calibration procedures and first dataset of Southern Ocean chlorophyll a profiles collected by elephant seals equipped with a newly developed CTD-fluorescence tags. *Earth System Science Data*, 5(1), 15-29.

Le CPR « Continuous Plankton Recorder » et la « Sir Alister Hardy Foundation for Ocean Science » [SAHFOS]

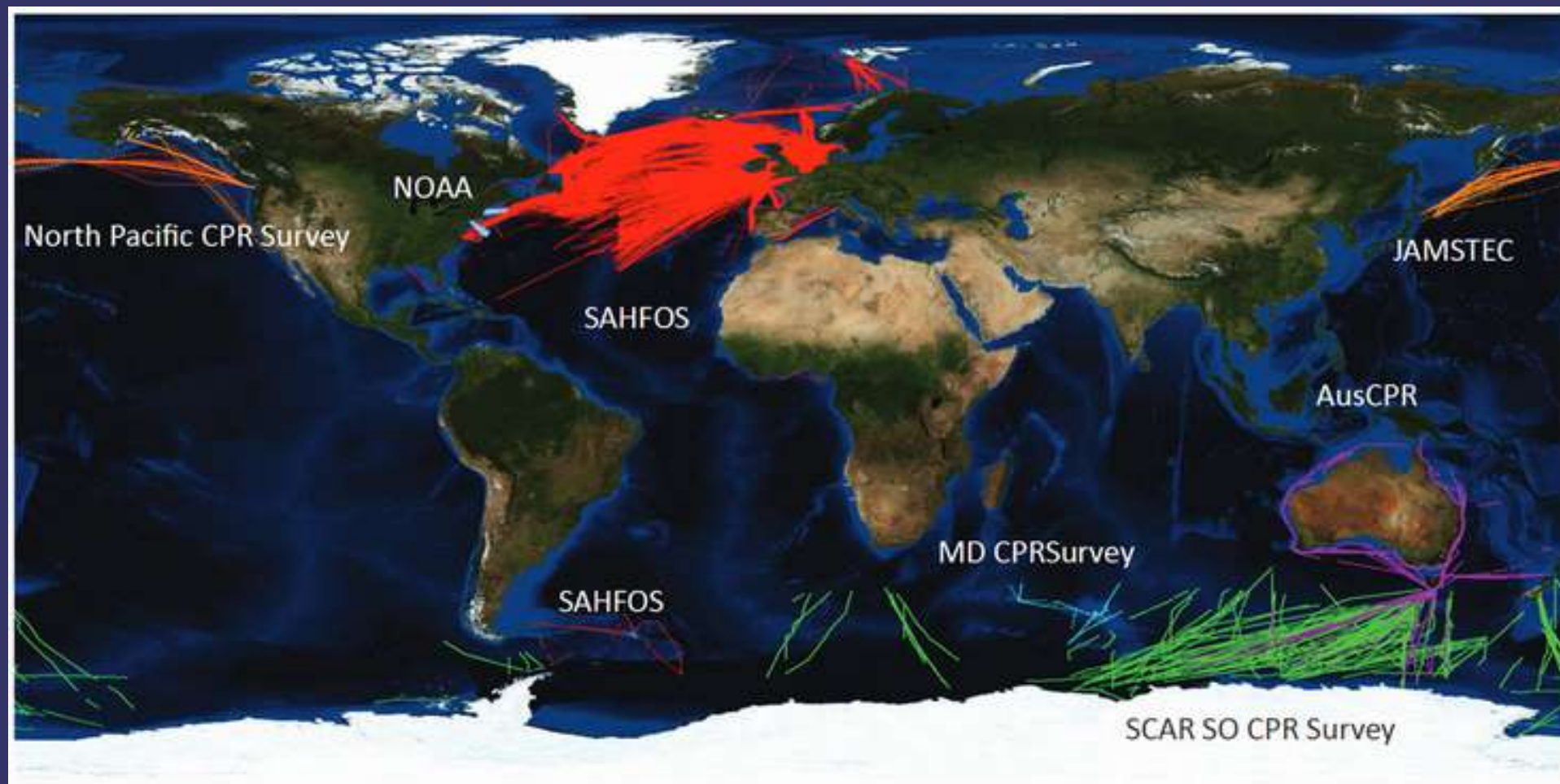


Sir Alister Hardy (1896-1985) a inventé le CPR.
Le déploiement des CPRs se développe à partir
des années 50 sur des bateaux commerciaux.
C'est la base du travail du SAPHOS.



CPR « Continuous Plankton Recorder »

Zones d'étude en 2016

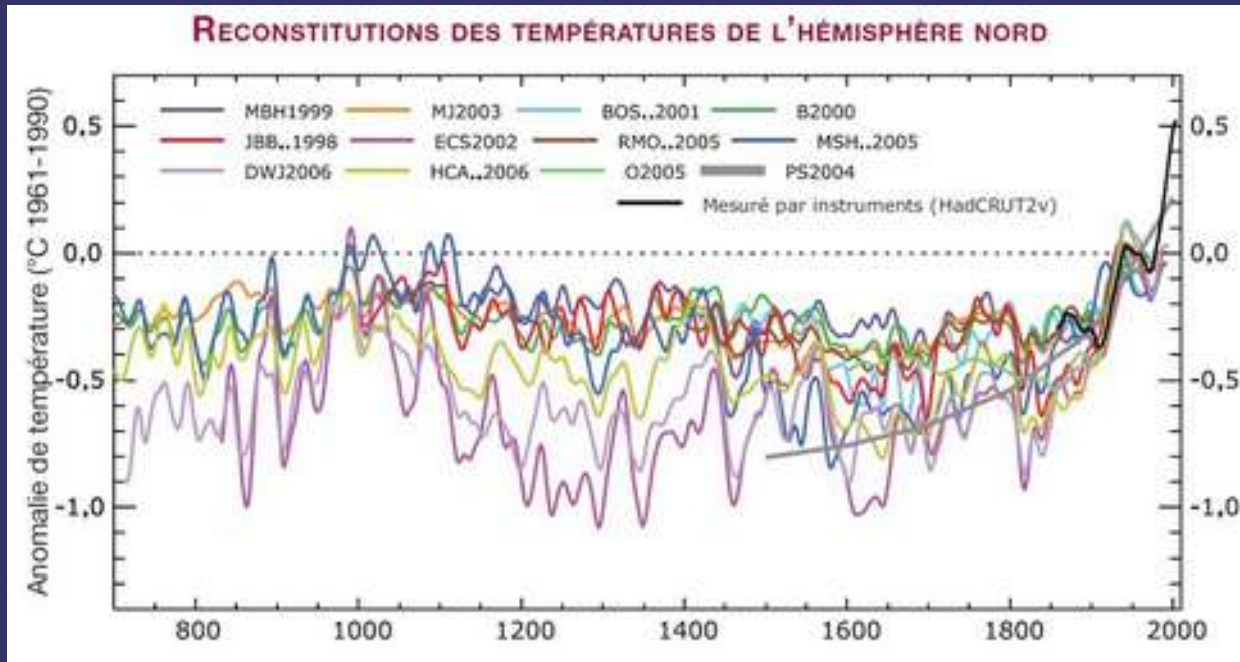




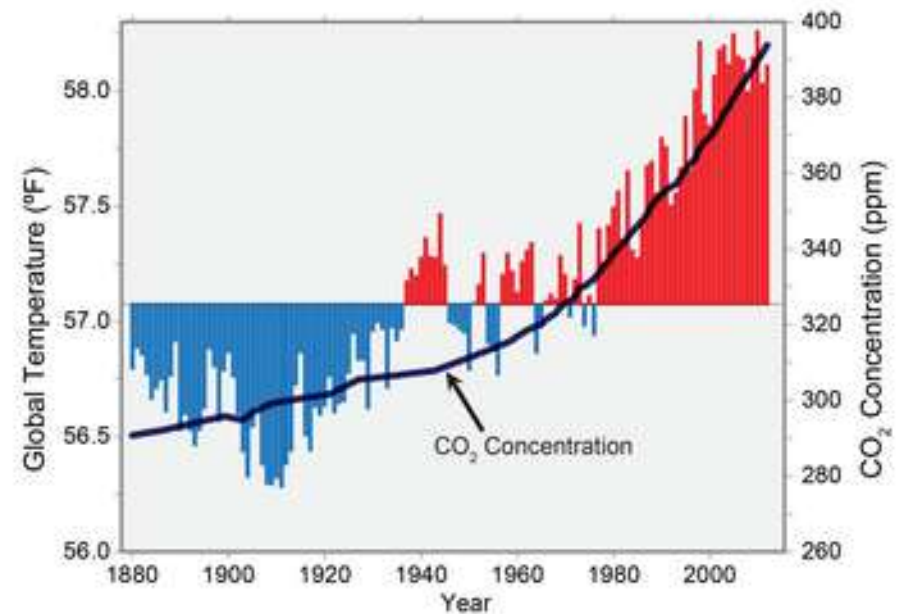
Histoire naturelle d'une vie à la dérive

**Plancton et changements
climatiques**

Evolution de la température



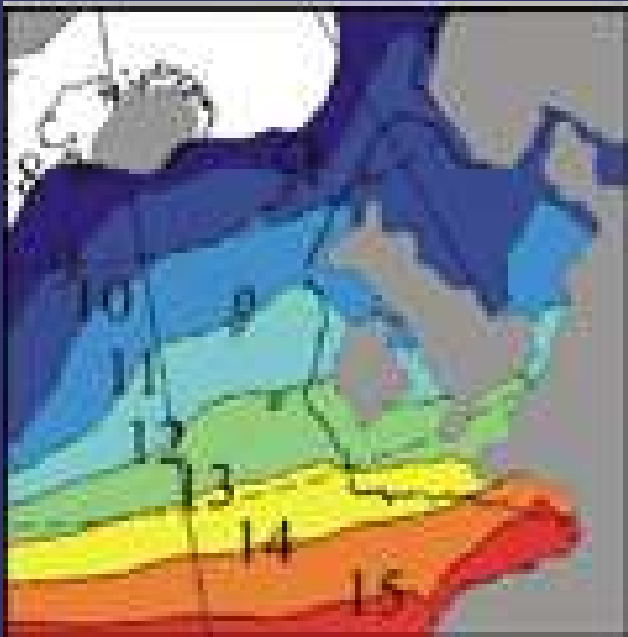
Global Temperature and Carbon Dioxide



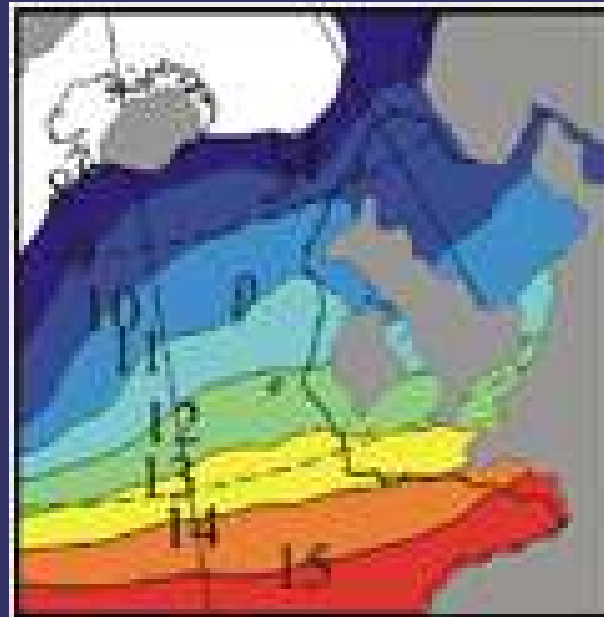
Evolution de la température moyenne de surface

Atlantique nord-est

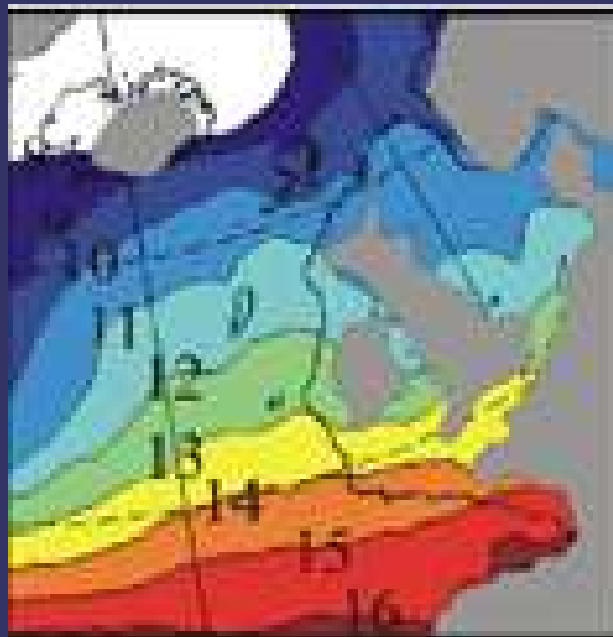
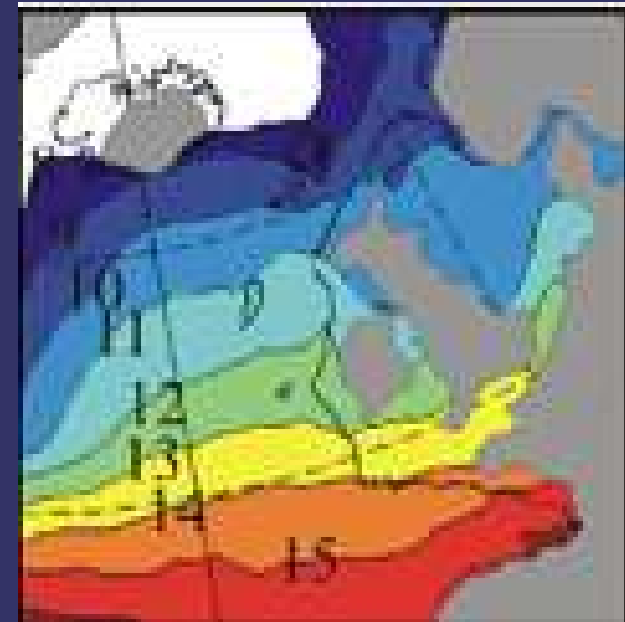
1960-1981



1982-1999



2000-2002



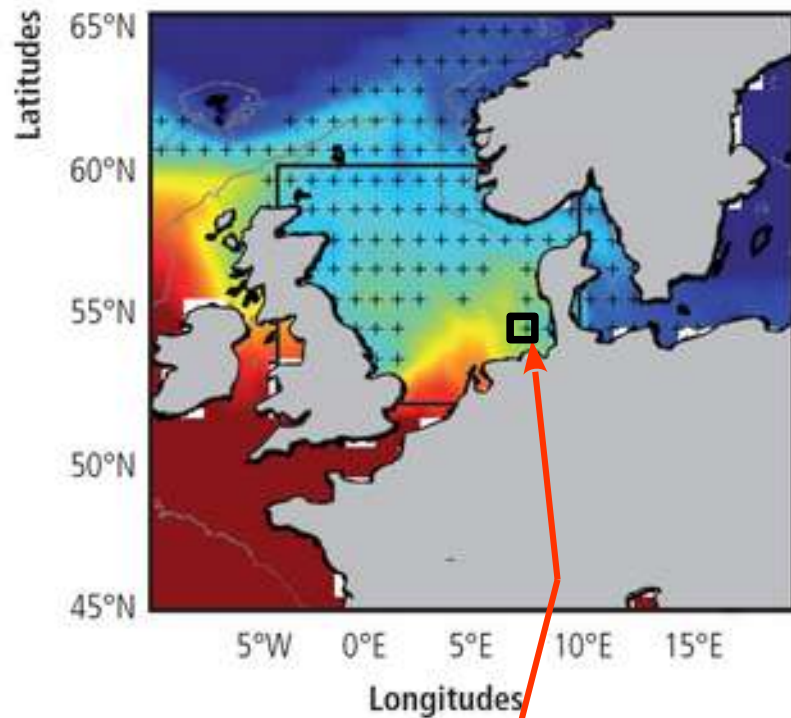
2003-2005



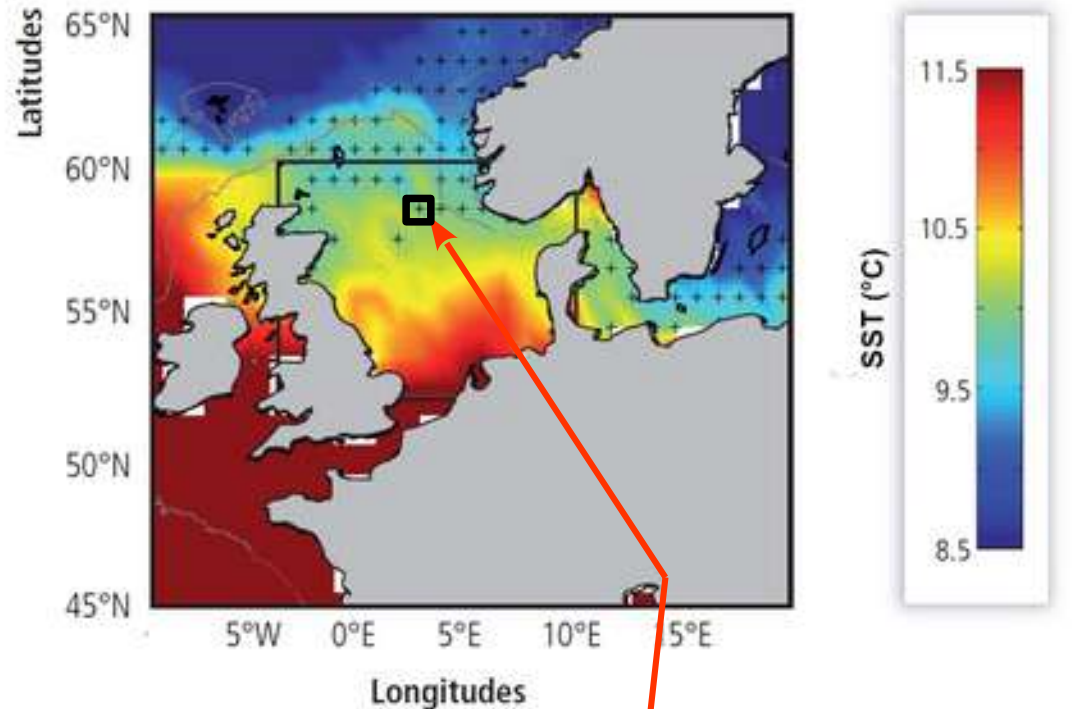
Evolution de la température de surface zoom sur la mer du nord

1960-1981

1988-2005



72.15 % des cellules ont une température entre 9 et 10 °C



20.25 % des cellules ont une température entre 9 et 10 °C



Assemblages d'espèces de copépodes, Atlantique nord-est



Espèces tempérées chaudes océaniques :

Euchaeta acuta, *Undeuchaeta plumosa*, *Euchirella rostrata*, *Neocalanus gracilis*, *Clausocalanus* spp., *Nannocalanus minor*, *Pleuromamma borealis*, *P. gracilis*, *P. abdominalis*, *P. xiphias*, *P. piseki*, *Calocalanus* spp., *Mesocalanus tenuicornis*, *Heterorhabdus papilliger*, *Centropages bradyi*, *Mecynocera clausi*

Espèces tempérées pseudo-océaniques :

Rhincalanus nasutus, *Eucalanus crassus*, *Centropages typicus*, *Candacia armata*, *Calanus helgolandicus*

Espèces tempérées froides

Aetideus armatus, *Pleuromamma robusta*, *Acartia* spp., *Metridia lucens*

Espèces sub-arctiques :

Heterorhabdus norvegicus, *Scolecithricella* spp., *Euchaeta norvegica*, *Calanus finmarchicus*

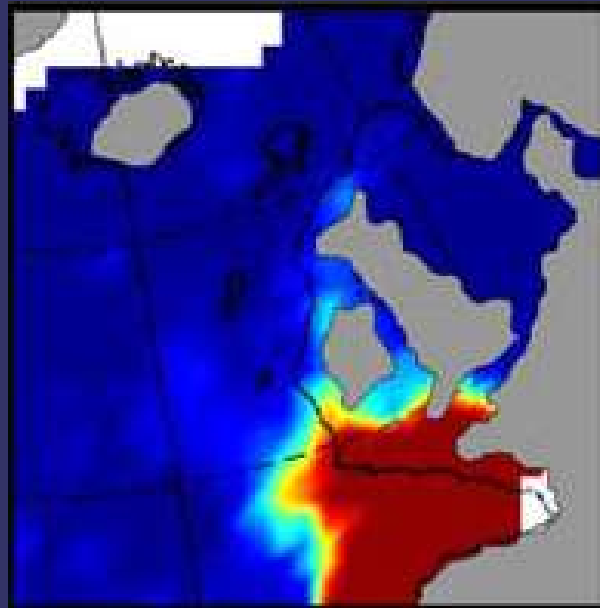
Espèces arctiques :

Calanus hyperboreus, *Metridia longa*, *Calanus glacialis*

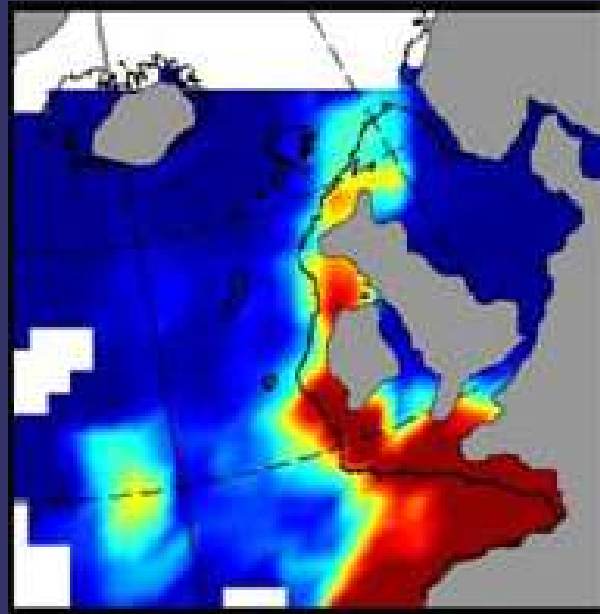


Espèces tempérées chaudes océaniques

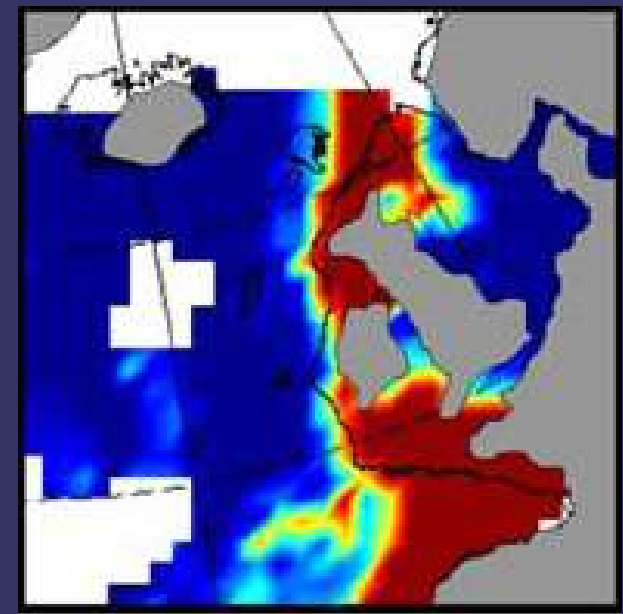
1958-1981



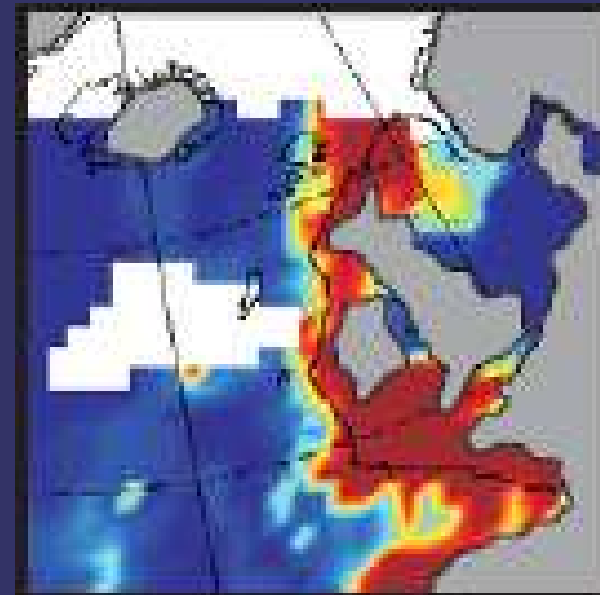
1982-1999



2000-2002



2003-2005



0.00 0.02 0.04 0.06 0.08 0.10
Mean number of species
per CPR sample

Espèces pseudo-océaniques tempérées

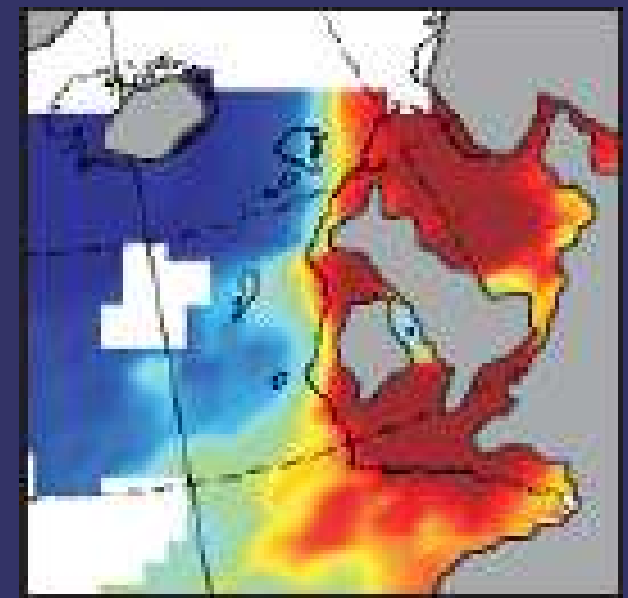
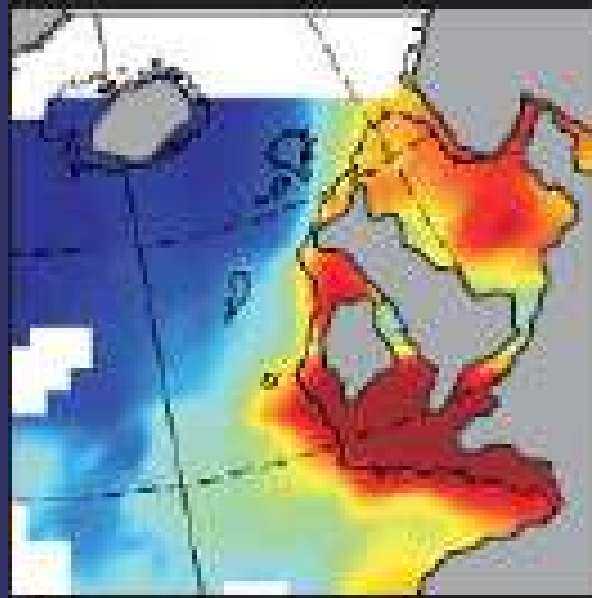
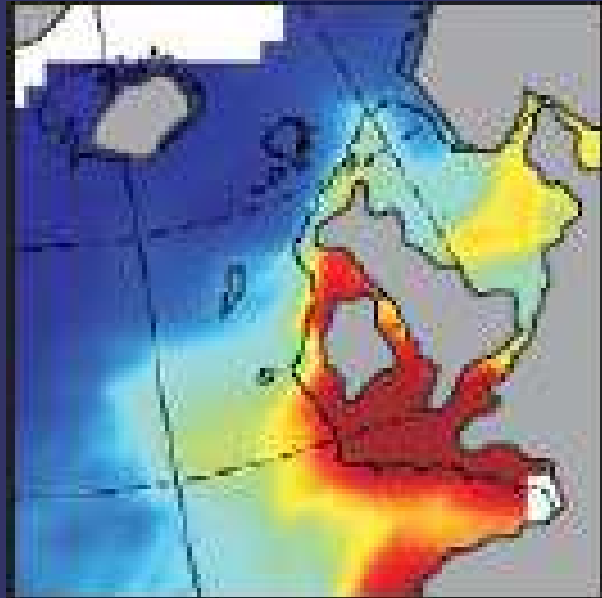
1958-1981

1982-1999

2000-2002

60°N

50°N

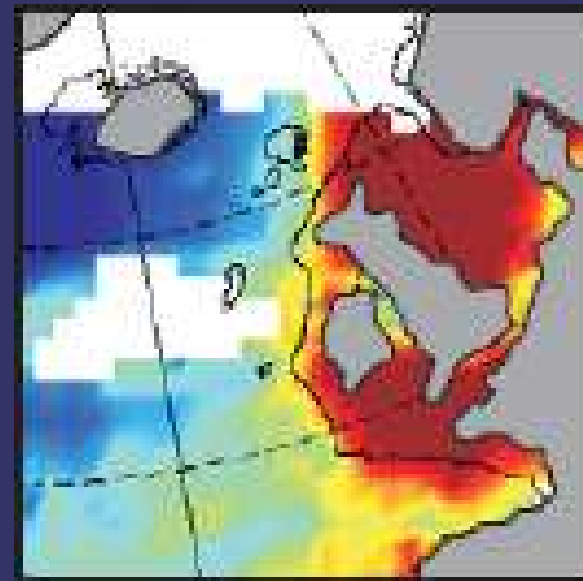


0.00 0.02 0.04 0.06 0.08 0.10
Mean number of species
per CPR sample

Calanus helgolandicus

60°N

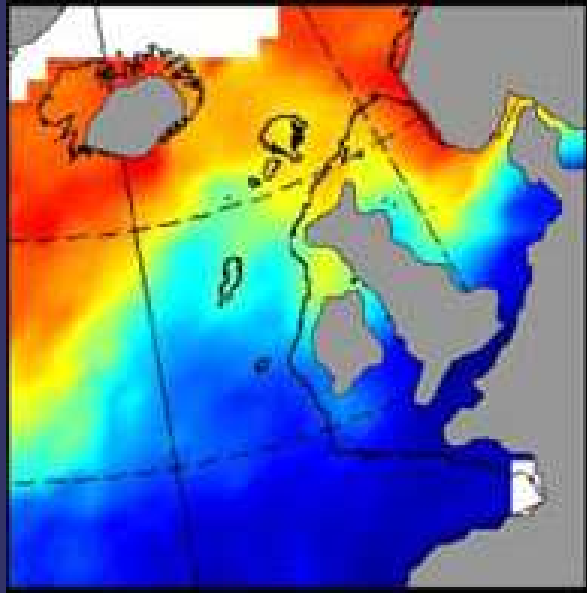
50°N



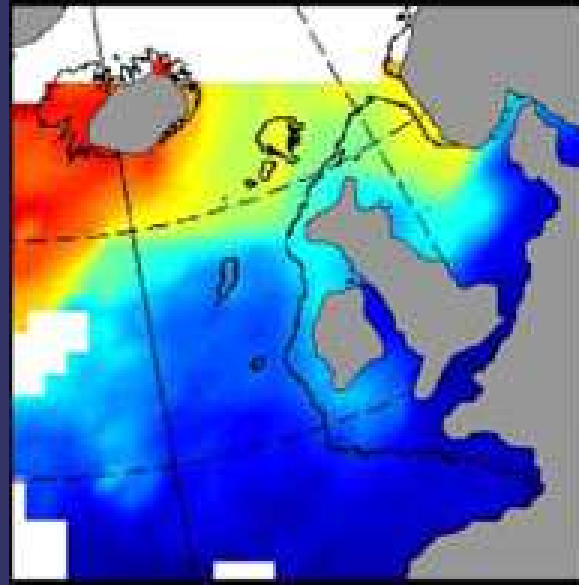
2003-2005

Espèces subarctiques

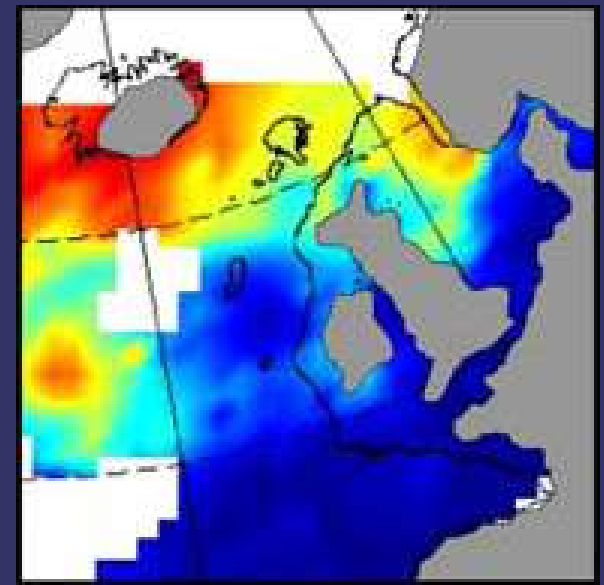
1958-1981



1982-1999



2000-2002



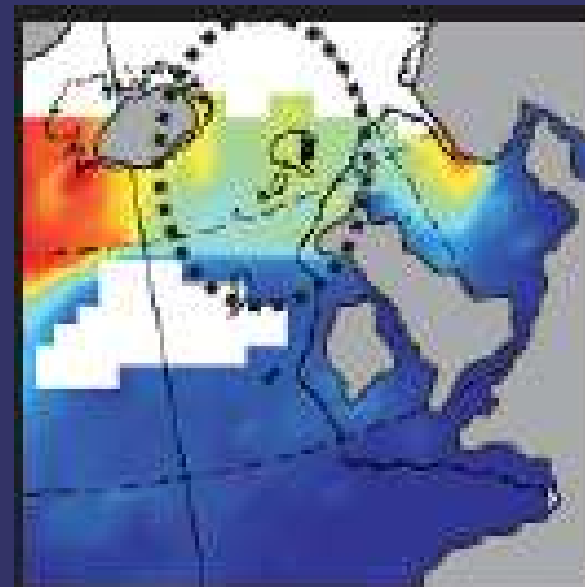
0.00 0.02 0.04 0.06 0.08 0.10
Mean number of species
per CPR sample

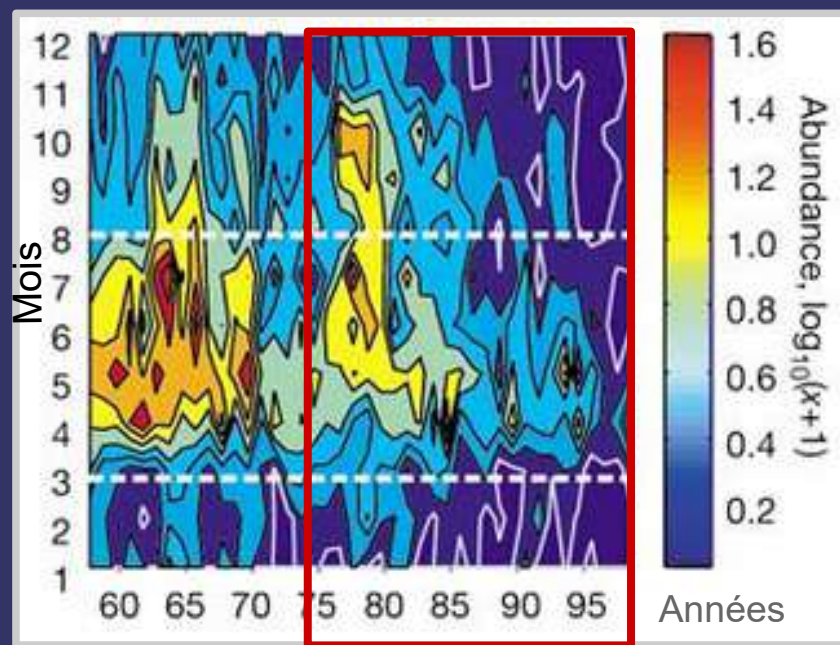
Calanus finmarchicus

2003-2005

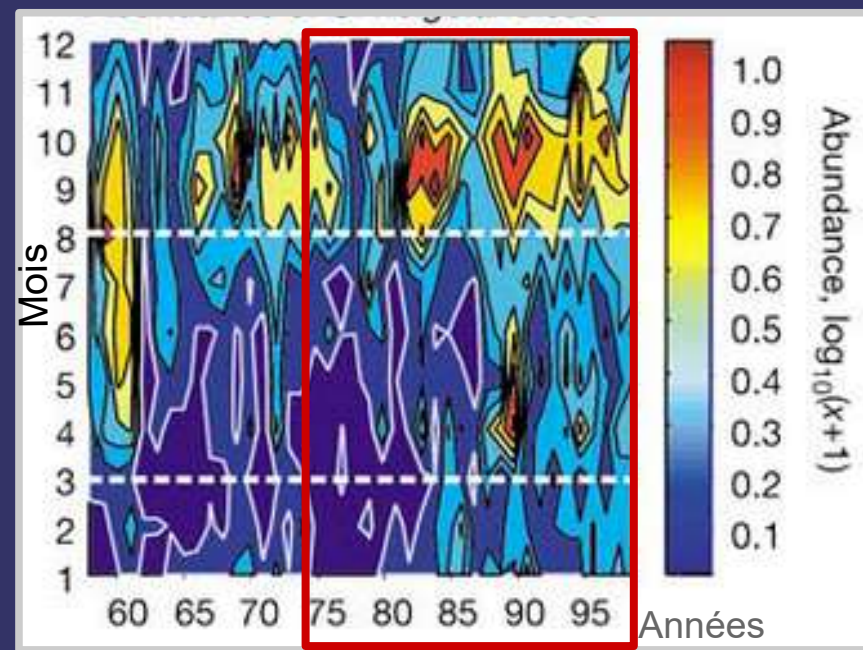
60°N

50°N



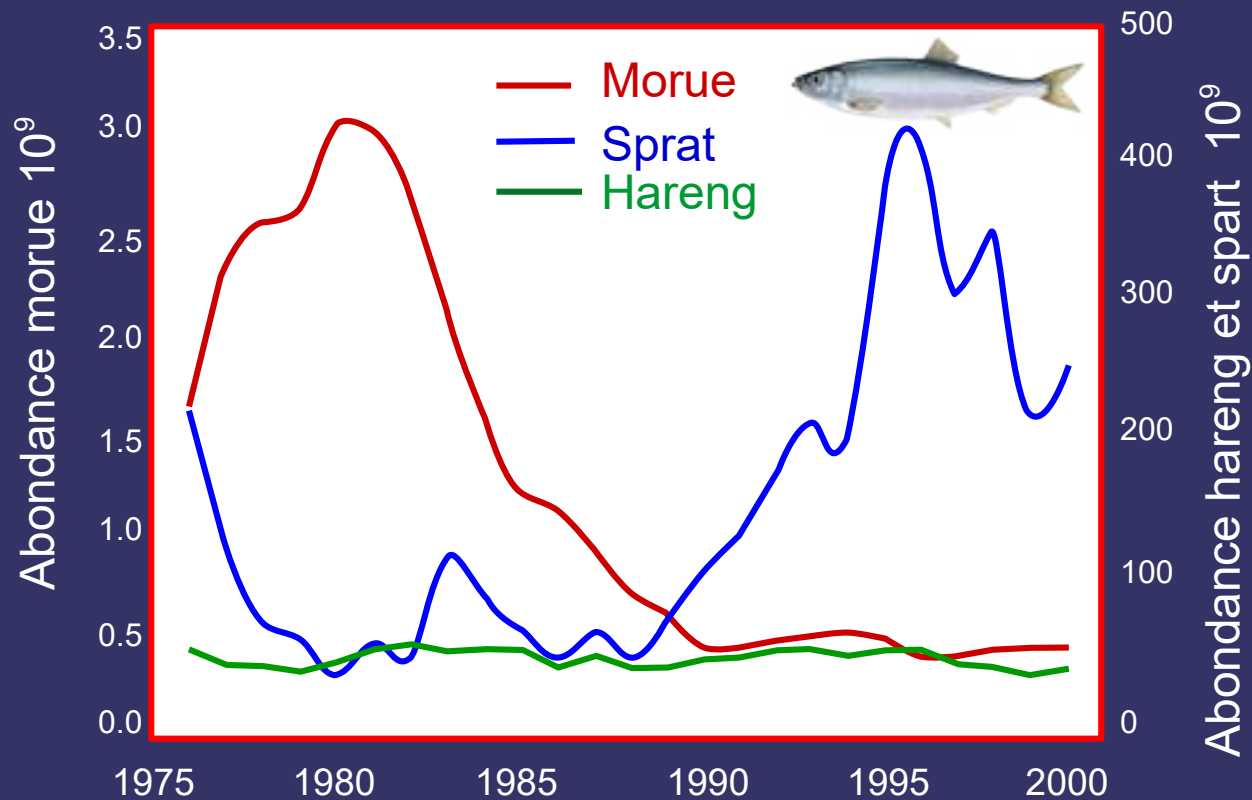


Abondance de *Calanus finmarchicus*



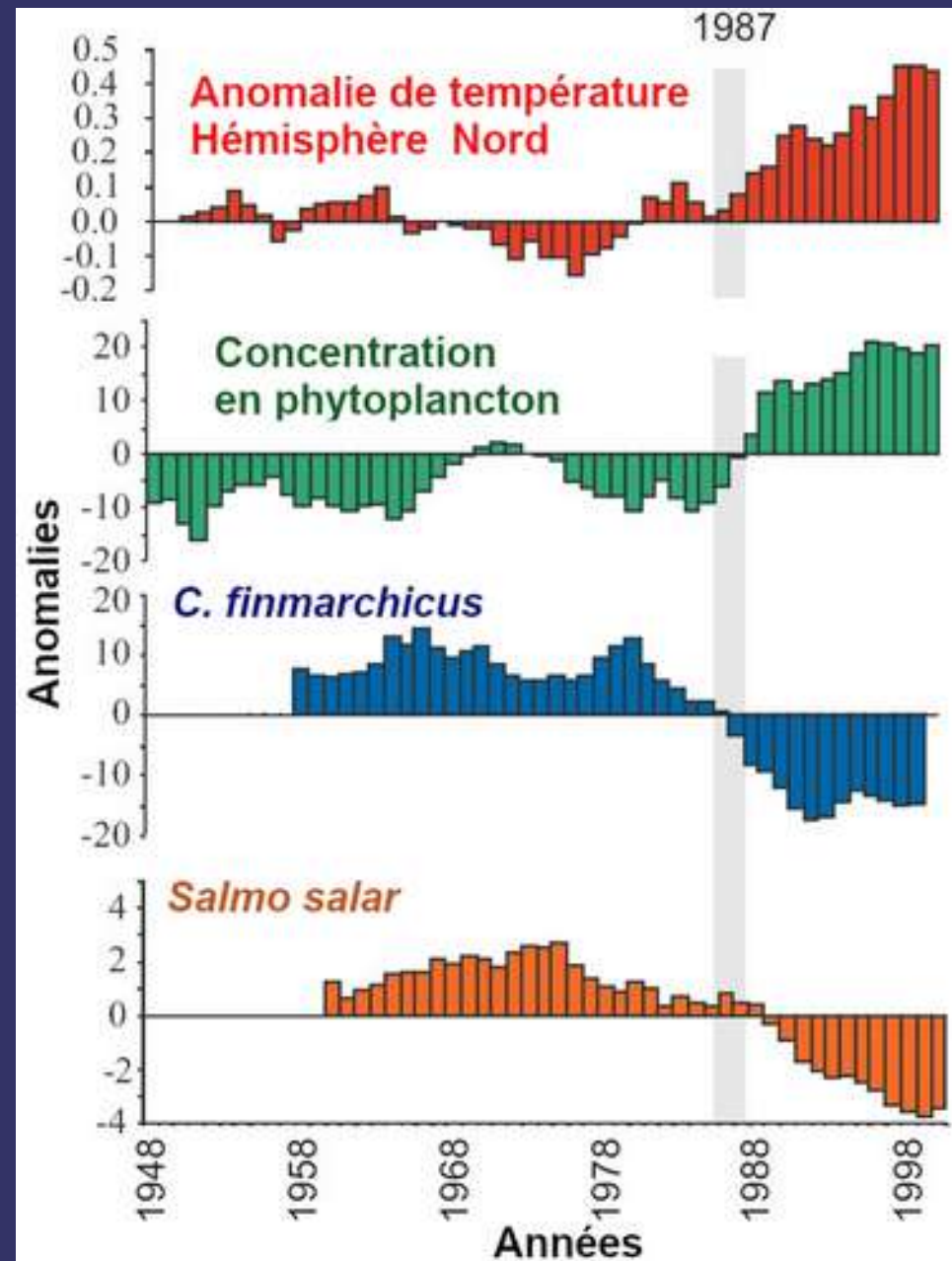
Abondance de *Calanus helgolandicus*

en Mer du Nord



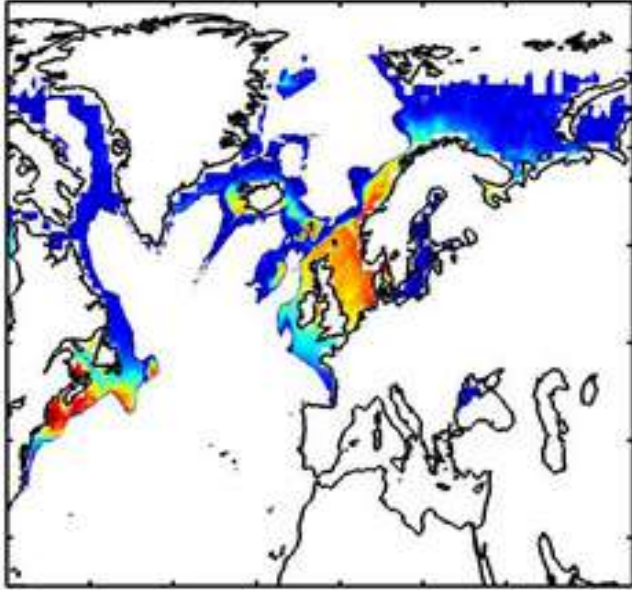
Changements à long-terme dans l'Hémisphère nord

Anomalies de la concentration en phytoplancton, des abondances d'un copépode subarctique et du saumon dans une zone autour des îles britanniques.

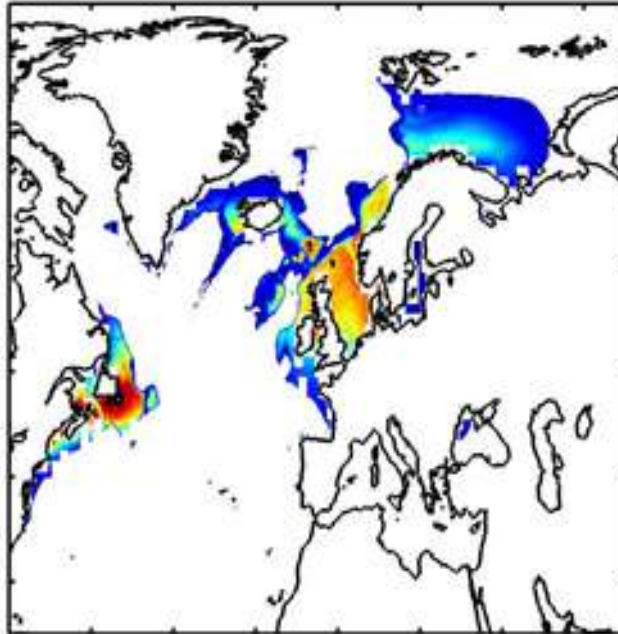


Projection de la distribution spatiale du hareng (scénario B2)

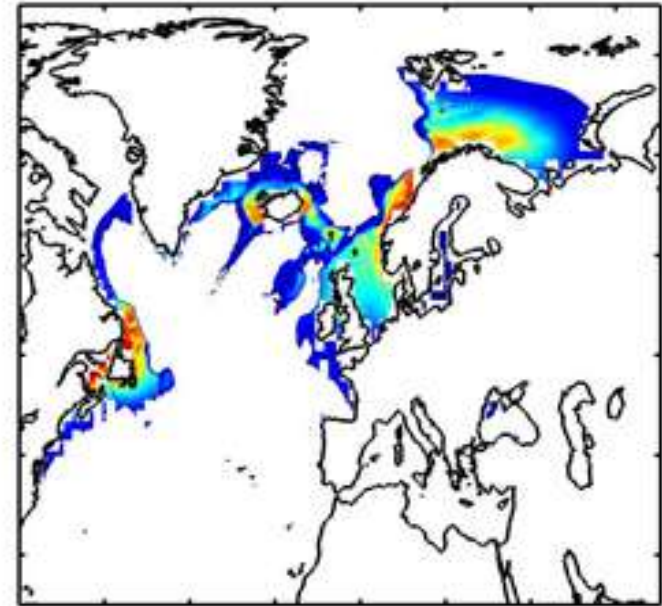
1960-1969



2010-2019

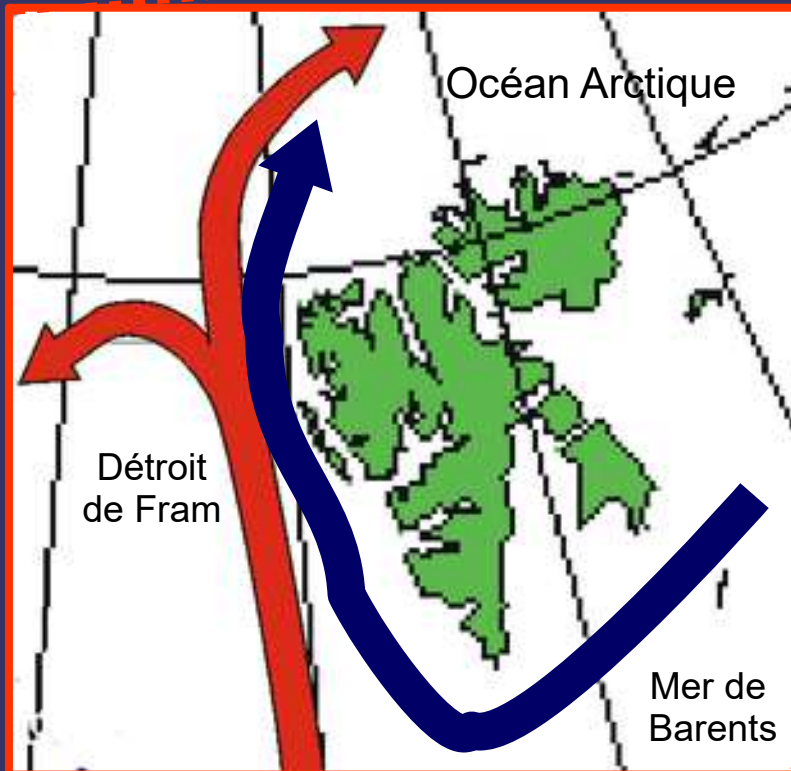


2090-2099

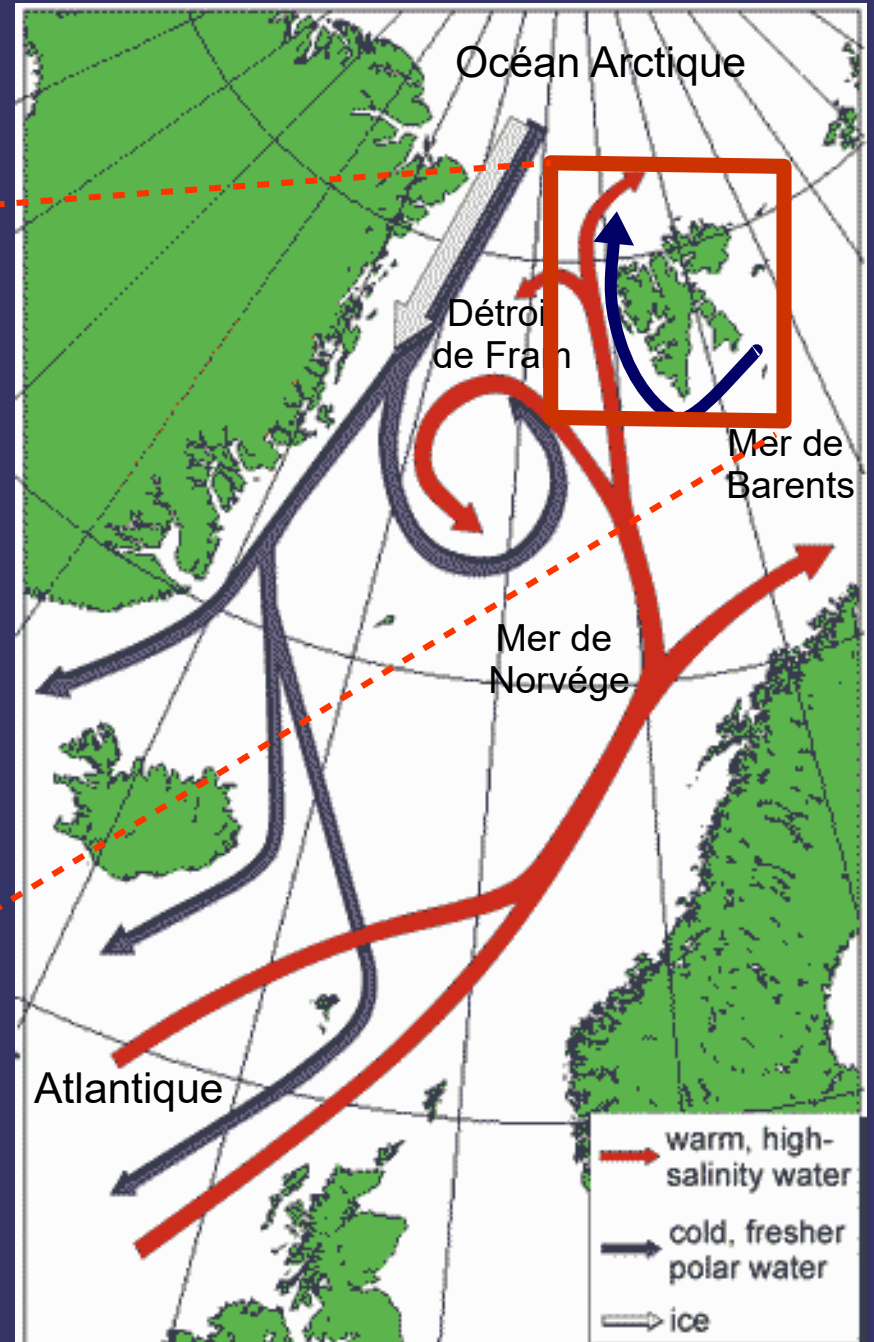


Source: Beaugrand & Lenoir (2008), modèle NPPEN - ECHAM 4, Scénario B2

ET PLUS AU NORD !!!



**Archipel du svalbard
(Spitzberg)**



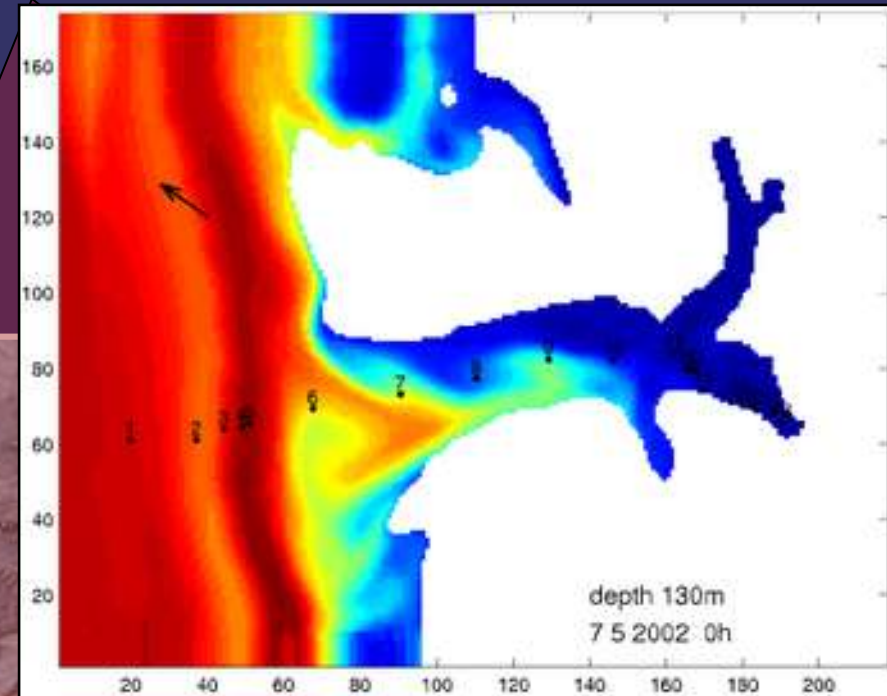
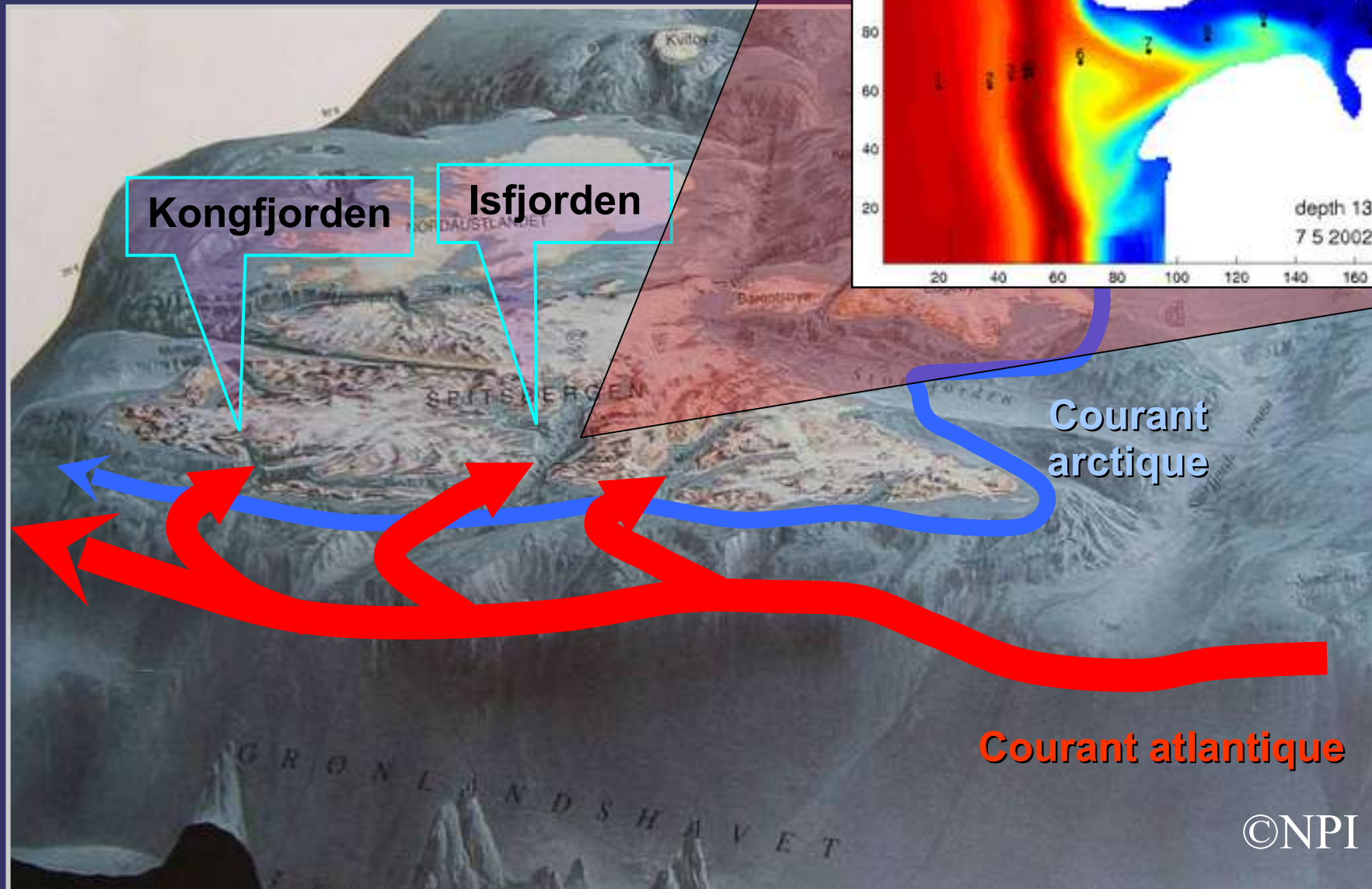
From F. Cottier



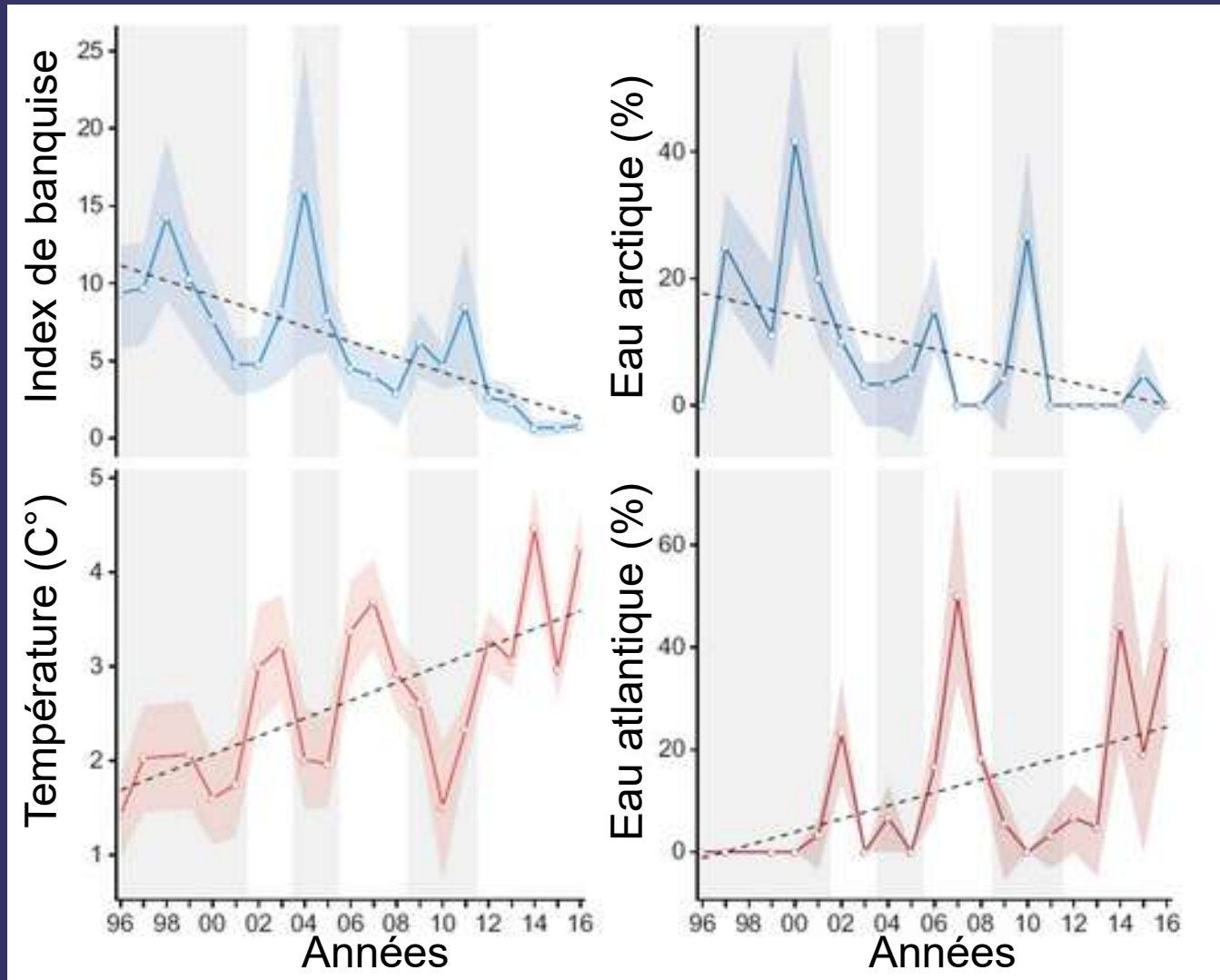
Côte Ouest du Svalbard



Côte ouest du Svalbard



Evolution de l'hydroclimat du fjord Kongsfjorden



Zooplankton in Kongsfjorden (1996–2016) in Relation to Climate Change.
Hop H. et al., Advances in Polar Ecology, 2019

Espèces planctoniques arctiques et espèces subarctiques



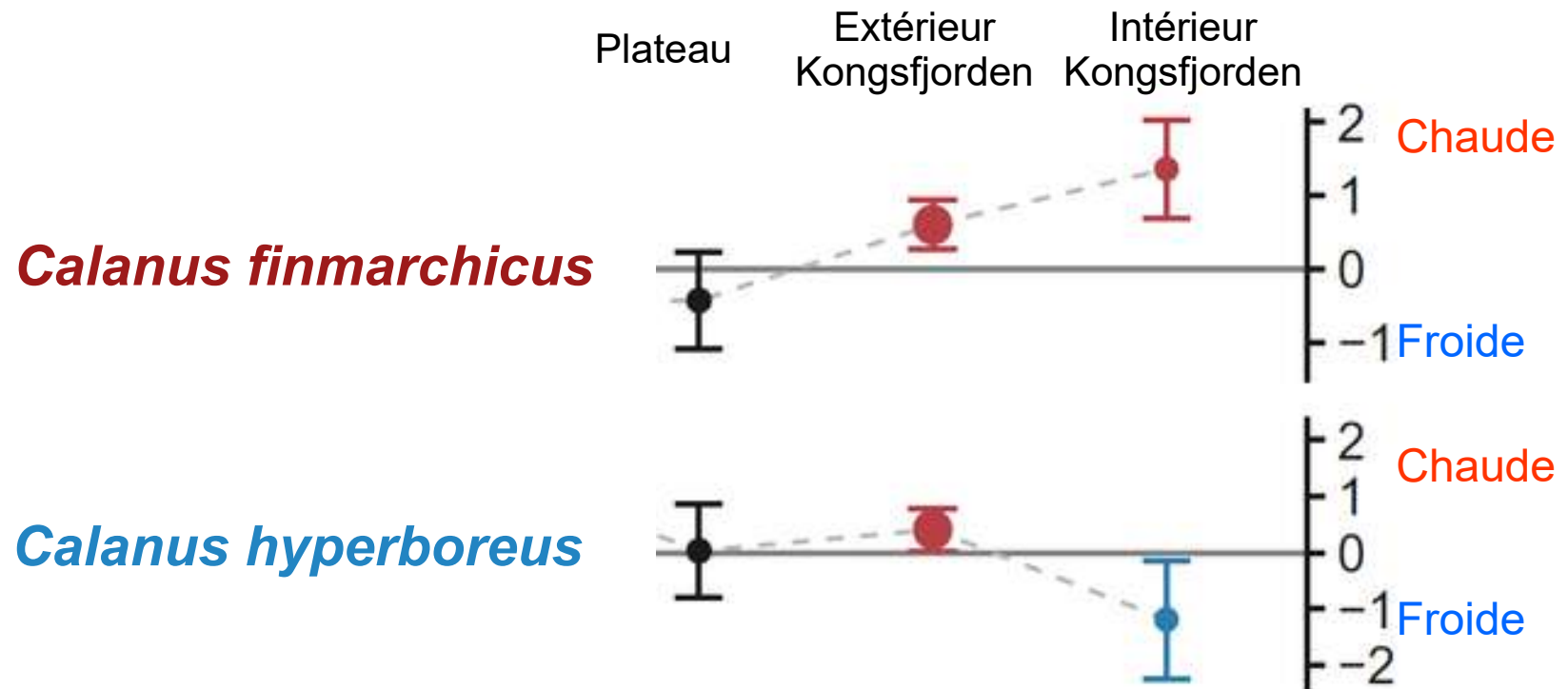
Une composition spécifique bien différente suivant l'environnement:

Système froid : riche en *Calanus hyperboreus* et *Calanus glacialis*

Système chaud : riche en *Calanus finmarchicus* et *Pseudocalanus spp*

- *C. glacialis* est 6 à 7 fois plus énergétique que *C. finmarchicus* et 15 fois plus que *Pseudocalanus spp* (à biomasse égale).
- *C. hyperboreus* est 13 fois plus énergétique que *C. finmarchicus* et 30 fois plus que *Pseudocalanus spp* (à biomasse égale)

Réponse des communautés zooplanctoniques en fonction des années froides ou chaudes.

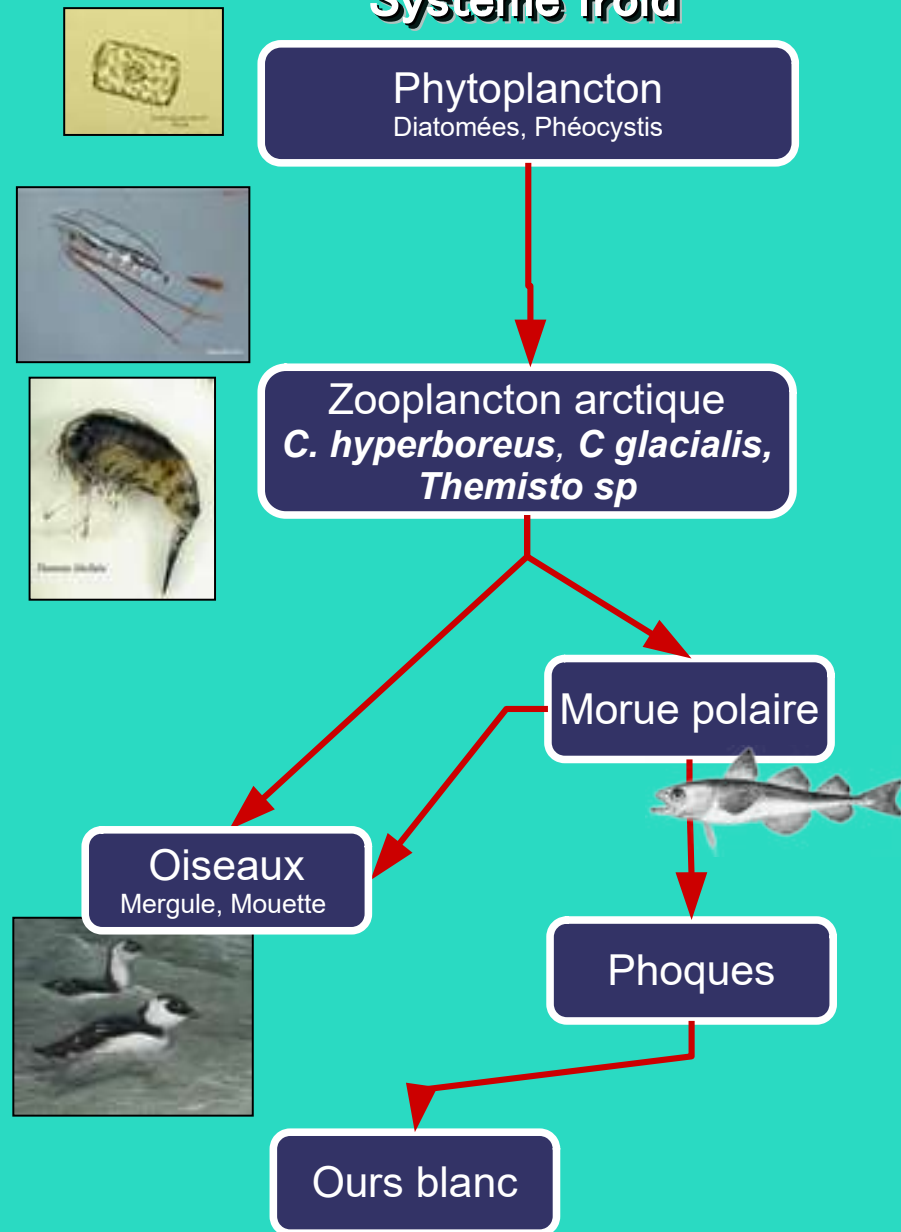


Zooplankton in Kongsfjorden (1996–2016) in Relation to Climate Change. H. Hop et al., Advances in Polar Ecology, 2019

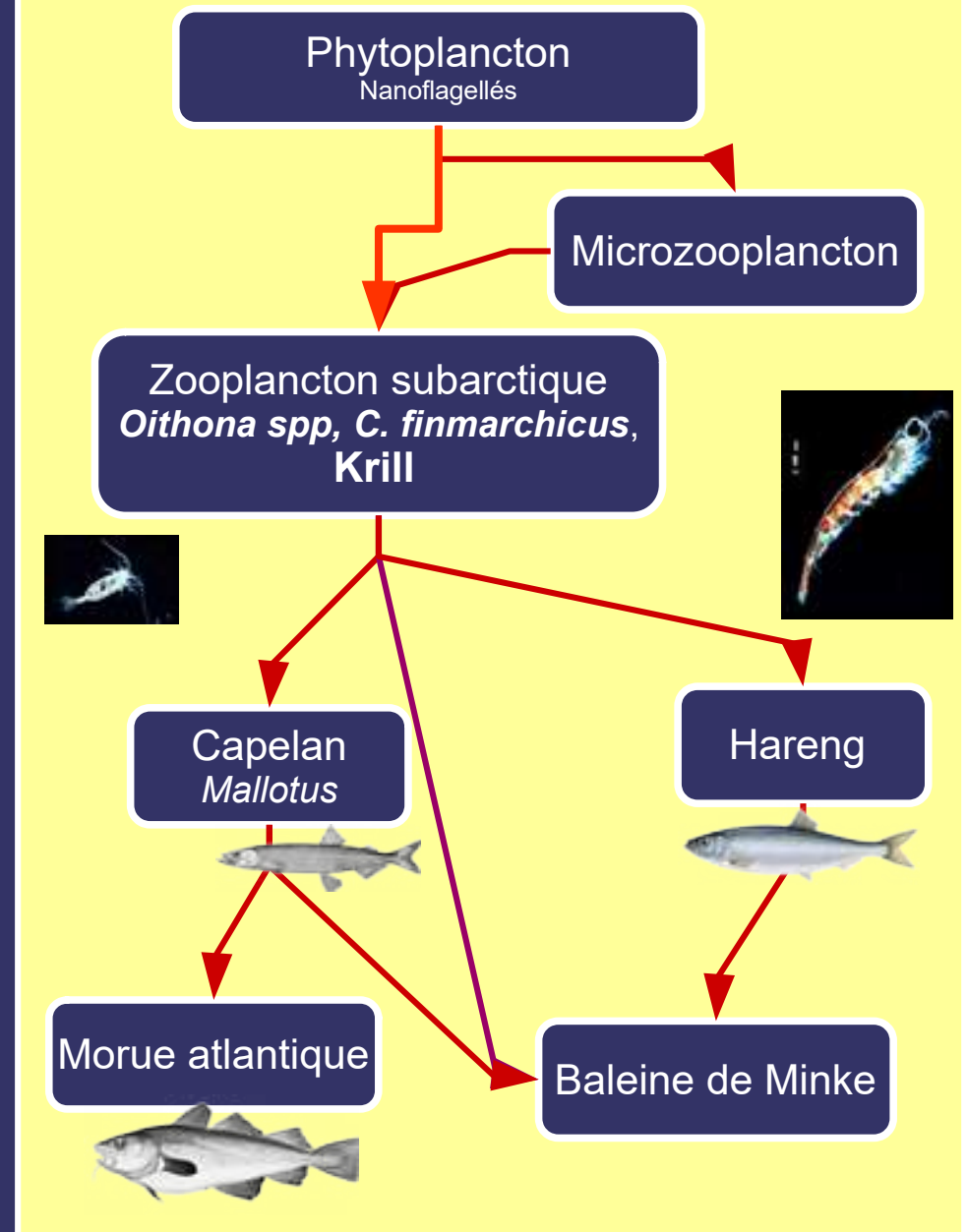
Index de réponse de la biomasse entre les années chaudes et froides.

Axes prédominants des réseaux alimentaires

Système froid



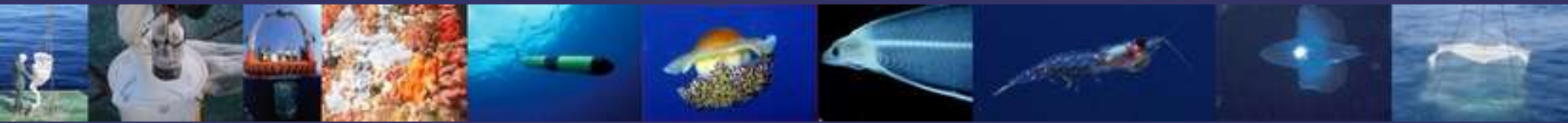
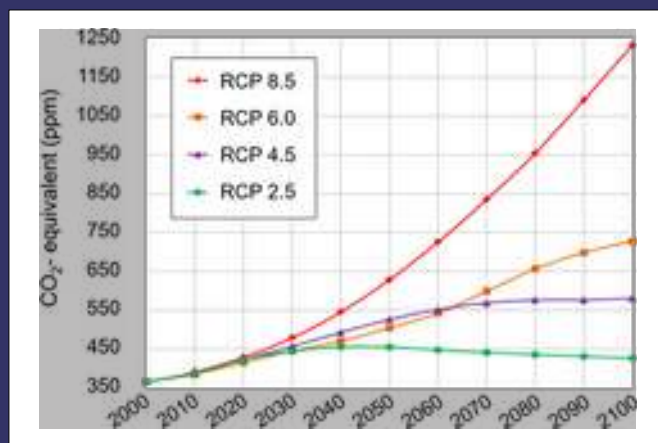
Système chaud





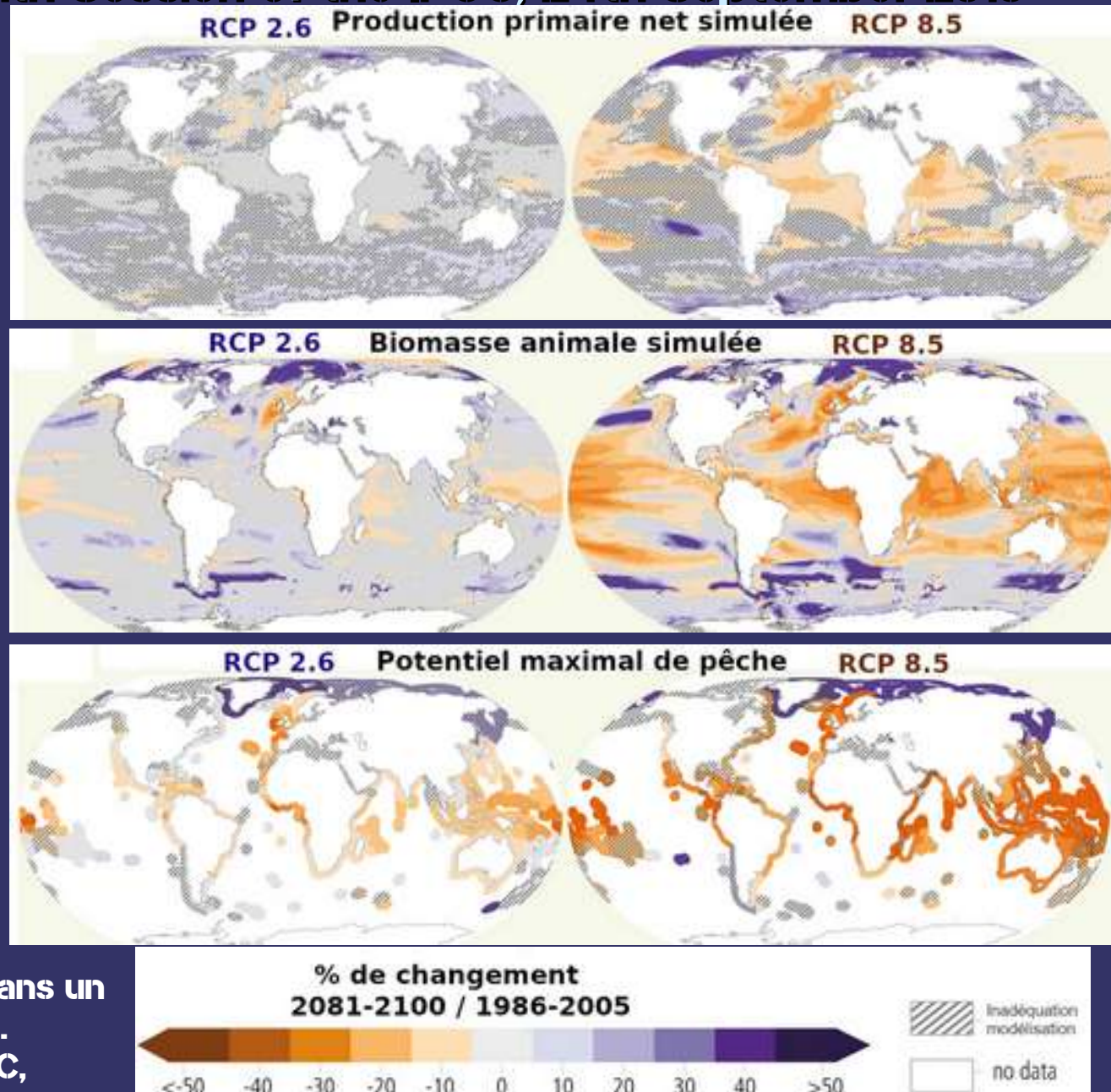
En conclusion

Des changements des écosystèmes océaniques sont en cours et vont se poursuivre dans les années à venir. Les évolutions des populations planctoniques en seront un des éléments-clés. L'importance et la rapidité de ces changements seront, pour l'essentiel, liées à l'intensité des influences anthropiques sur l'océan.



The Ocean and Cryosphere in a Changing Climate.

51th Session of the IPCC, 24th September 2019



Océan et Cryosphère dans un
climat qui change.
51e Session du GIEC,
24 Septembre 2019

Merci de votre attention

Gyre Benguela Chlorophylle Océan Zone aphotique Température Couleur
Argo Sels nutritifs Oscillation Humboldt
Jason Microzooplancton Glider Salinité
Bloom Production régénérée Anomalie
Upwelling Calanus helgolandicus Prédation
Photosynthèse **Plancton** Anchois
Profileur Calanus finmarchicus Histoire
Filet Boucle microbienne Convection
Eutrophe Masse volumique Thermocline
Broutage Stratification Oligotrophe Pression
CPR Pélagique Profondeur de compensation phytoplancton

Tout ce dont j'aurai pu (du ?) parler

Circulation à mésoéchelle et sub - mésoéchelle.

La couche de mélange.

La circulation thermohaline

La théorie des ergoclyne.

Les migrations verticales du zooplancton.

Les zones mésopélagiques.

Les virus.

Les zones HNLC.

Les ondes de Kelvin et de Rossby.

Les variabilités pluriannuelles, multidécennales, multiséculaire de l'Océan.

...