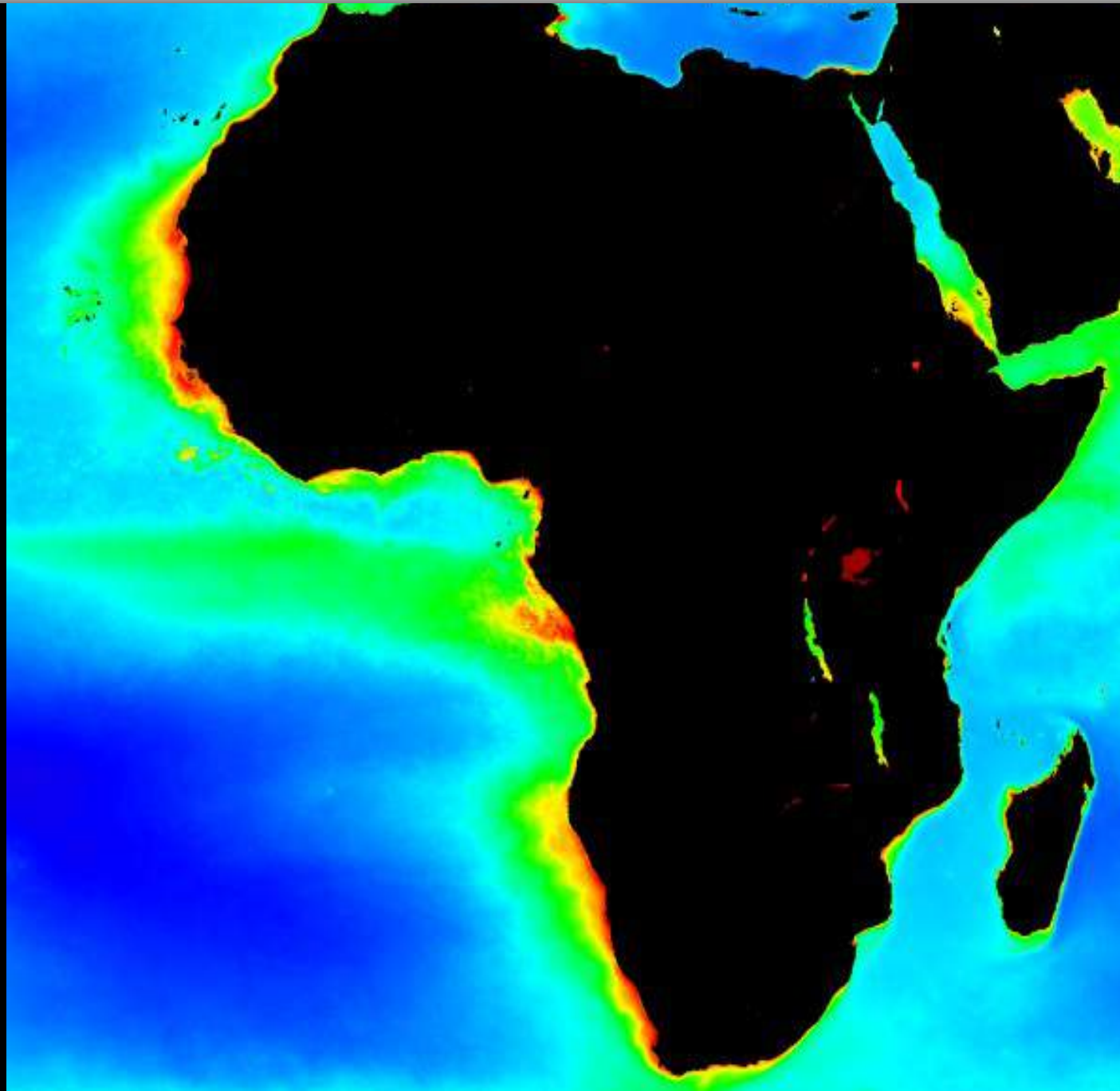




*Écosystème marin
ouest africain:
Une pompe naturelle
à fertiliser
les océans*

*Pr. Aissa Benazzouz
Océanographie spatiale
Géomatique marine
Benazzouz.metlisem@gmail.com*

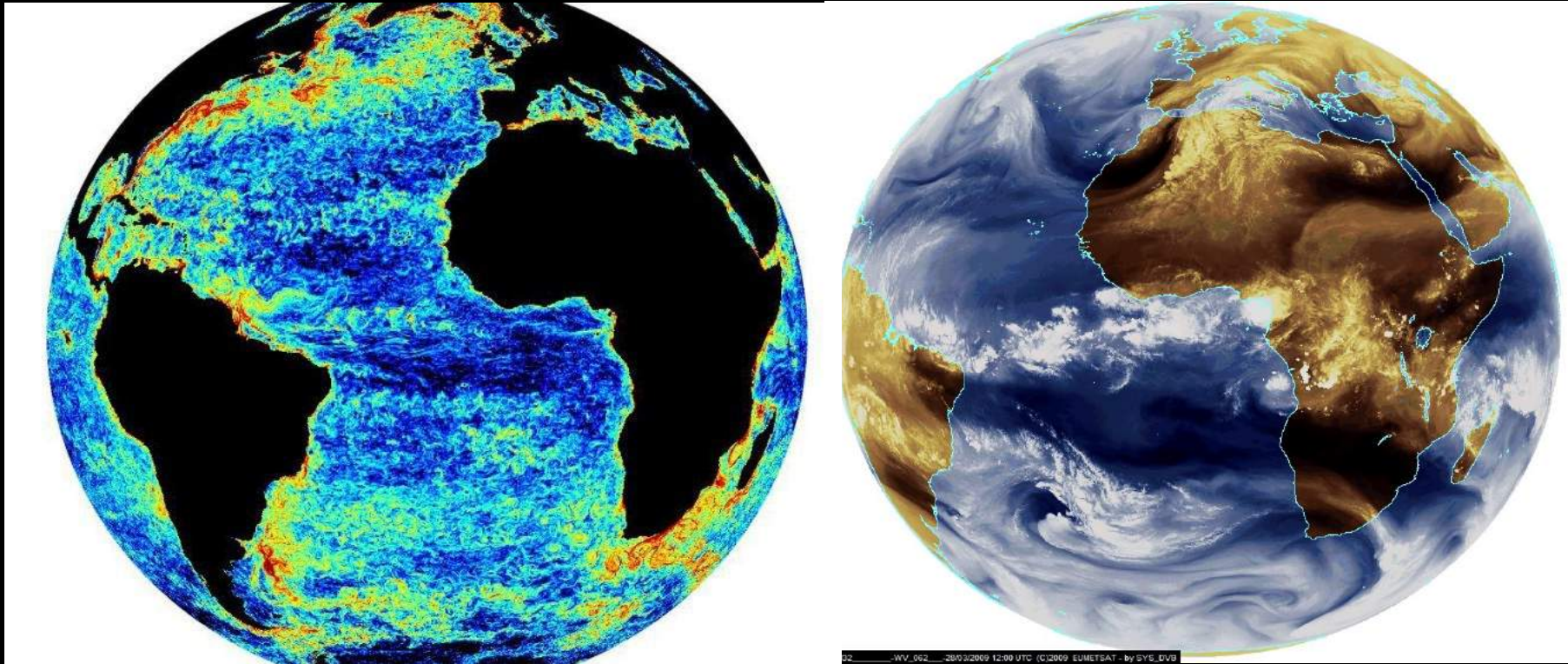
L'Afrique de l'Ouest arrive sur le marché des produits aquacoles à un moment opportun et ce d'autant qu'elle dispose de plusieurs sites offrant des conditions naturelles particulièrement favorables (estuaires, lagunes, plans d'eau).



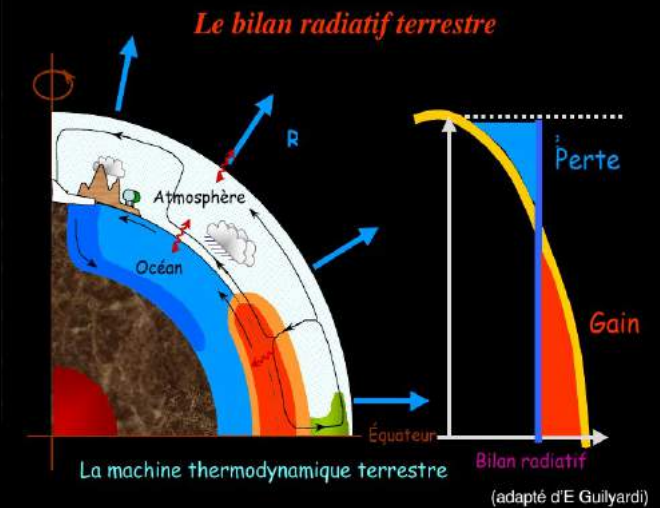
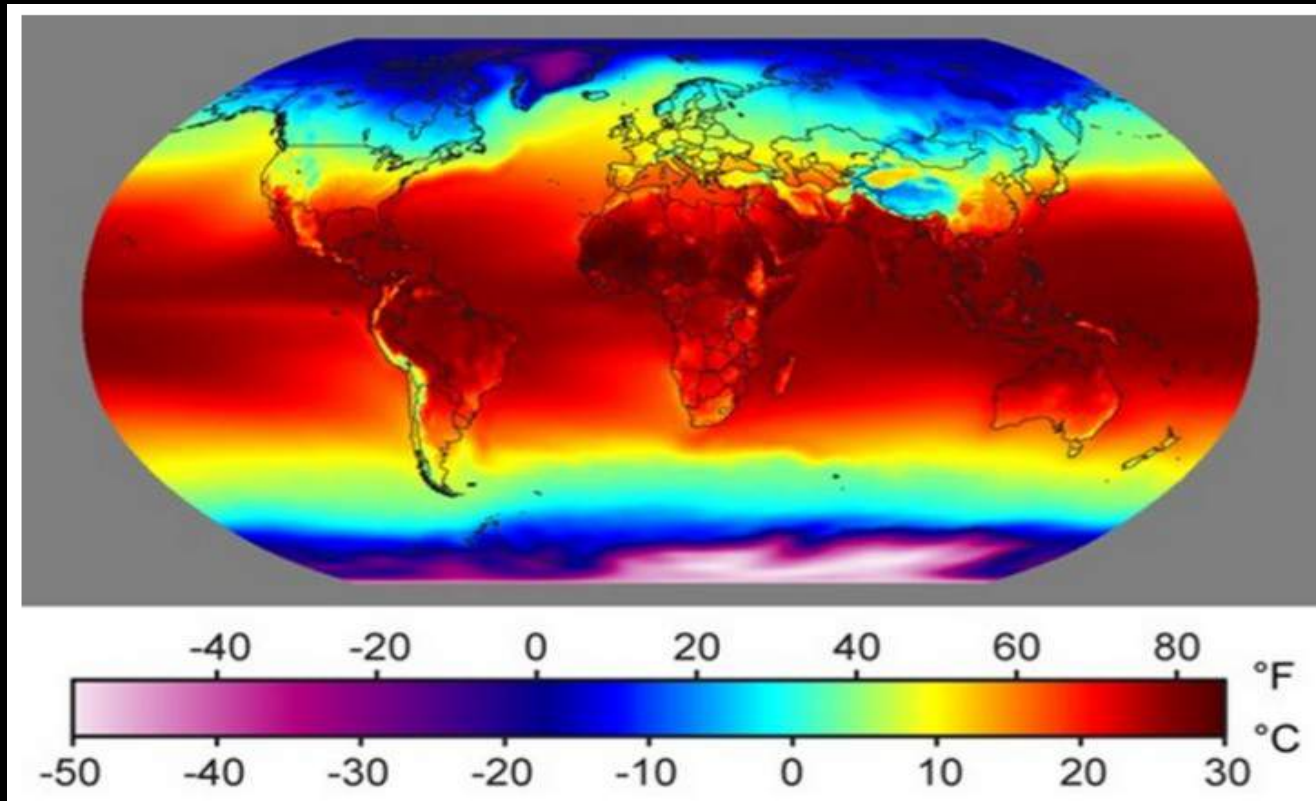
- *Globe terrestre telle que vue de l'espace à partir du satellite MSG montrant la couverture nuageuse et les bassins océaniques.*
- *L'océan et l'atmosphère forme un seul et complexe système*



MSG1 29.03.2006 10:00 UTC
EUMETSAT provided MSG level 1.5 data
NASA's Earth observatory provided the
Blue Marble Next Generation
www.moments-from-space.com



Qui gouverne cette circulation ???



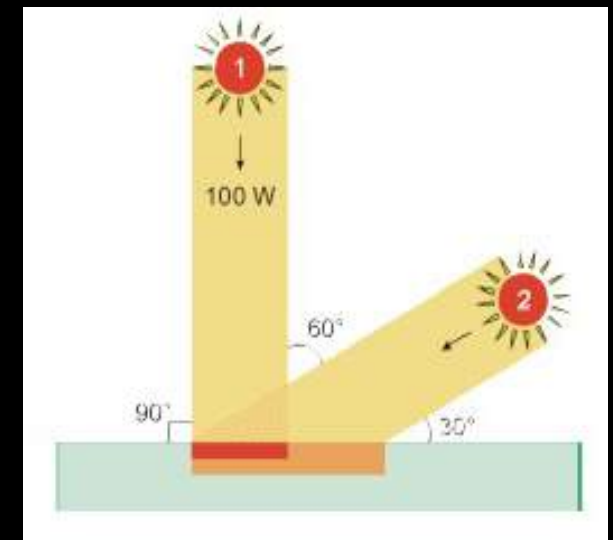
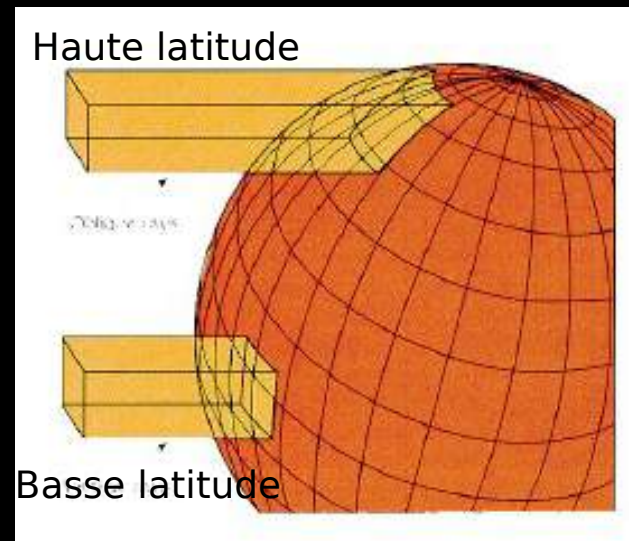
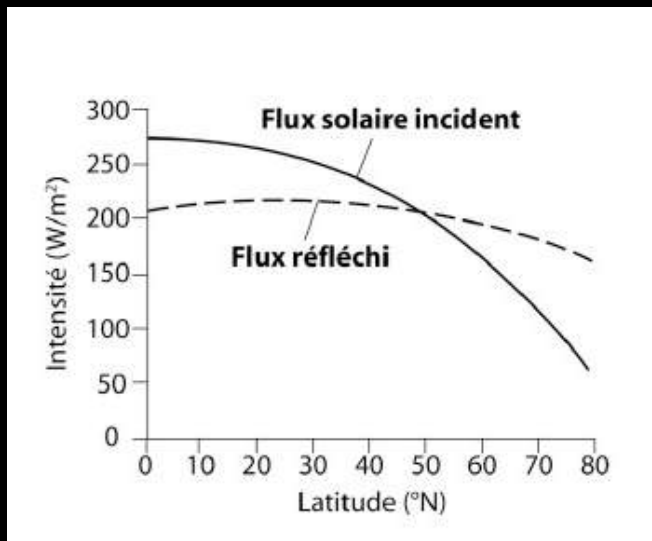
Climate is largely a story of how heat is transported from the tropics to the pole.

The task of transporting heat from the tropics to the pole is accomplished by :

Circulations in the Atmosphere and Currents in the Ocean

1) Moteur de la circulation atmosphérique

Différentiel entre l'énergie reçue à l'équateur et l'énergie reçue aux pôles.



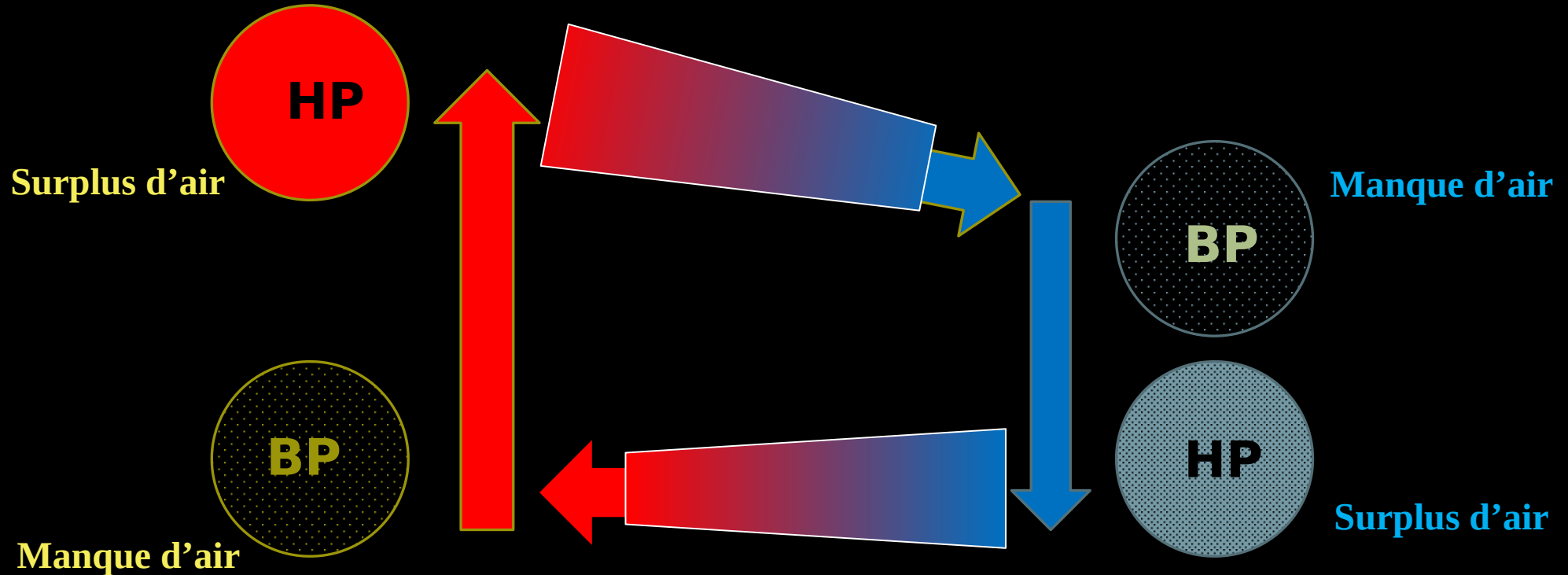
Une même quantité de rayonnement se répartit sur une plus grande surface aux hautes latitudes (à proximité des pôles) qu'à l'équateur.

Bilan : plus de chaleur/énergie reçue à l'équateur qu'aux pôles à l'origine d'un déséquilibre thermique latitudinal.

Mécanismes

- Montée air chaud: pression en altitude ; ↗ pression au sol. ↘
- Descente air froid: pression en altitude ; ↘ pression au sol. ↗

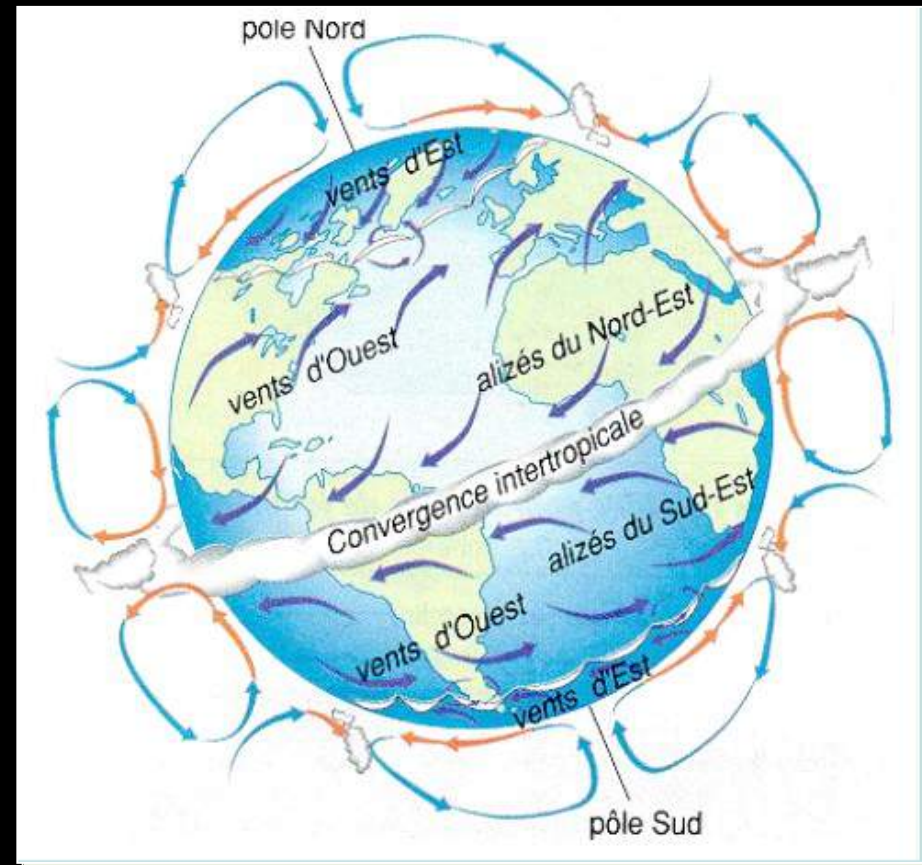
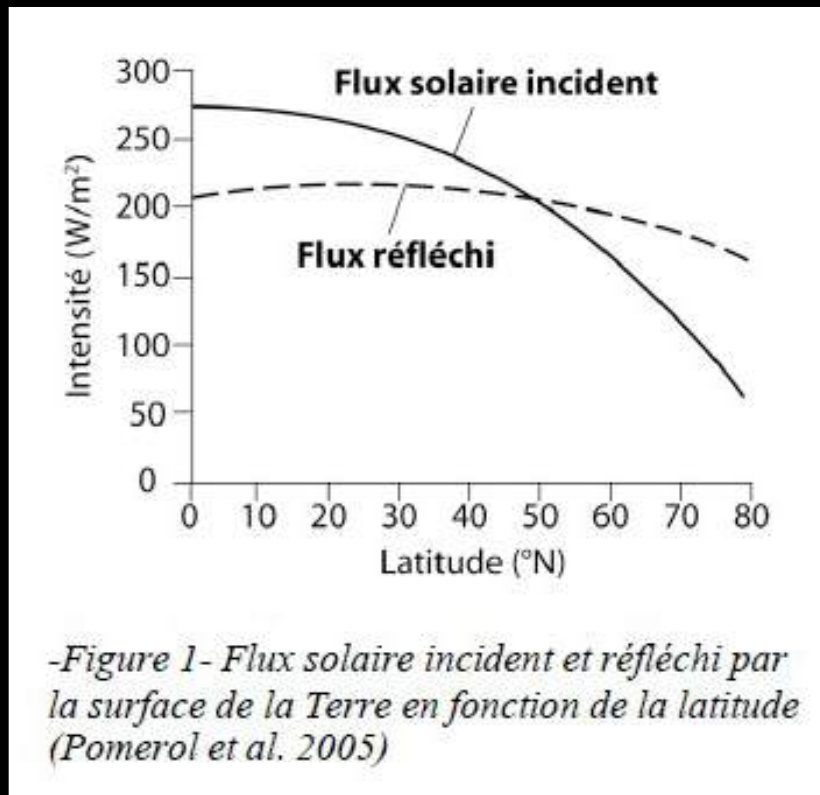
Les masses d'air se déplacent à l'horizontale naturellement des hautes pressions vers les basses pressions.



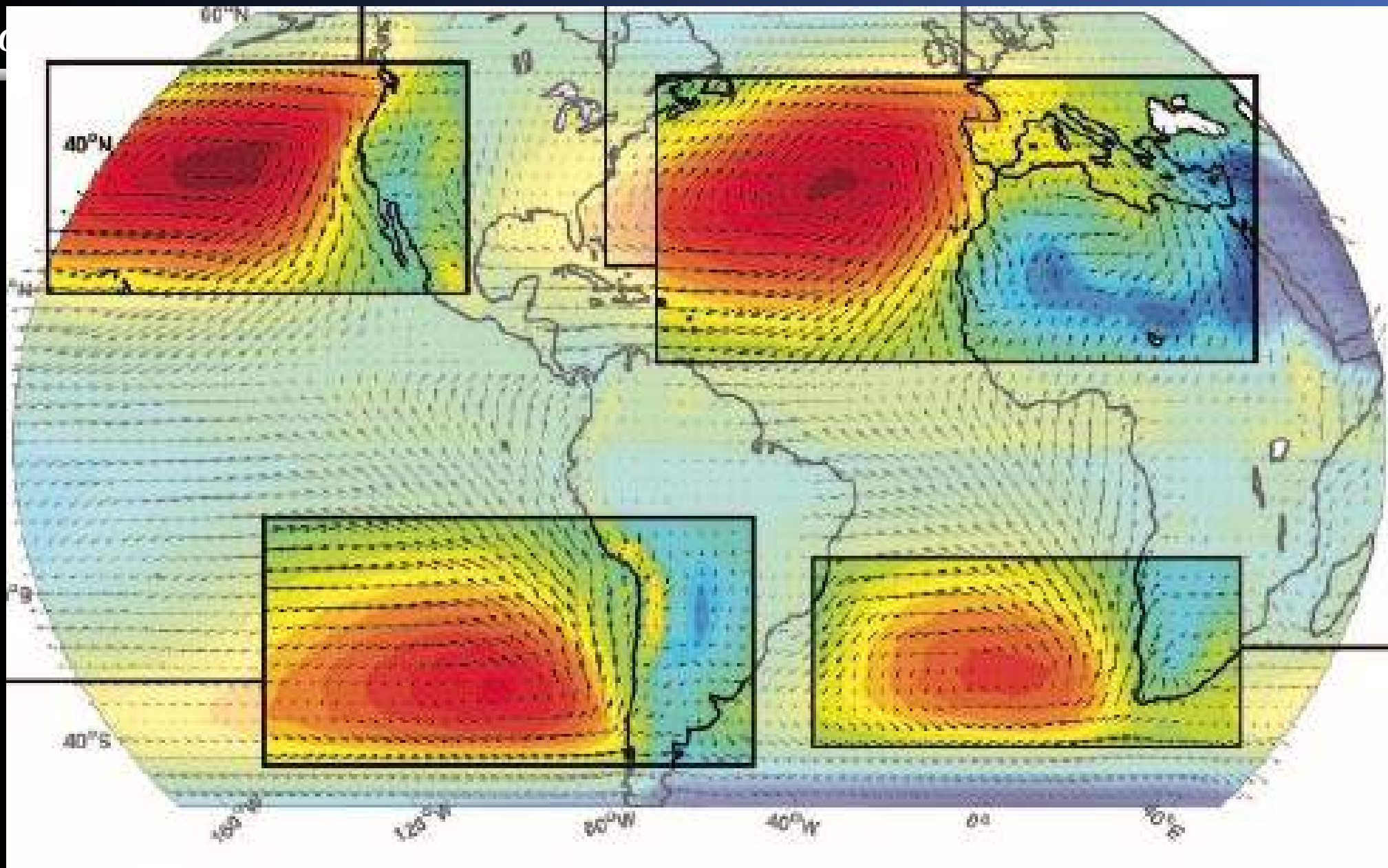
Plan

- **Circulation atmosphérique**
- **Circulation océanique de surface**
- **Productivité primaire (plancton marin)**
- **Upwelling de l'Afrique de l'ouest (Nord, Sud et équatorial)**

1) Moteur de la circulation atmosphérique



Quel est le moteur de la circulation atmosphérique observée sur la figure 2 ?



Sea Level Pressure (hPa)

→ Wind Speed (5 m/s)



1000

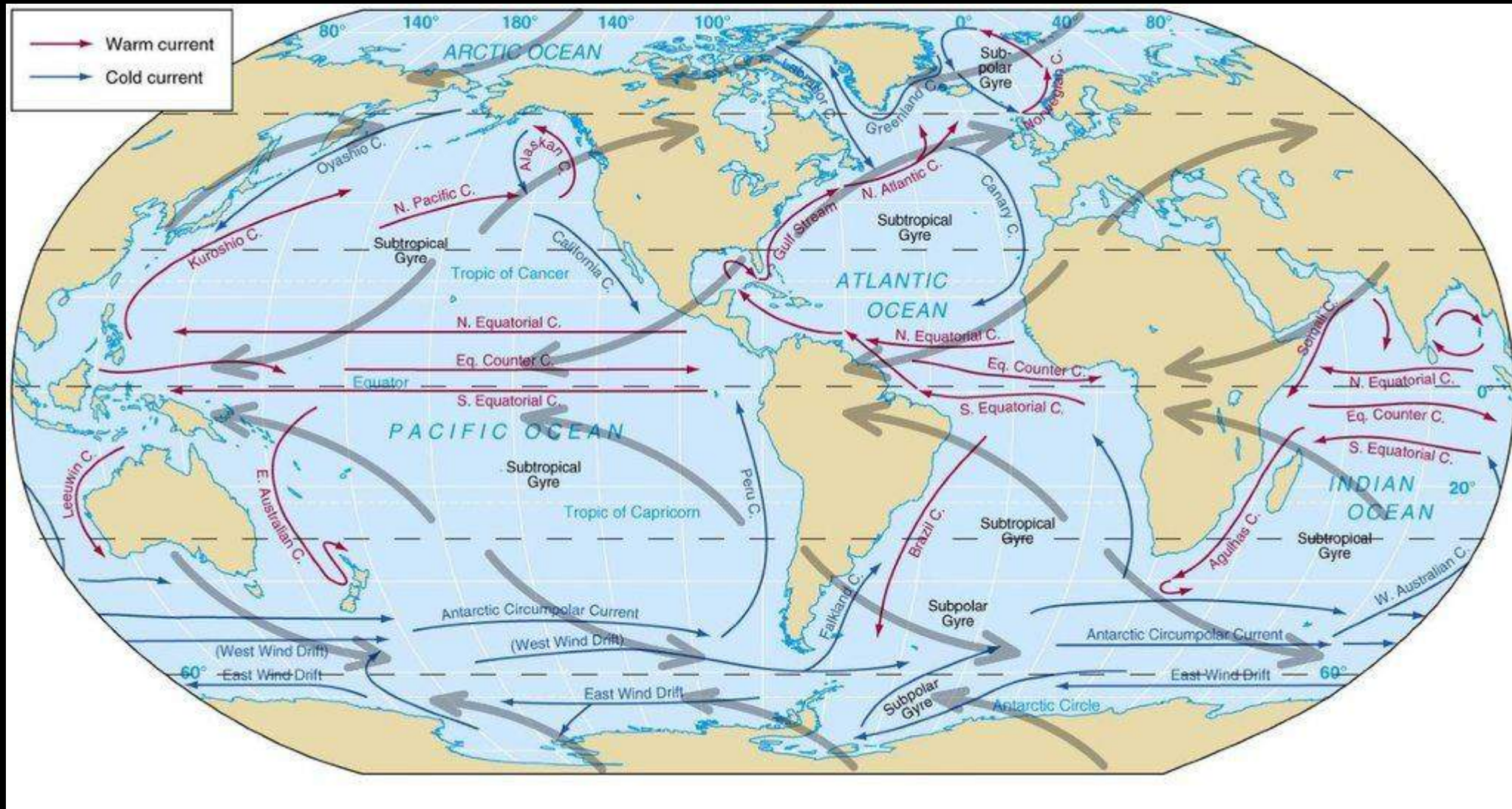
1005

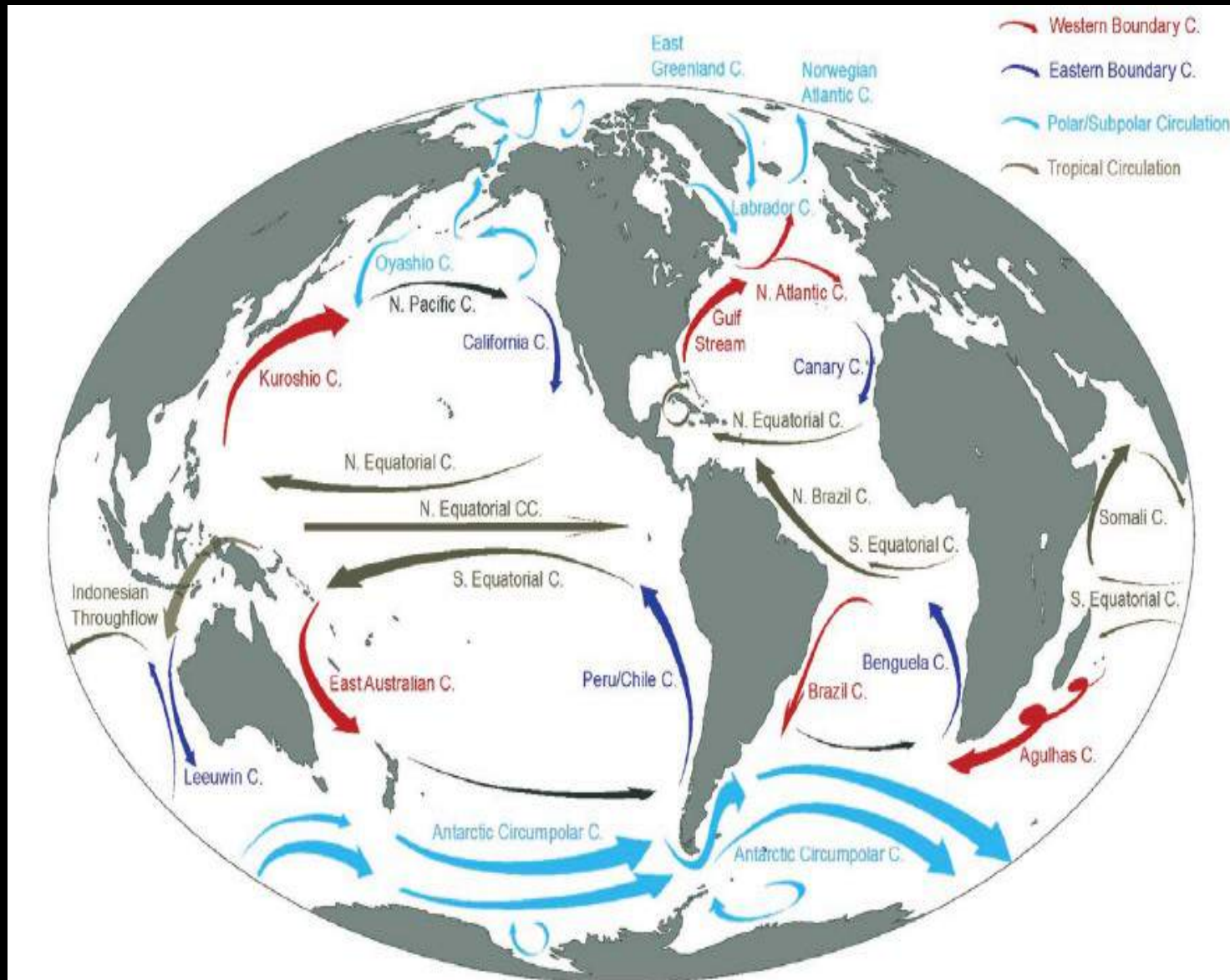
1010

1015

1020

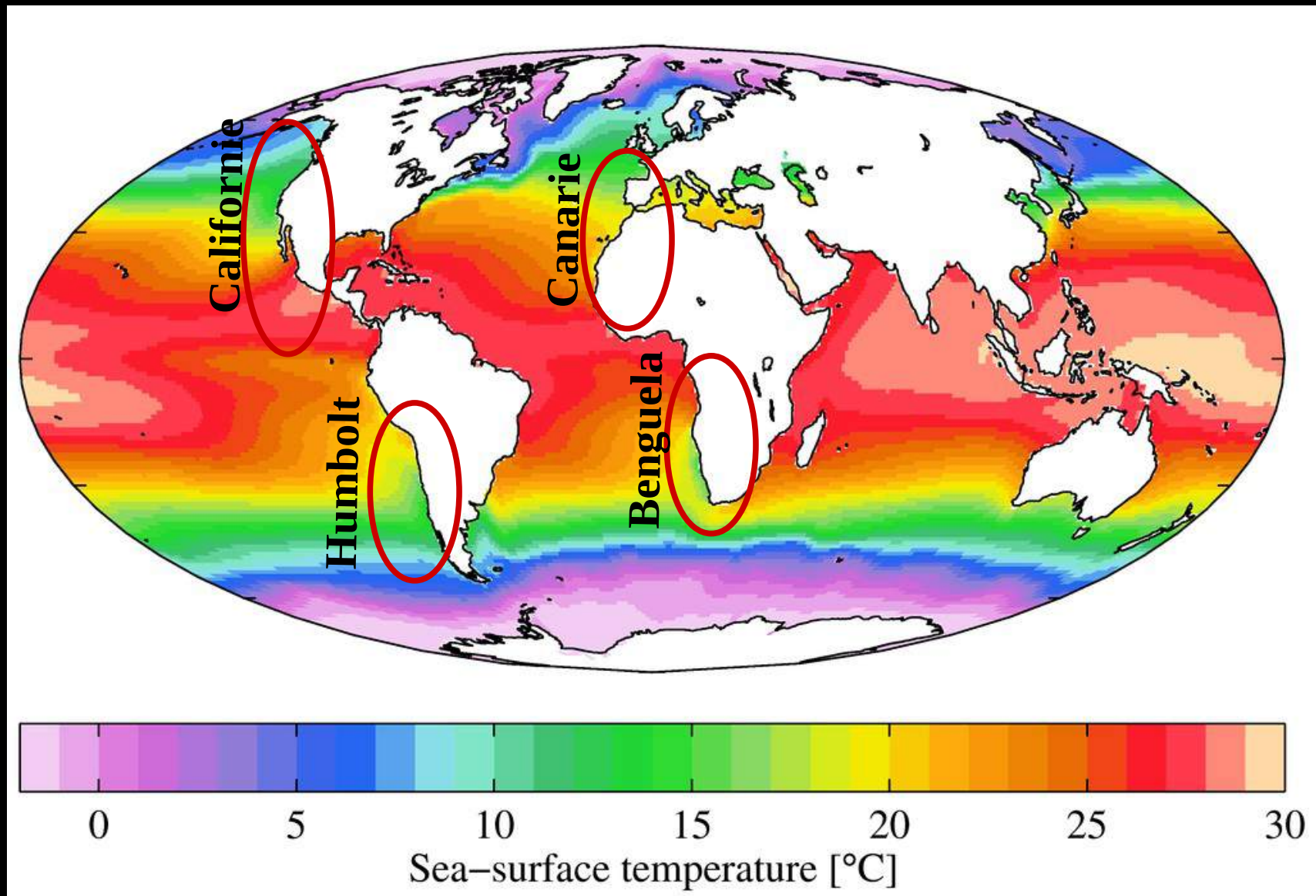
1025

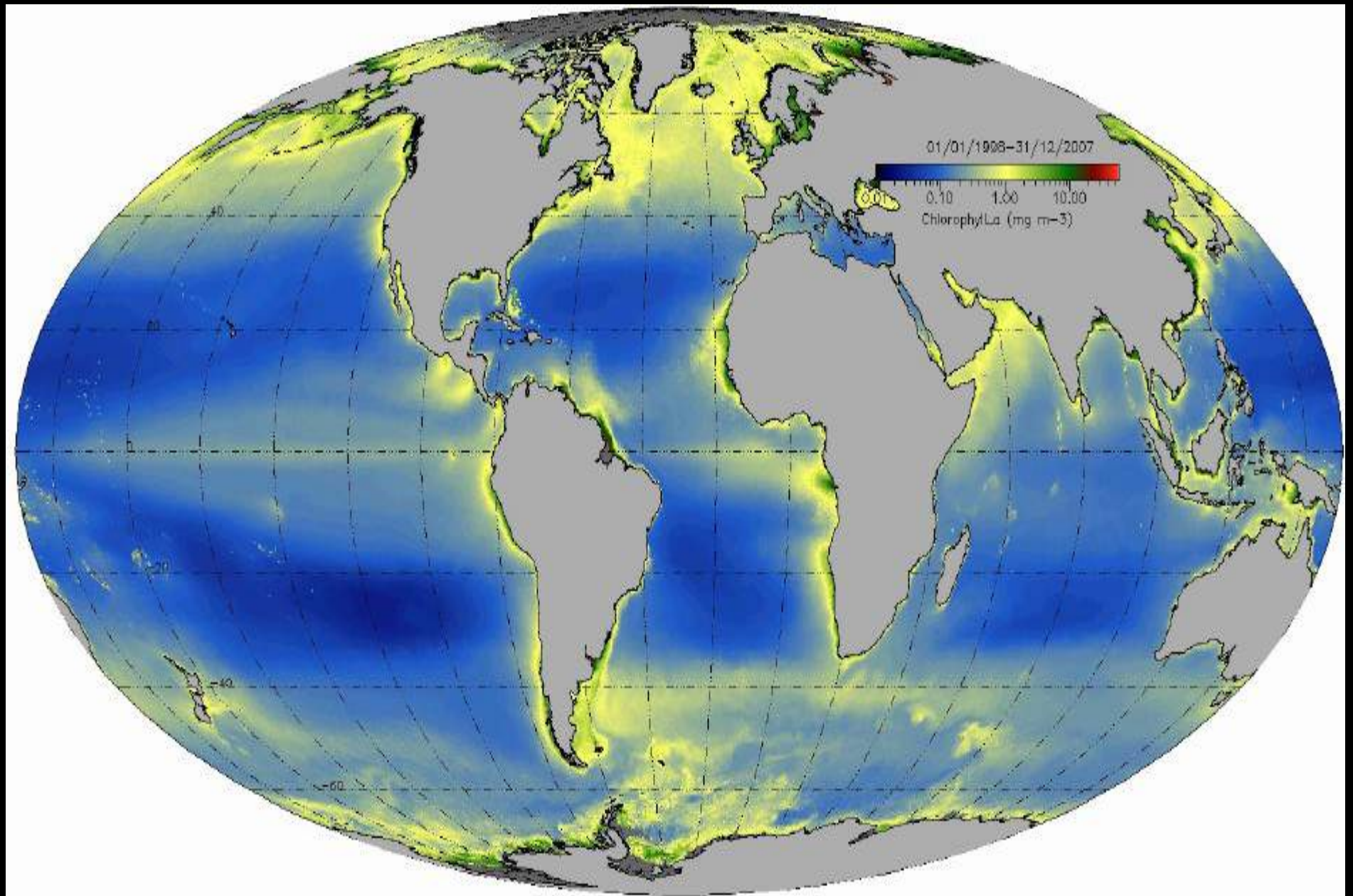


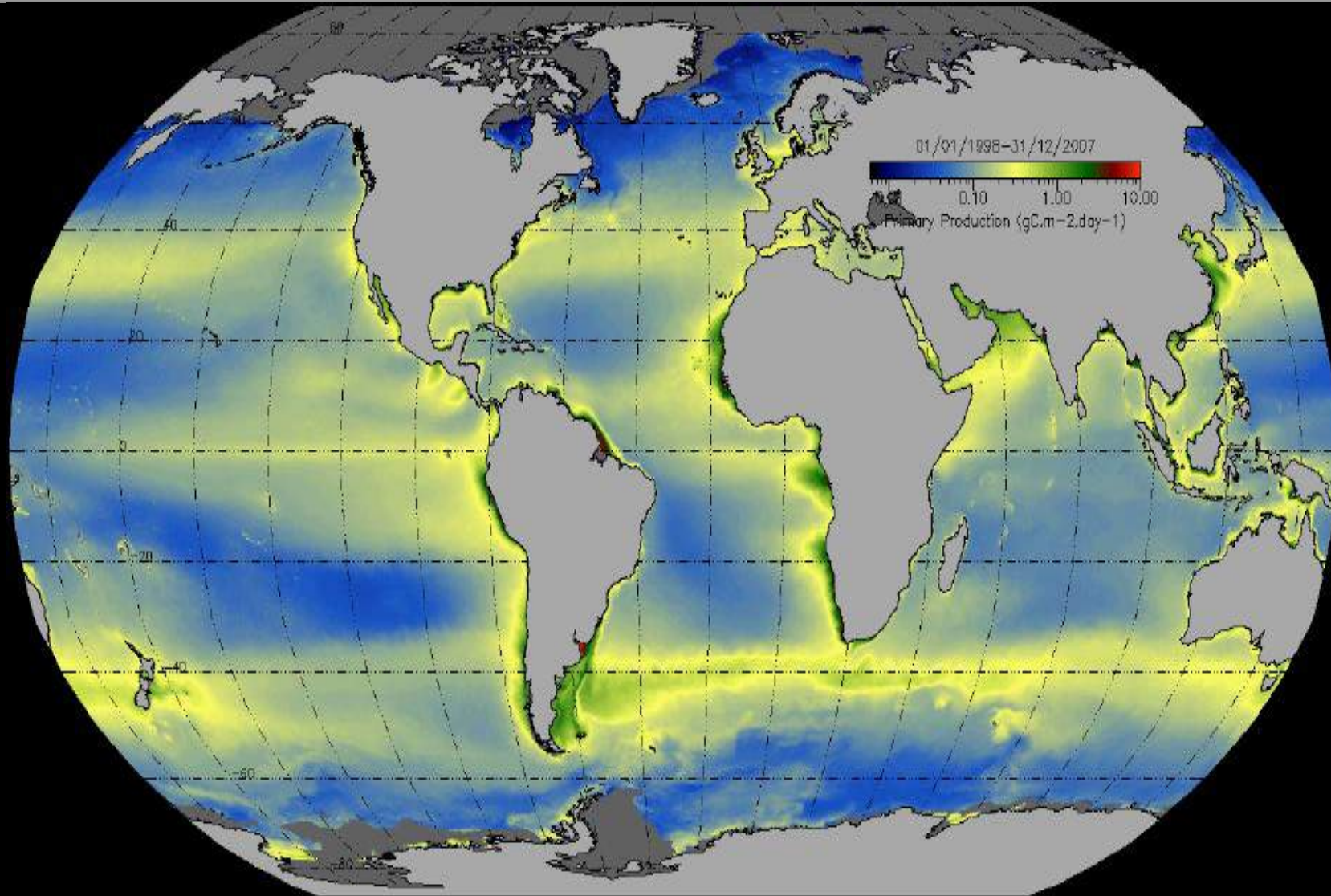


La circulation de surface poussée par les vents. Entraînés par les vents et la force de Coriolis, les courants de surface forment les gyres subtropicaux et subpolaires principaux et la circulation tropicale/équatoriale (B. Delorme et Y. Eddebbbar)

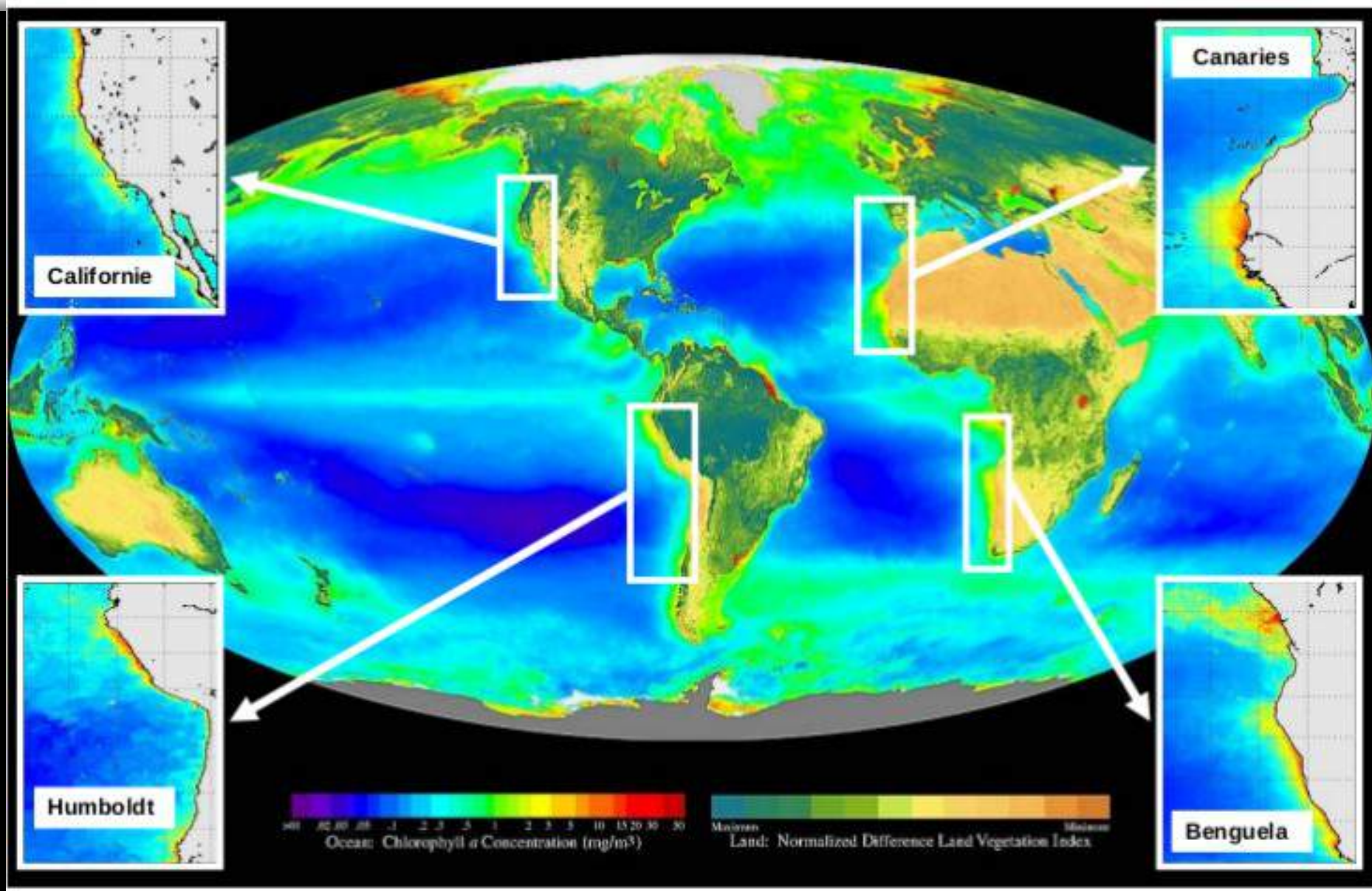
Les upwellings



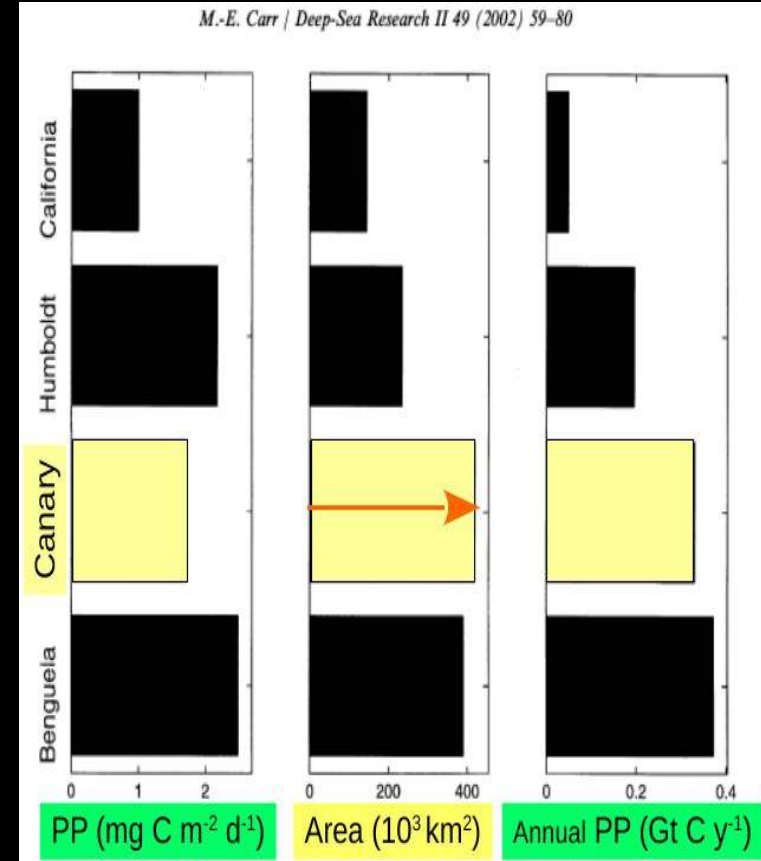
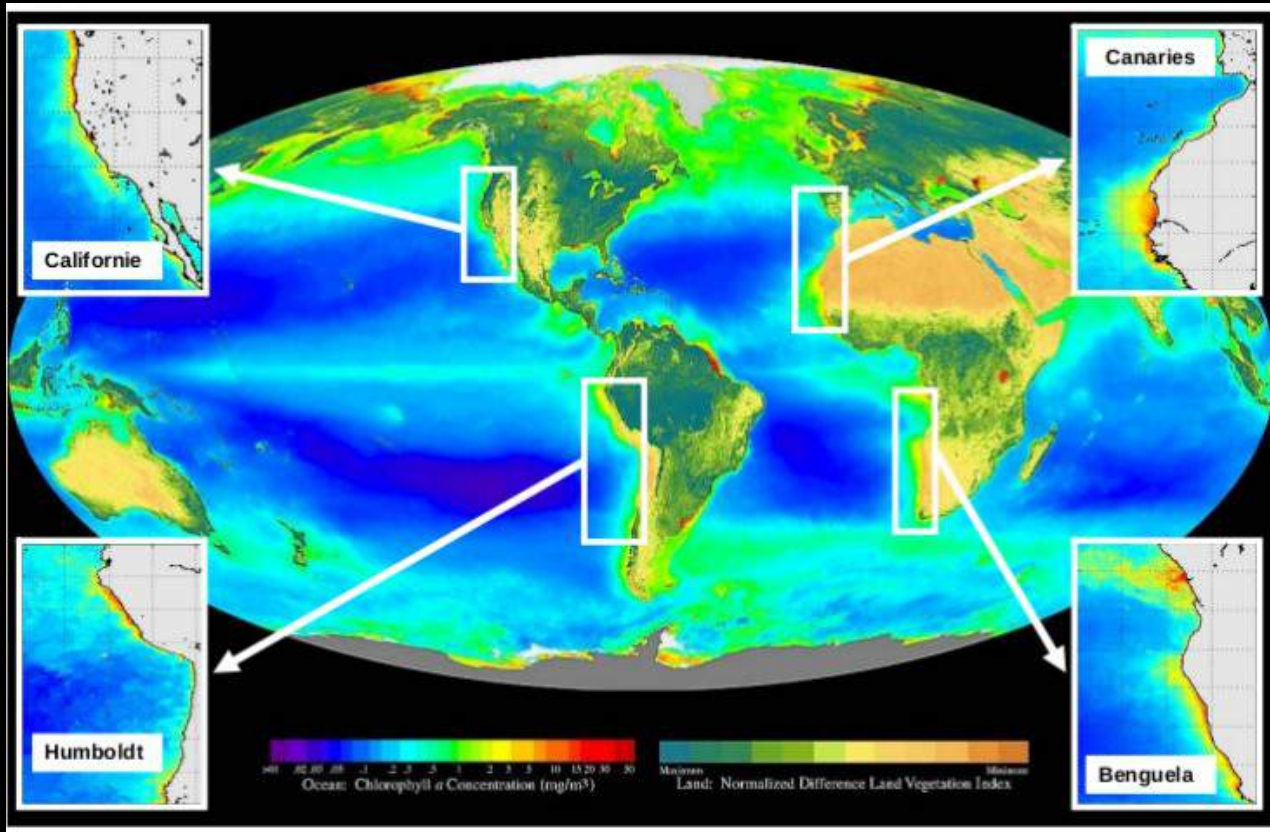




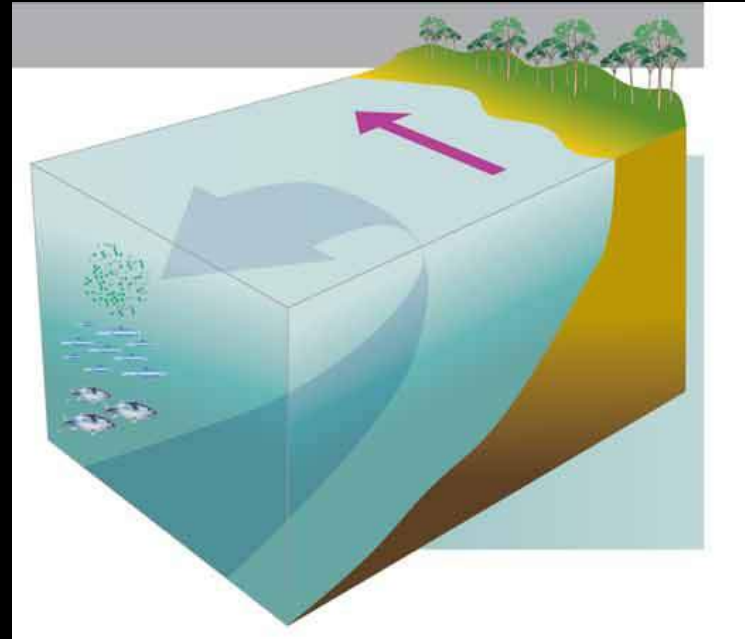
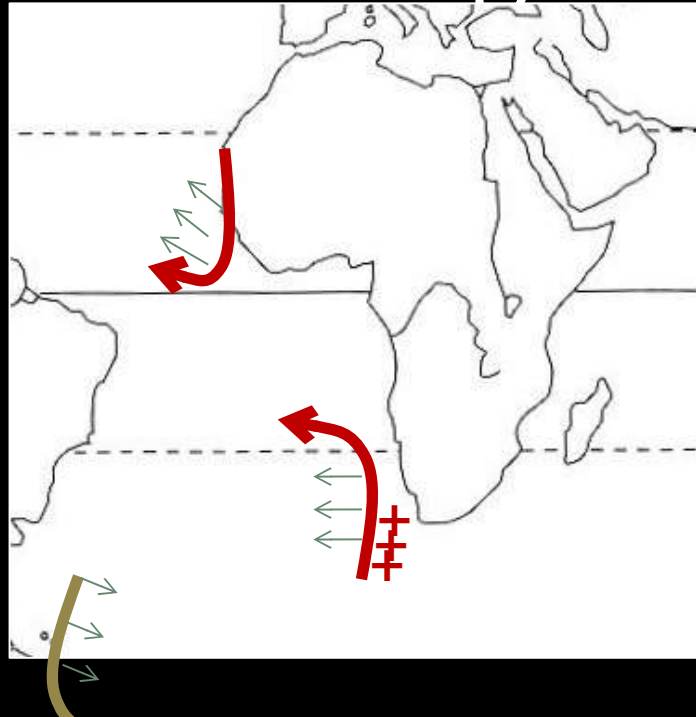
Upwelling systems : A simple calculation based on SeaWiFS data of chlorophyll a concentration (a proxy for the phytoplankton biomass) from 2003 to 2017 shows that despite representing only 1.5% of the oceanic surface between 45°S and 45°N, upwelling systems account for 9.3% of the biomass of primary producers. This computation is based on the limit of 0.5 mg of chlorophyll a as the best limit to delineate the productive part of the upwelling region as used in previous studies



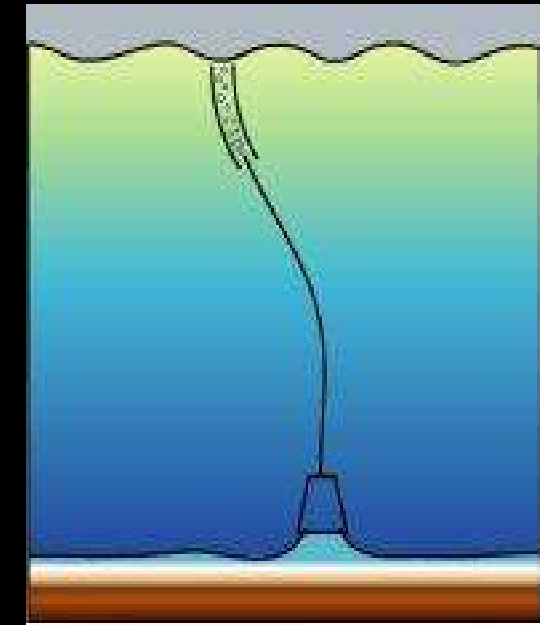
Les quatre principaux systèmes d'upwellings mis en évidence par la concentration en Chlorophylle moyenne (données de SeaWiFS et CZCS, NASA Goddard Space Flight Center).



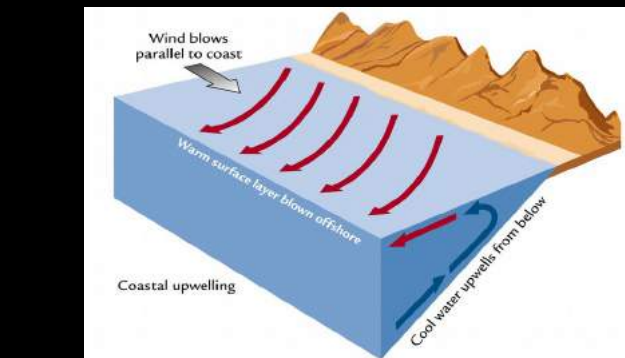
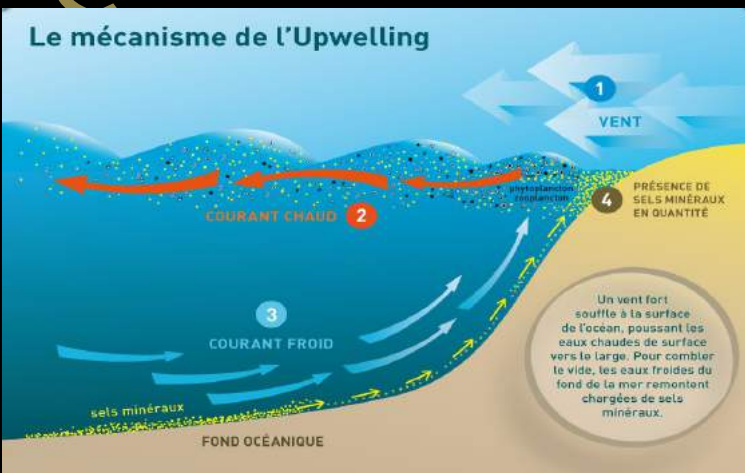
Origine des upwelling côtiers



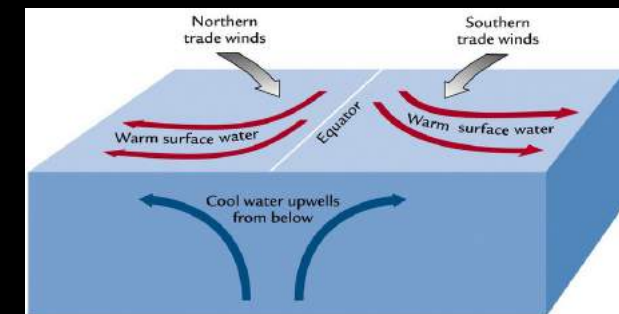
UPWELLING COTIER (Namibie)



Pompe naturelle



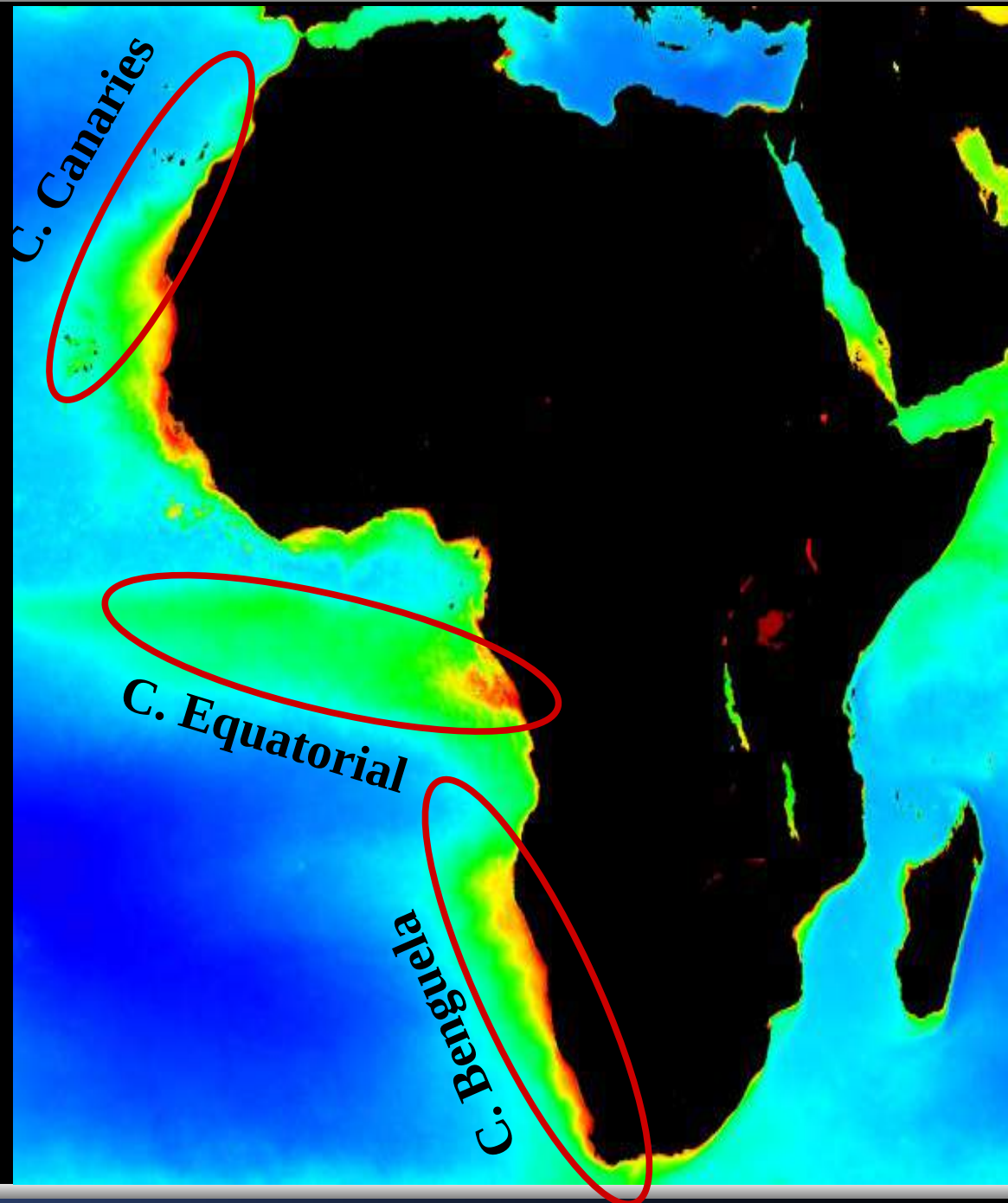
UPWELLING COTIER (Canaries)

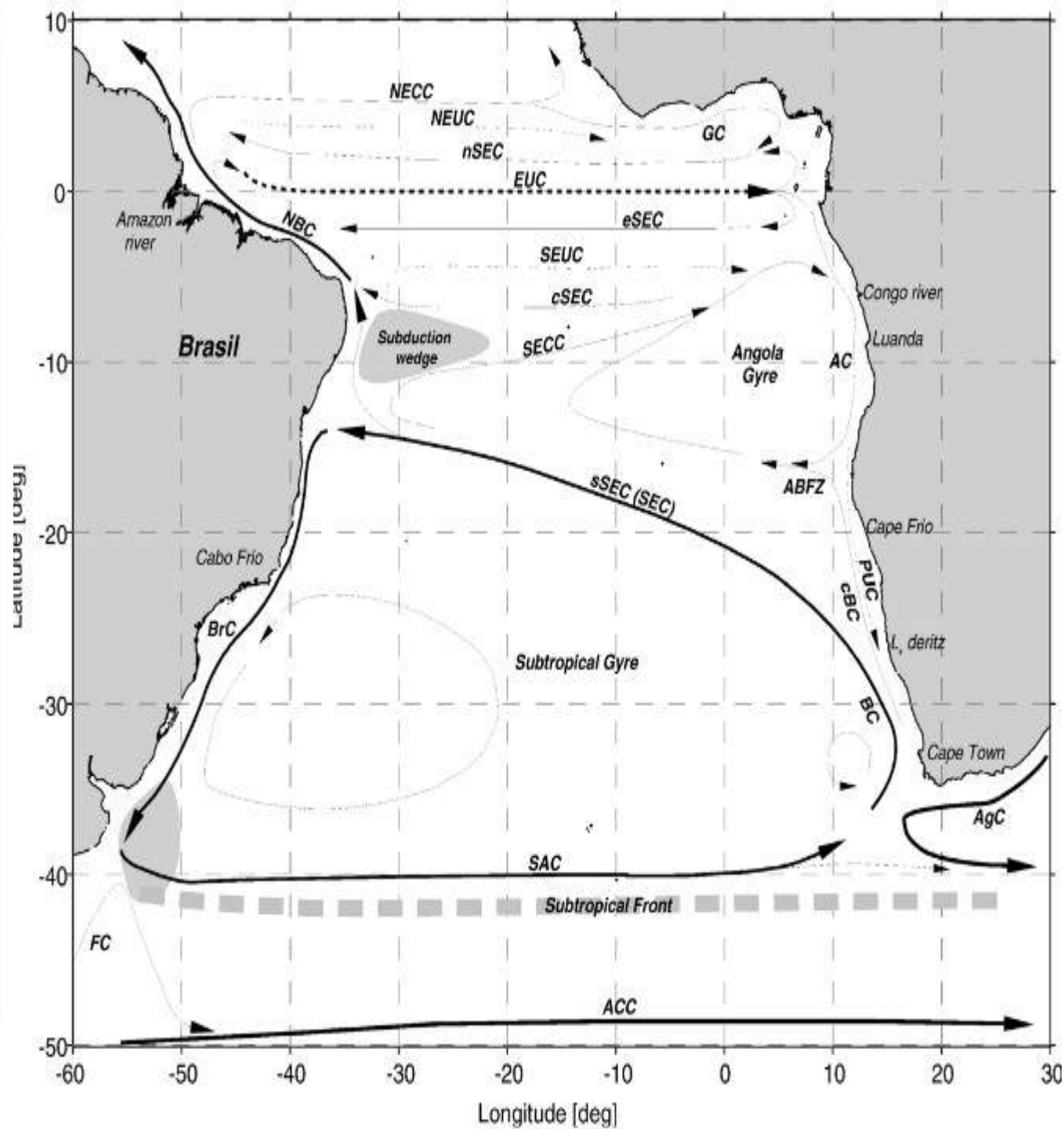
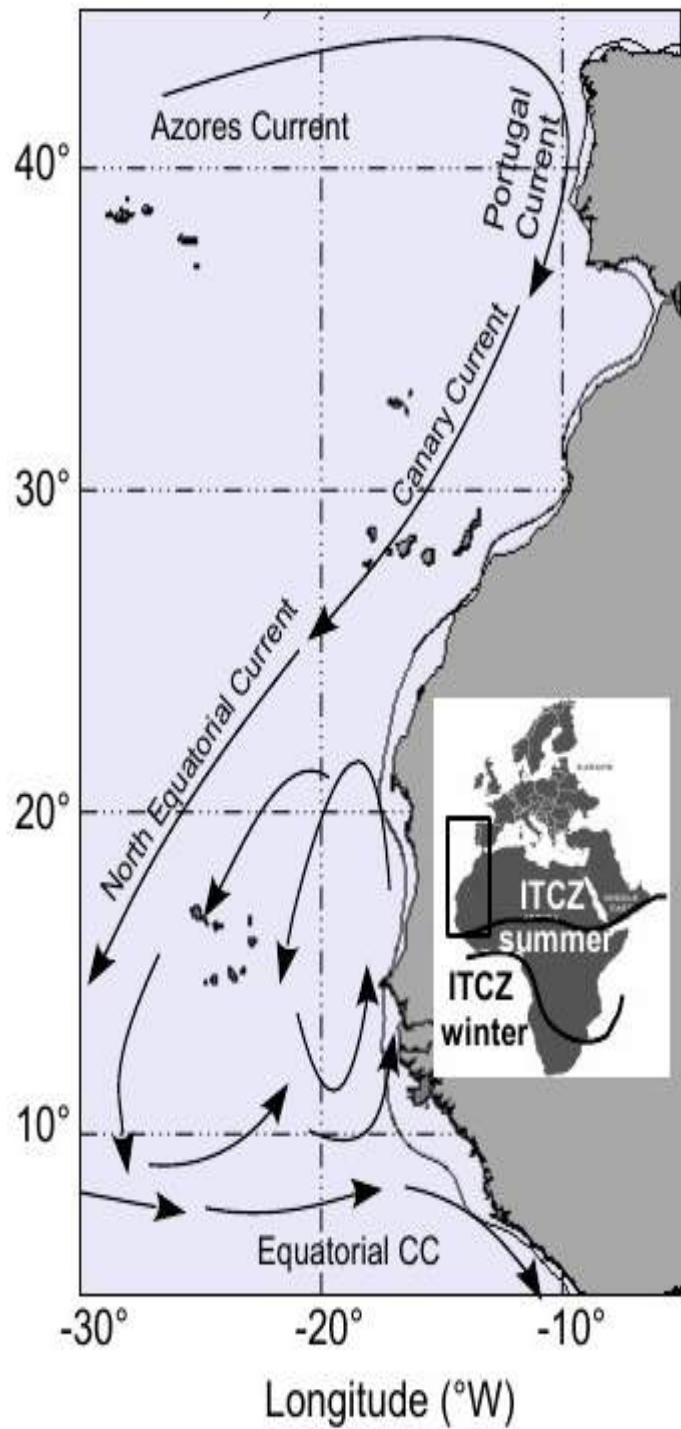


UPWELLING Equatorial

Trois grands écosystèmes

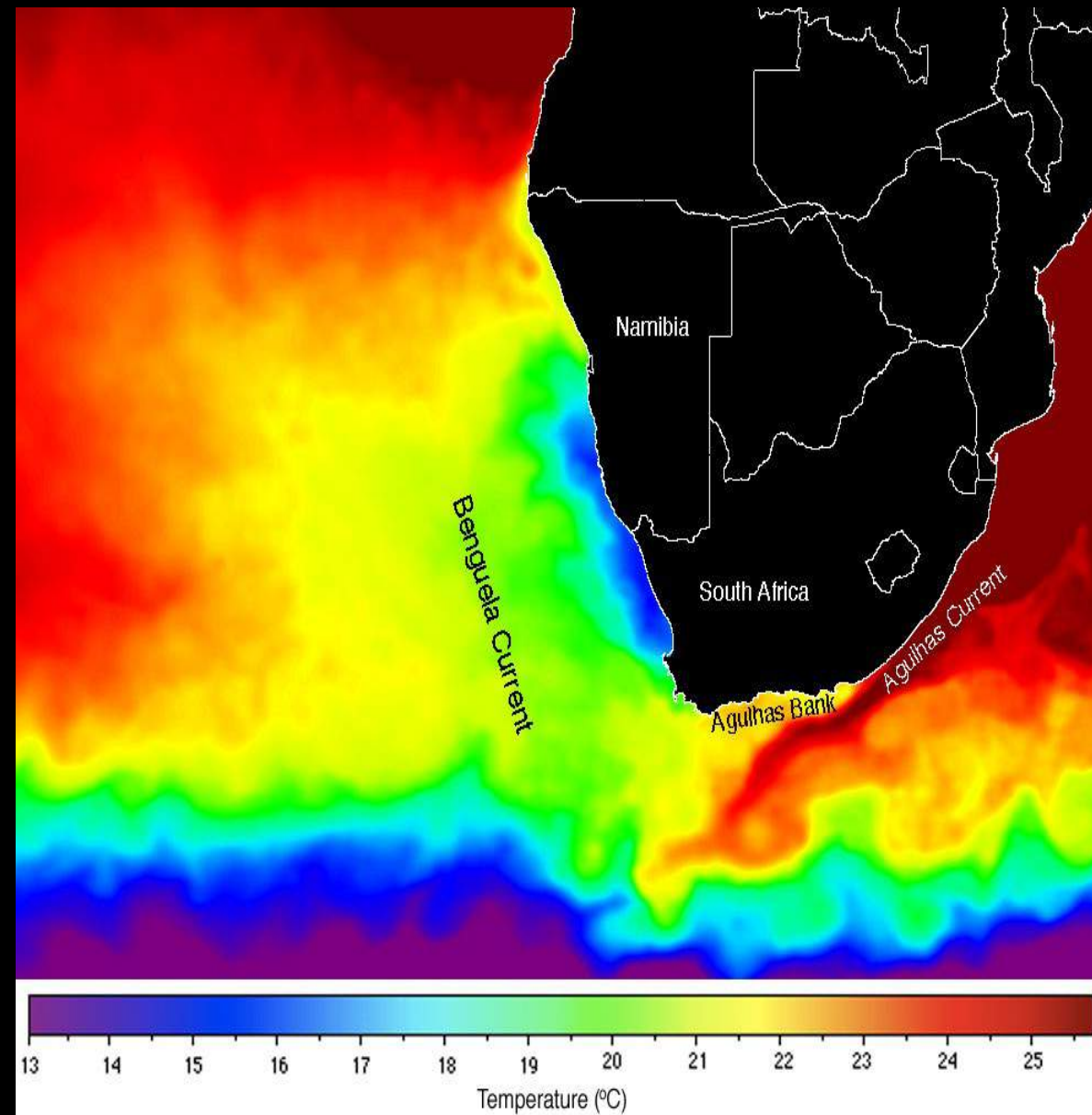
- Système des Canaries
- Système équatorial
- Système du Benguela

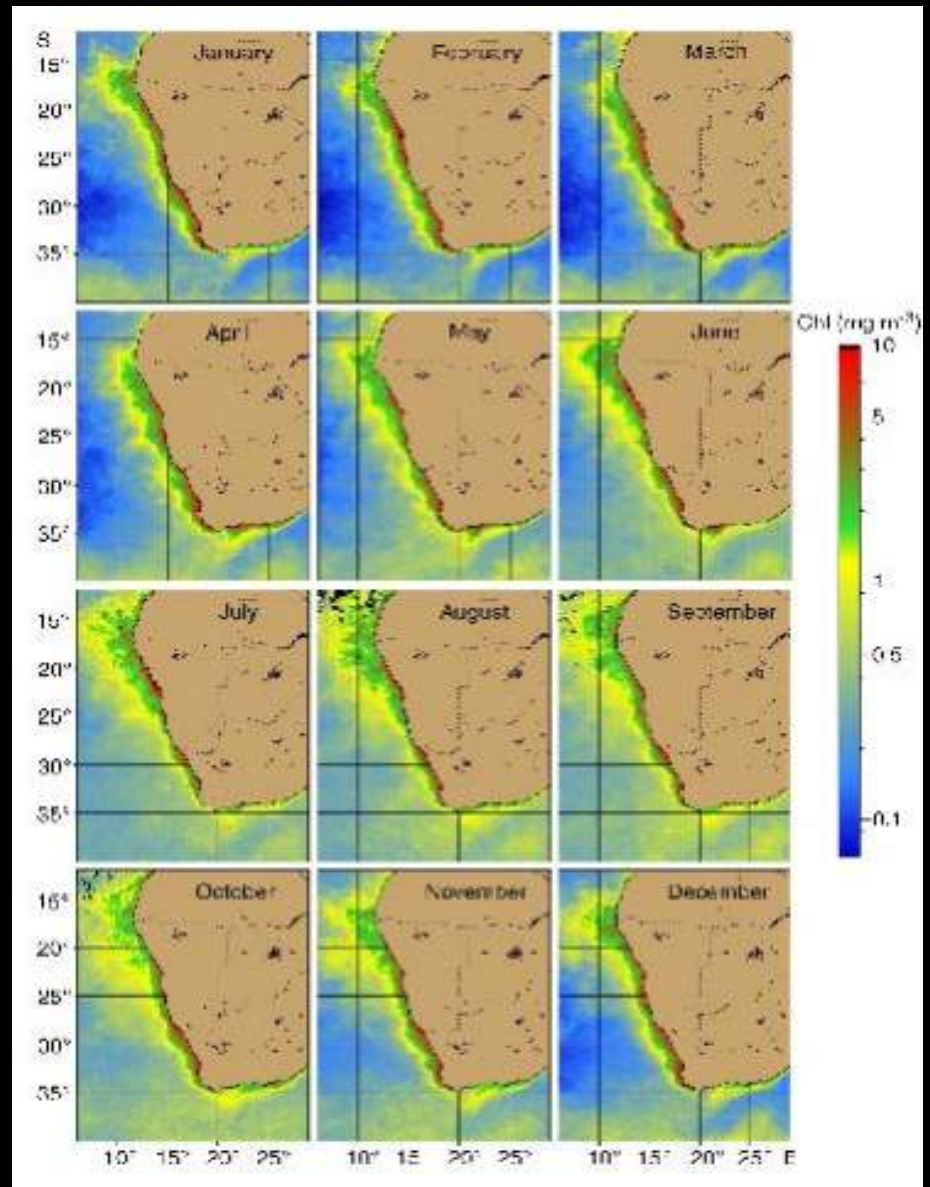
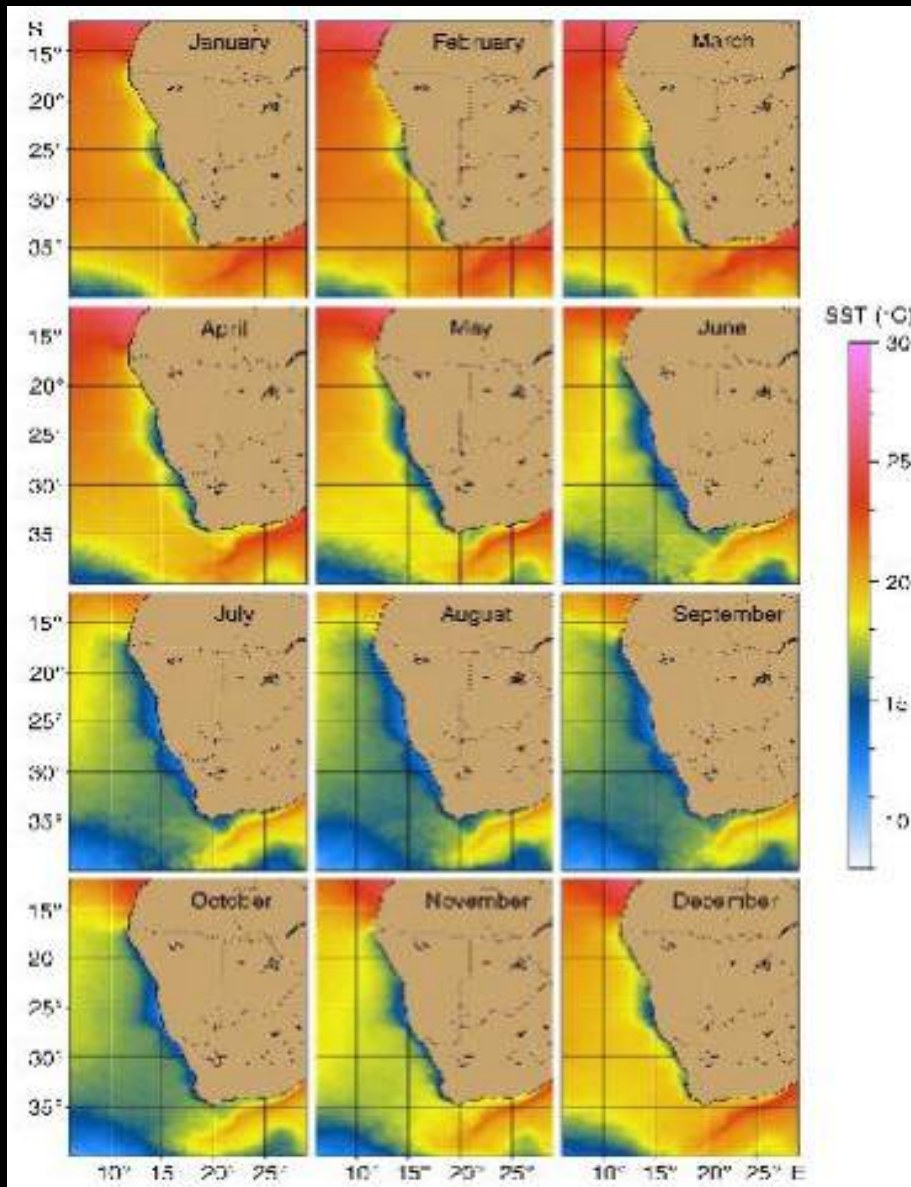




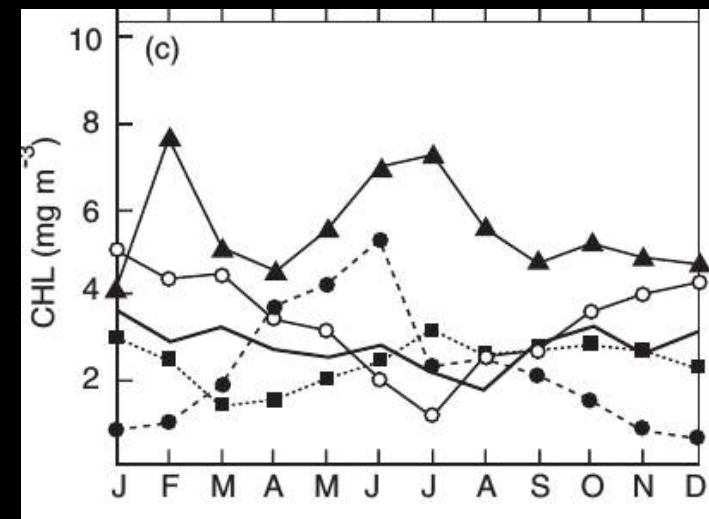
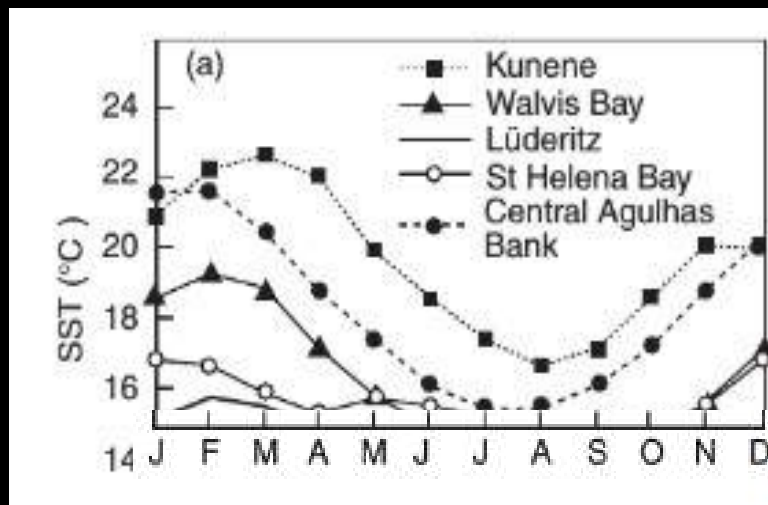
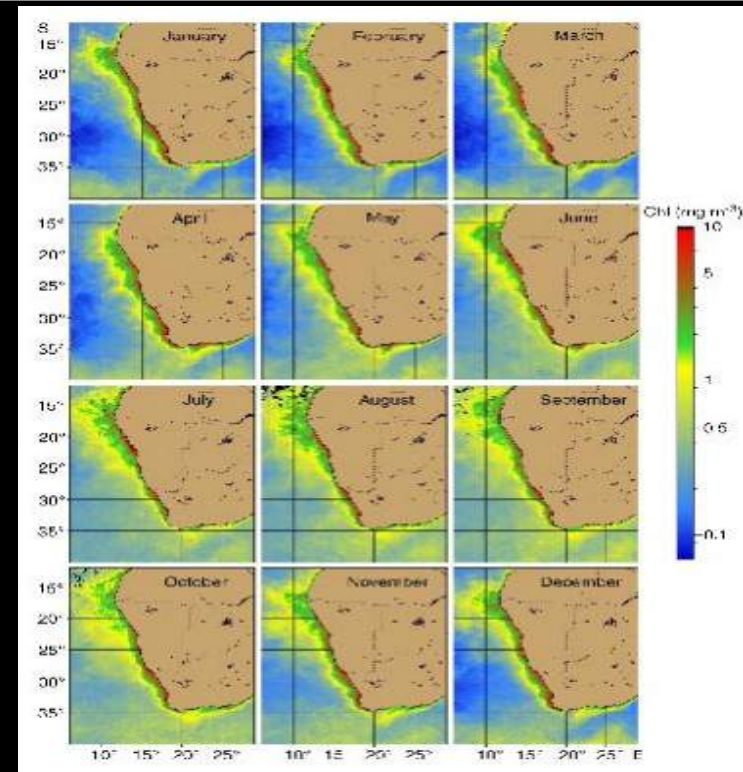
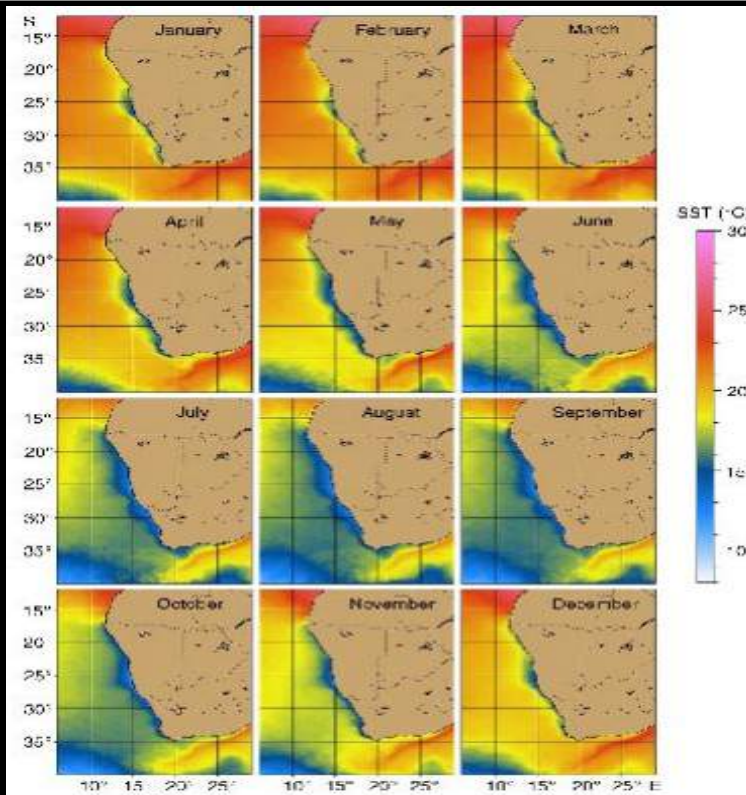
Ecosystème du Benguela

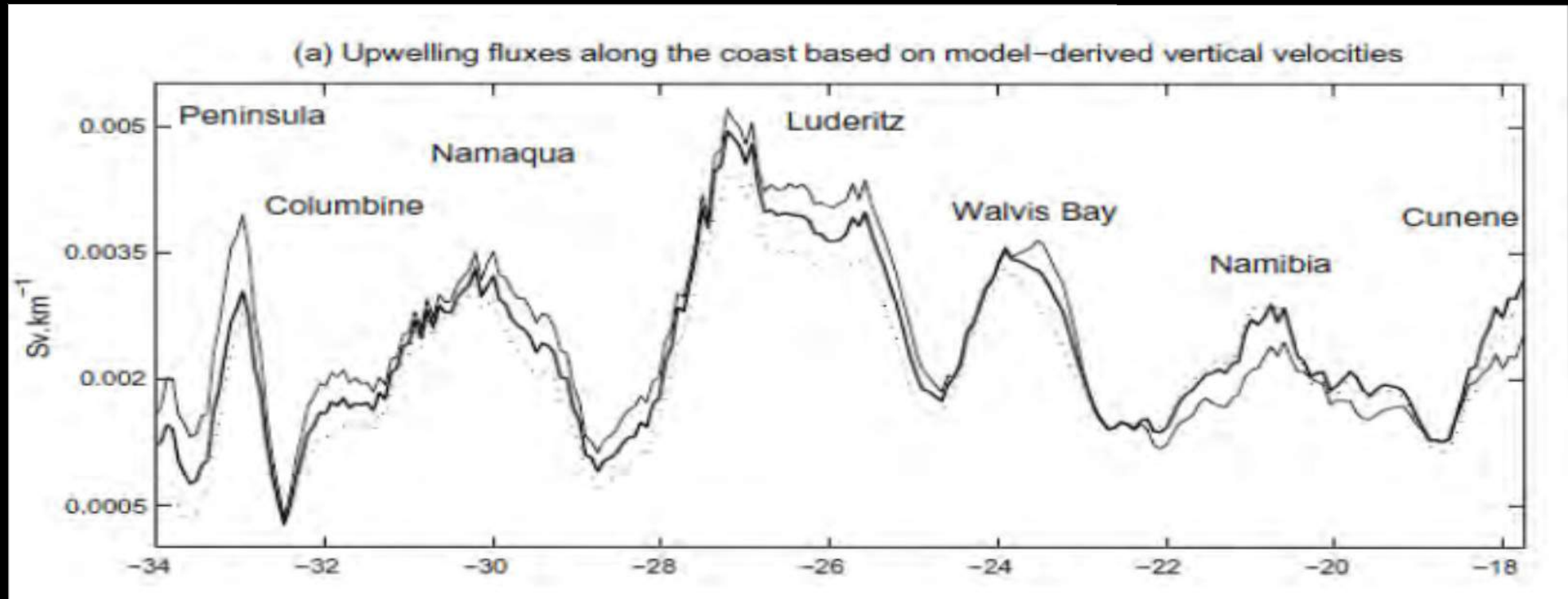
Deux frontières responsables d'intrusion d'eau chaude : au nord, par le front Angola-Benguela et au Sud, par le courant des Aiguilles, un des courants les plus puissants au monde.



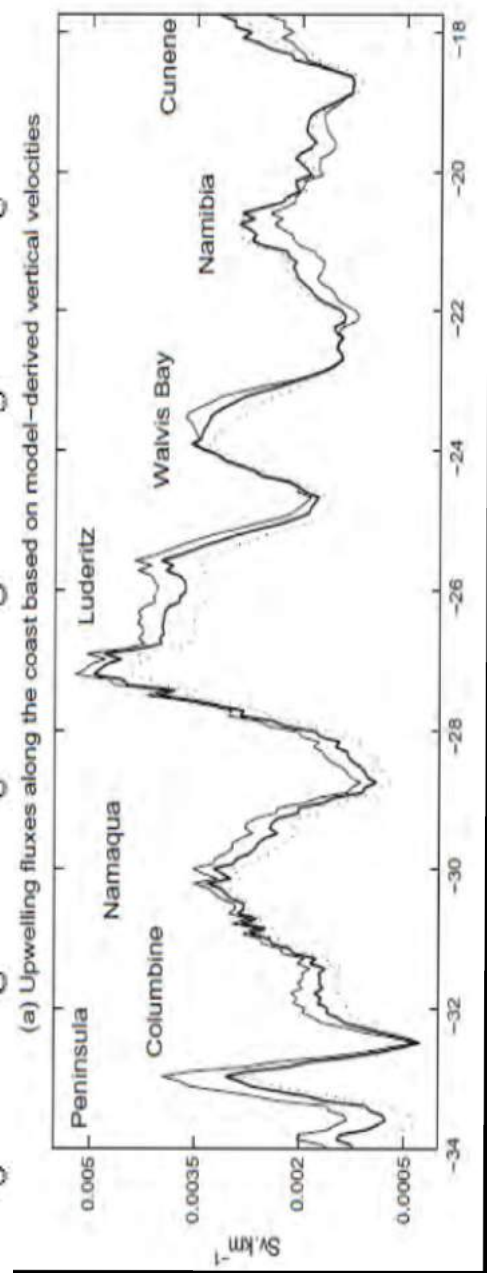
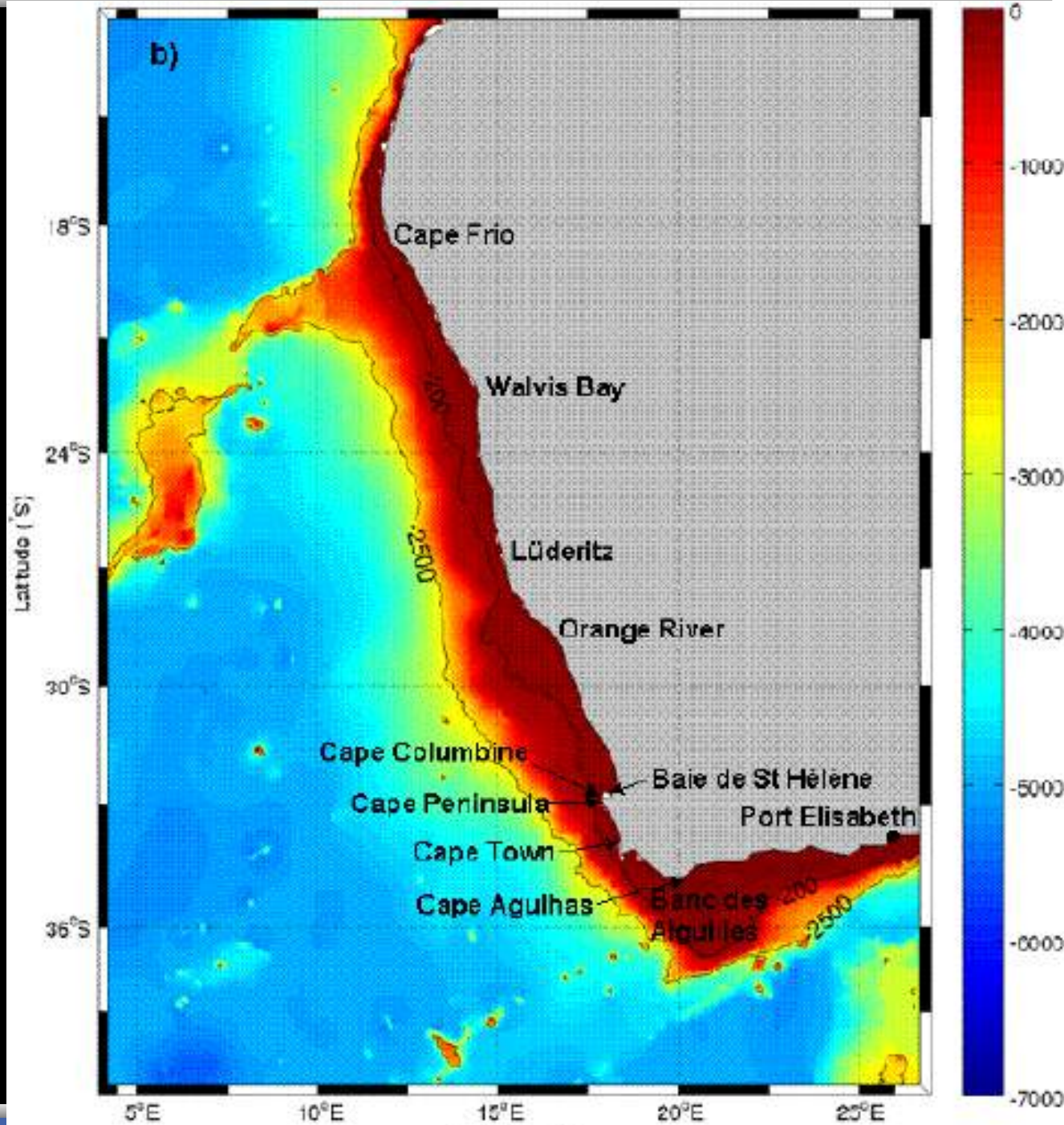


Monthly (a) average SST, (c) Chl for five selected coastal sites



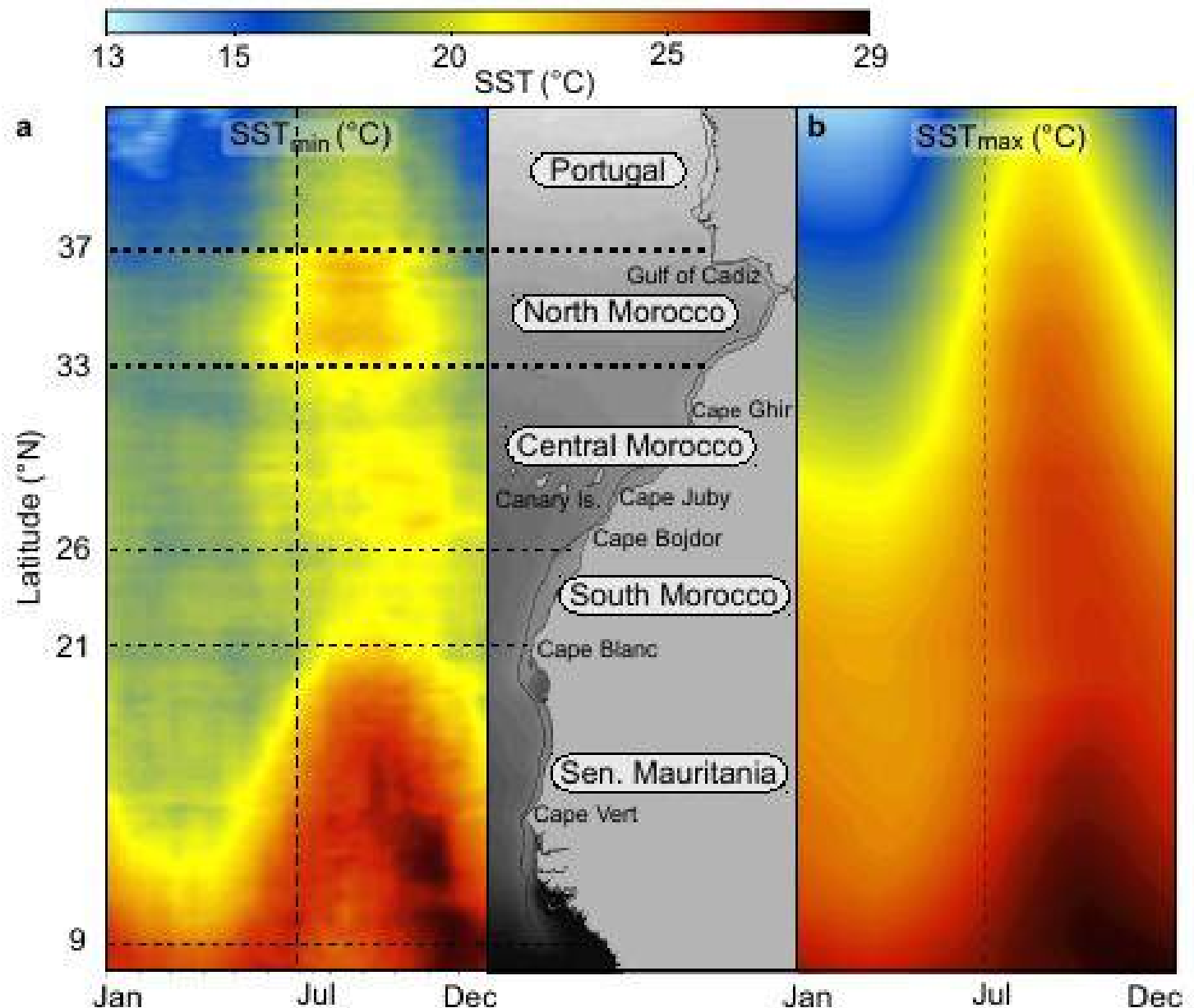


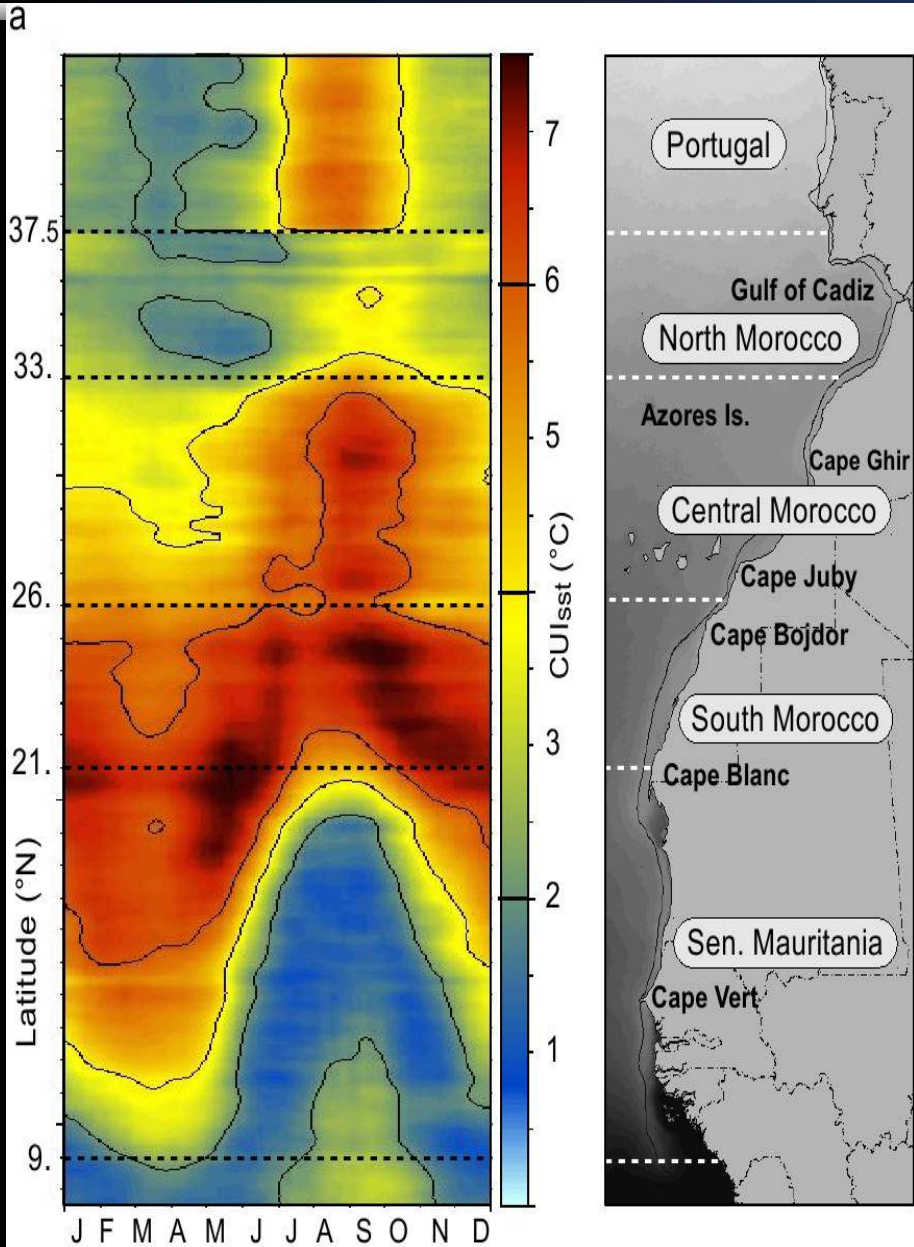
L'écosystème du Benguela peut se subdiviser en deux sous-écosystèmes du nord (sud de l'Angola et Namibie) et du sud (ouest et sud de l'Afrique du Sud) séparés par la cellule permanente d'upwelling de Lüderitz, la plus puissante au monde.



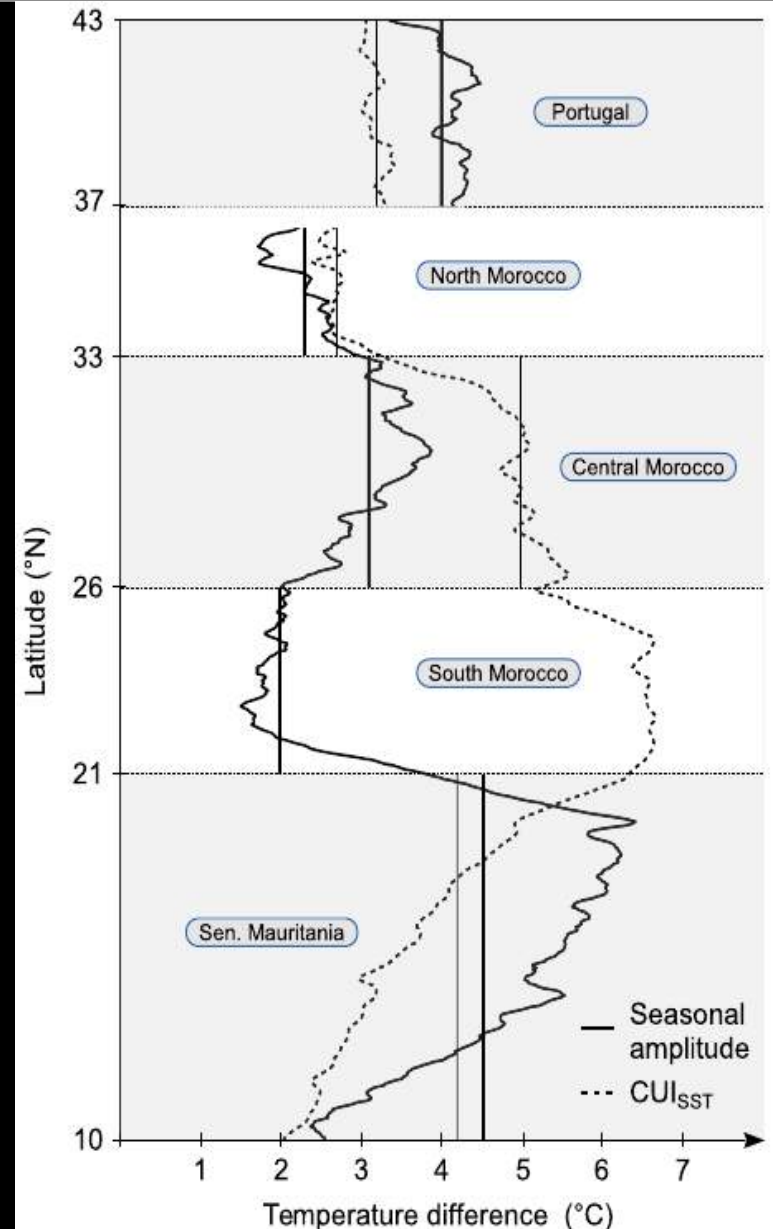
Ecosystème des Canaries

Space-time Hovmöller plot of the average values of the SST min and (b) the SSTmax recorded from 1981 to 2011 and used for the CUI sst index.





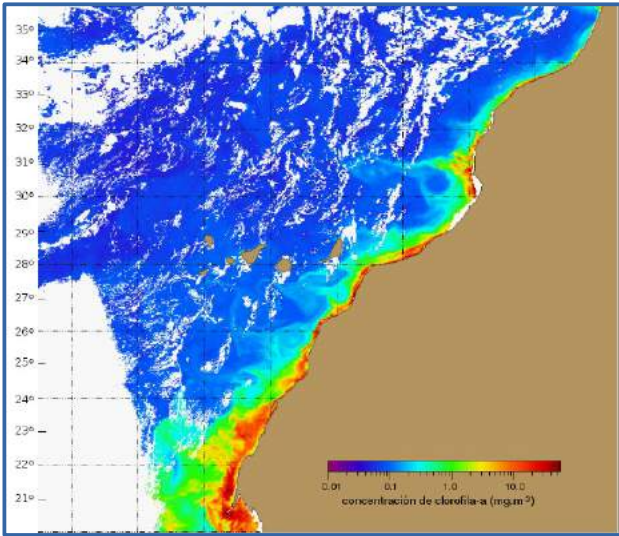
(a) Space-time Hovmöller plot of the CUISST index computed from the 1981–2011 time series. Values 2, 4 and 6 °C are contoured.



Latitudinal classification of the upwelling activity based on the average value of their thermal zonal difference (CUISST) and its seasonal amplitude, both expressed in °C.

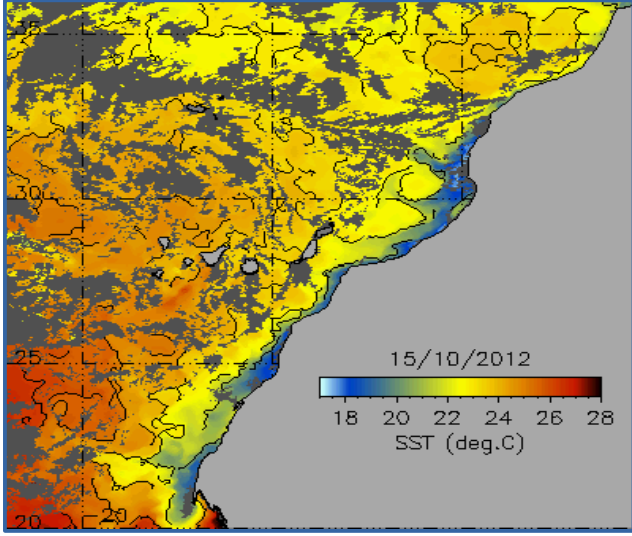
- **Processus physiques hydrodynamiques à méso-échelle et les propriétés bio-optiques associés**

Filaments



Champ de chlorophylle (18 02 2003) démontrant une très forte activité méso-échelle

Filaments et Fronts



Champ de thermique(16 10 2012) démontrant une très forte activité méso-échelle (filaments et fronts)

Tourbillons

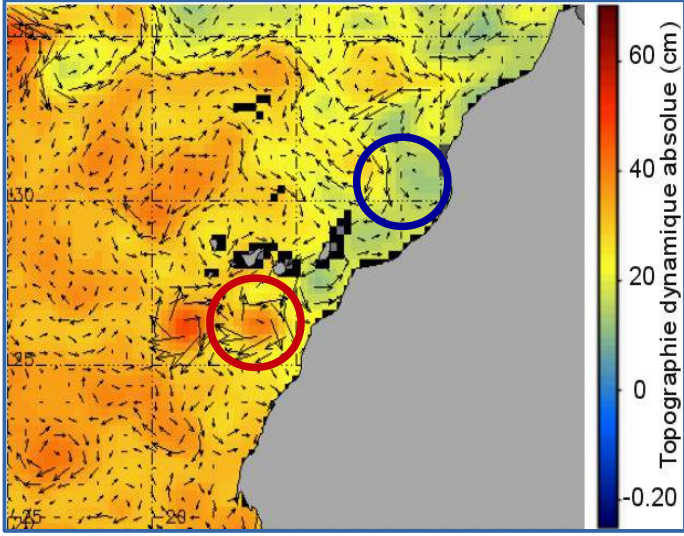


Image de synthèse de 7 jours (du 07-09 au 13-09 2008) de la Topographie dynamique absolue (SSH) superposée par le courant géostrophique.

✓ Indicateurs environnementaux physiques synoptiques

Transport d'Ekman : CSET ($\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$)

$$f = 2\Omega \sin(\varphi) \quad \text{CSET} = \frac{\tau_{\text{alongshore}}}{\rho f}$$

Indice de turbulence : Tur (m/s)³

$$\text{Tur} = S^3$$

Indice d'upwelling côtier thermique : IUC_{SST} ($^{\circ}\text{C}$)

$$\text{IUC}_{\text{SST}} = \text{SST}_{\text{max}(\text{lat}, t)} - \text{SST}_{\text{min}(\text{lat}, t)}$$

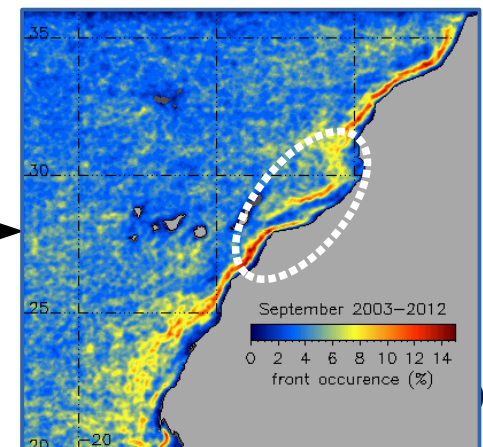
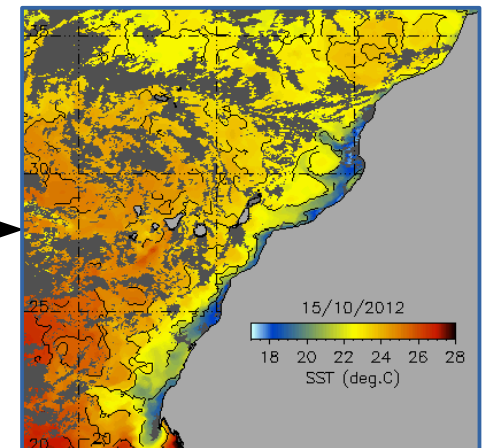
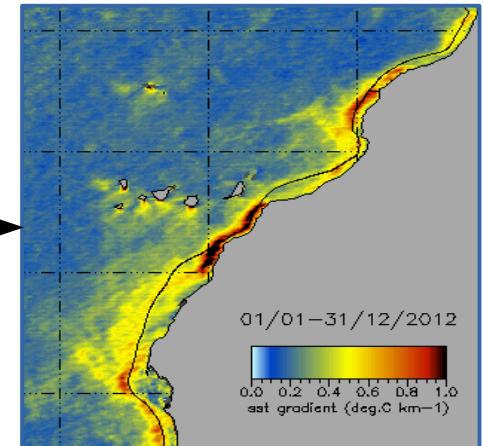
Indice de rétention côtière: IRC ($^{\circ}\text{C km}$)

$$\text{CRI}_{\text{SST}} = \int_0^{Z_{\text{min}}} (\text{SST}(z) - \text{SST}_{\text{min}}) dz$$

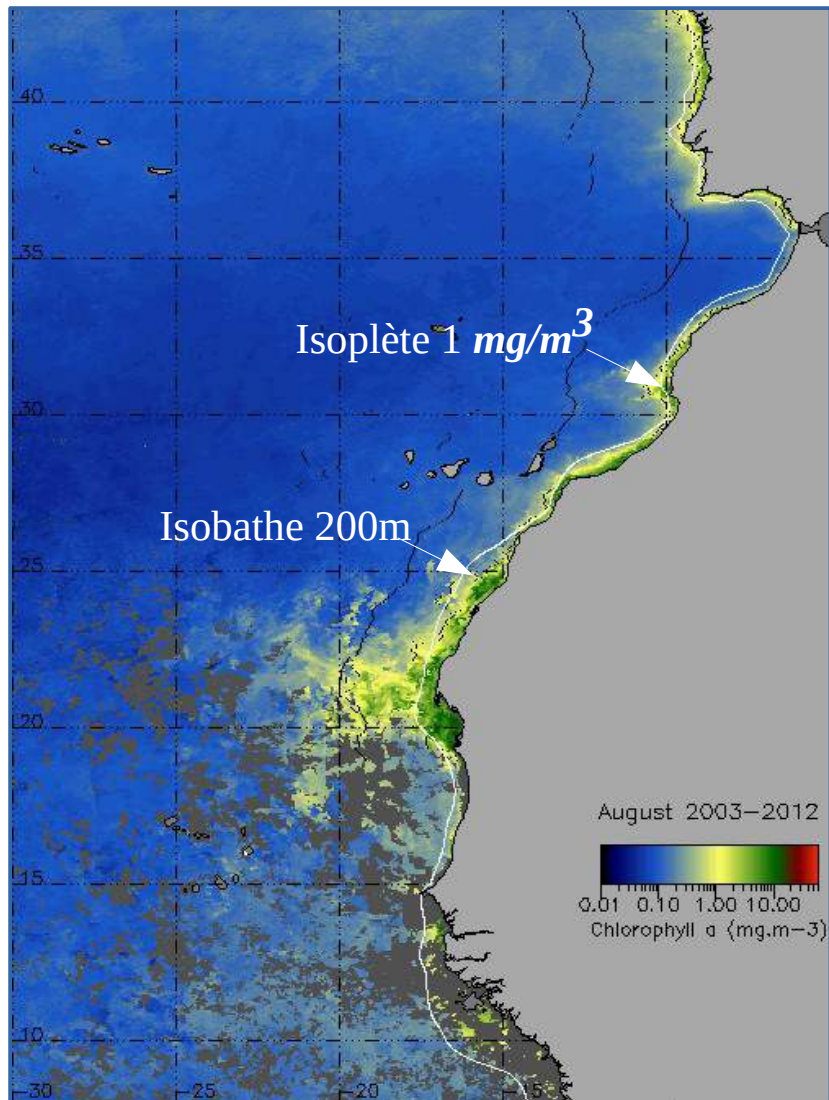
Indice de Gradient côte-large : Grad_{Index} ($^{\circ}\text{C km}^{-1}$)

$$\text{Grad}(\text{SST}(i, j)) = \frac{\text{Mean}(\text{SST}_{(0:i+\text{kernel}, j-1:j+1)}) - \text{Mean}(\text{SST}_{(i-\text{kernel}:0, j-1:j+1)})}{\text{Dist}[\text{kernel}]}$$

Indice d'occurrence frontale



✓ Indicateurs bio-optiques



La concentration chlorophyllienne moyenne : Chl_{avg} (mg/m³)

$$Chl_{avg} = \frac{\sum_{\text{coast}}^{Isoplète (1 mg/m^3)} [Chl_a]}{n}$$

La concentration chlorophyllienne maximale: Chl_{max} (mg/m³)

$$Chl_{max} = \text{Max} [Chl(\text{Coast} : \text{Isoplète}_{(1mg/m^3)})]$$

L'indice de chlorophylle : Chl_{index} (mg/m³ km)

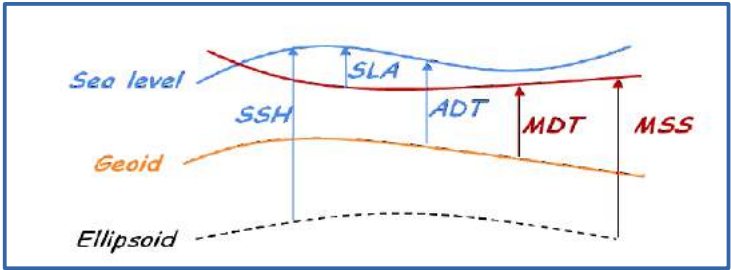
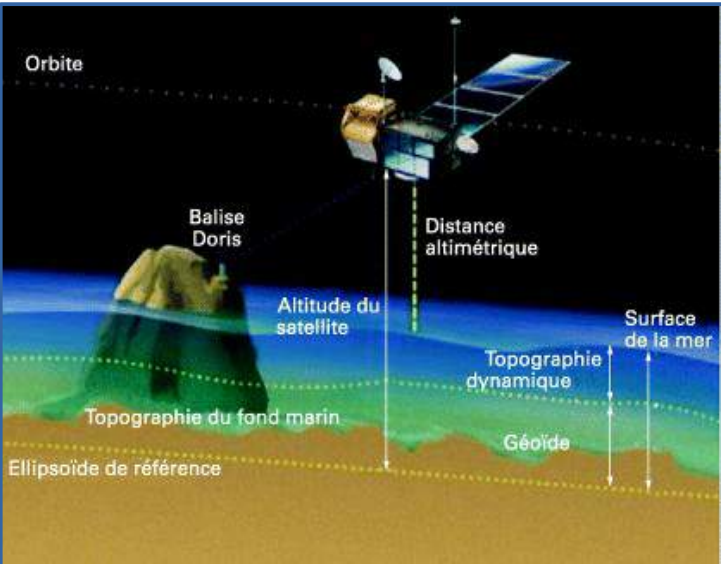
$$Chl_{index} = \int_0^{Isoplète (1 mg/m^3)} (chl_a) ds$$

L'extension chlorophyllienne : Chl_{ext} (km)

$$Chl_{ext} \text{ (km)} = \text{Dist}[\text{Coast} (0\text{km}) : \text{Isoplète} (1\text{mg}\cdot\text{m}^{-3})]$$

• Données et méthodes

✓ Indicateurs altimétriques



$$ADT = MDT + SLA = SSH - \text{géoïde}$$

$$\bar{u} = -\frac{g}{f} \frac{\partial (ADT)}{\partial y}$$

$$\bar{v} = \frac{g}{f} \frac{\partial (ADT)}{\partial x}$$

$$v_{\theta} = \sqrt{\bar{u}^2 + \bar{v}^2}$$

Énergie cinétique de turbulence : $EKE \text{ (m/s)}^2$ $EKE = \frac{1}{2} (\bar{u}^2 + \bar{v}^2)$

Principe de l'altimétrie. Figure extraite du site aviso (<http://www.jason.oceanobs.com/>).

Image de synthèse de 7 jours (du 07-09 au 13-09 2008) de la Topographie dynamique absolue (SSH) superposée par le courant géostrophique.

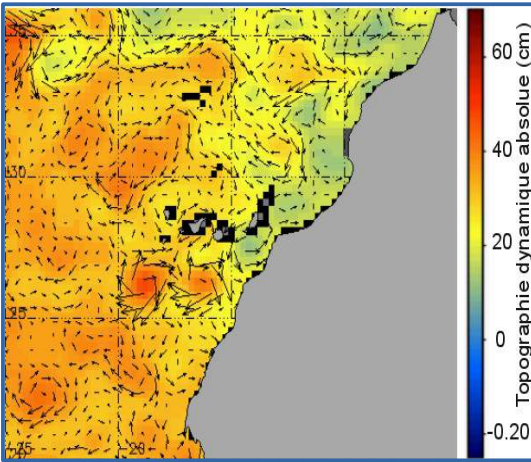
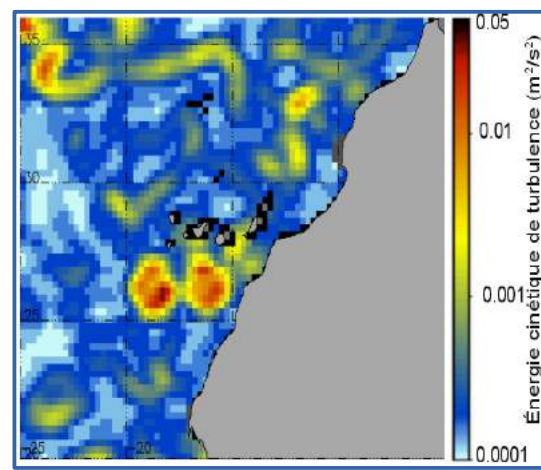
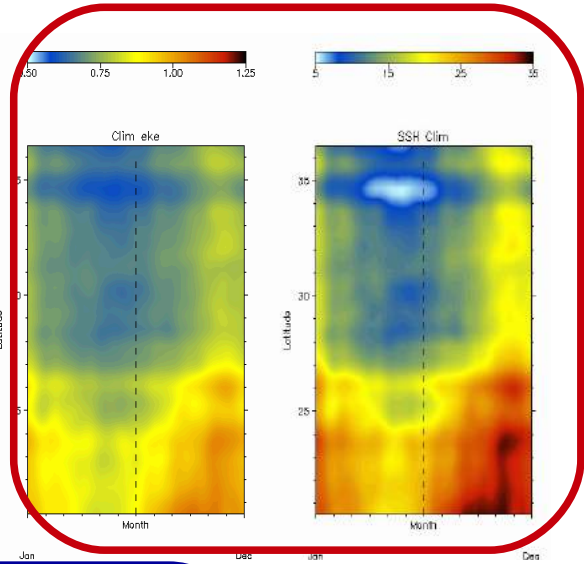
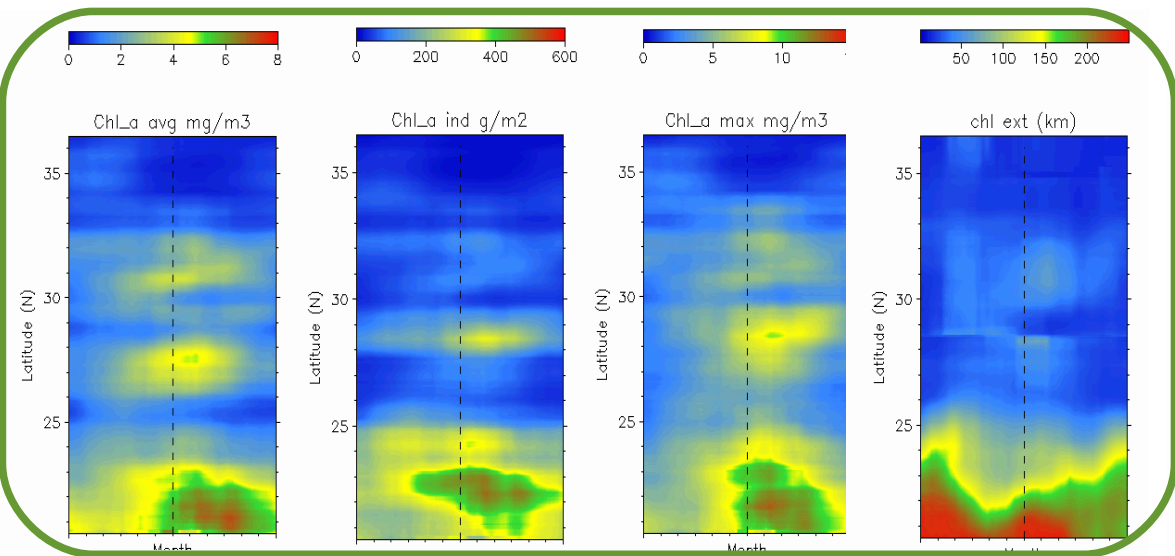


Image de synthèse de 7 jours (du 07-09 au 13-09 2008) de l'Énergie cinétique de turbulence.



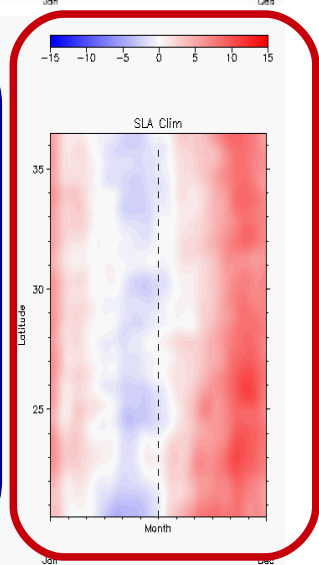
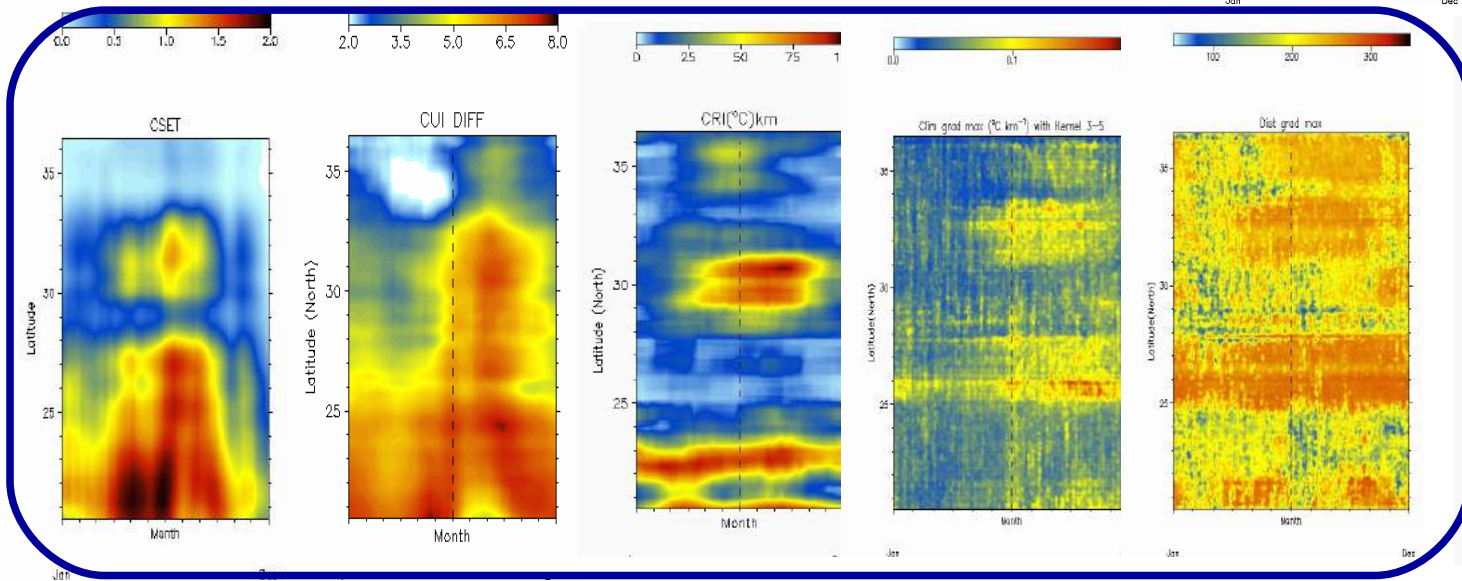
✓ Variabilité saisonnière des indicateurs méso-échelles

Bio-optical response



Sea Surface Topography

Physical forcing



● Analyse des séries temporelles: IUC_{SST}

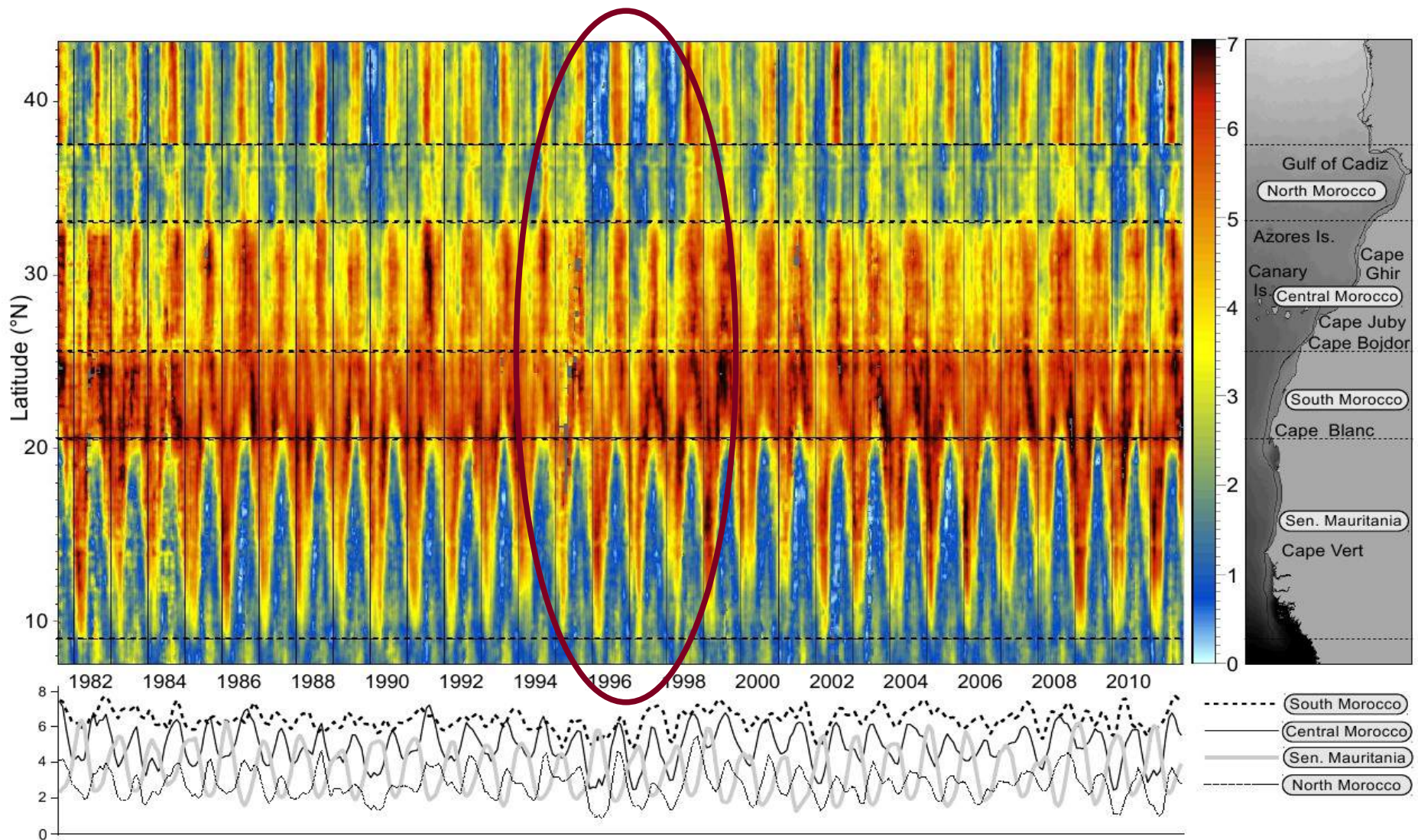
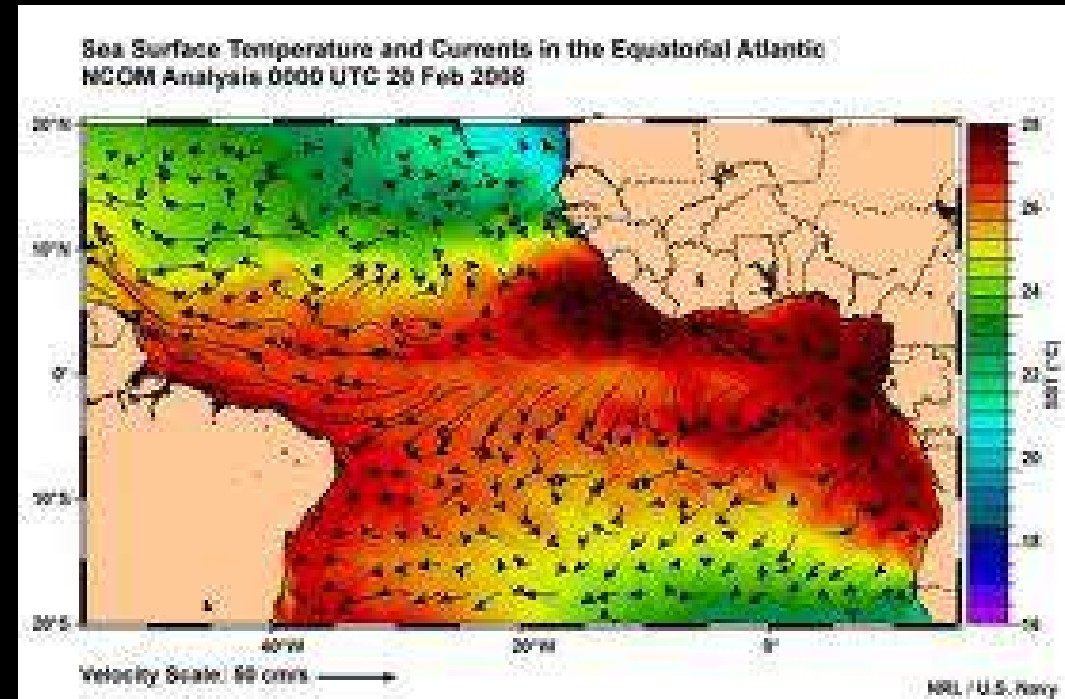
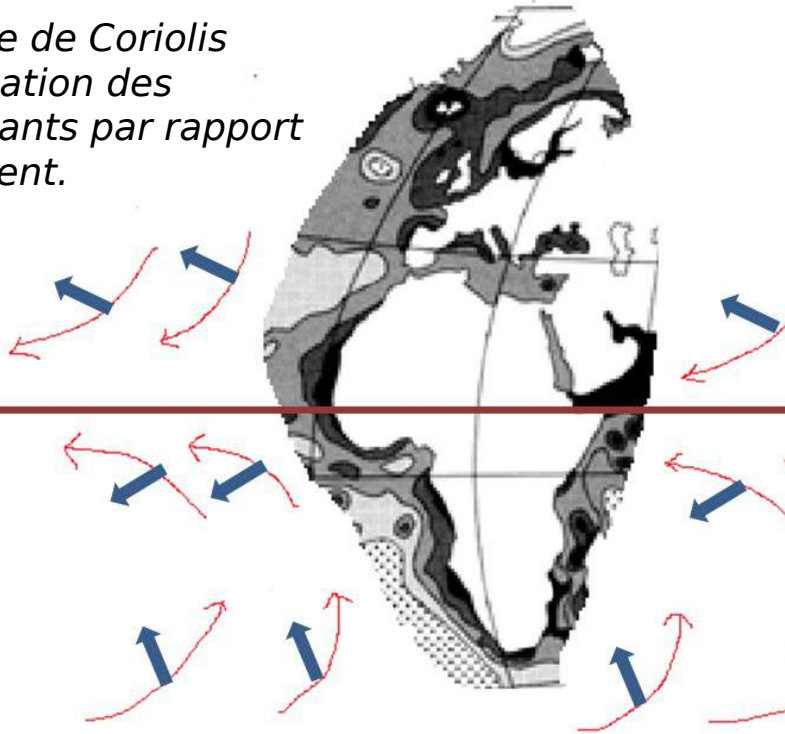


Diagramme Hovmöller de la variabilité saisonnière et interannuelle de la IUC_{SST} (Panneau du haut) de 1982 à 2011 et la série temporelle des quatre zones caractéristiques définies auparavant (panneau du bas).

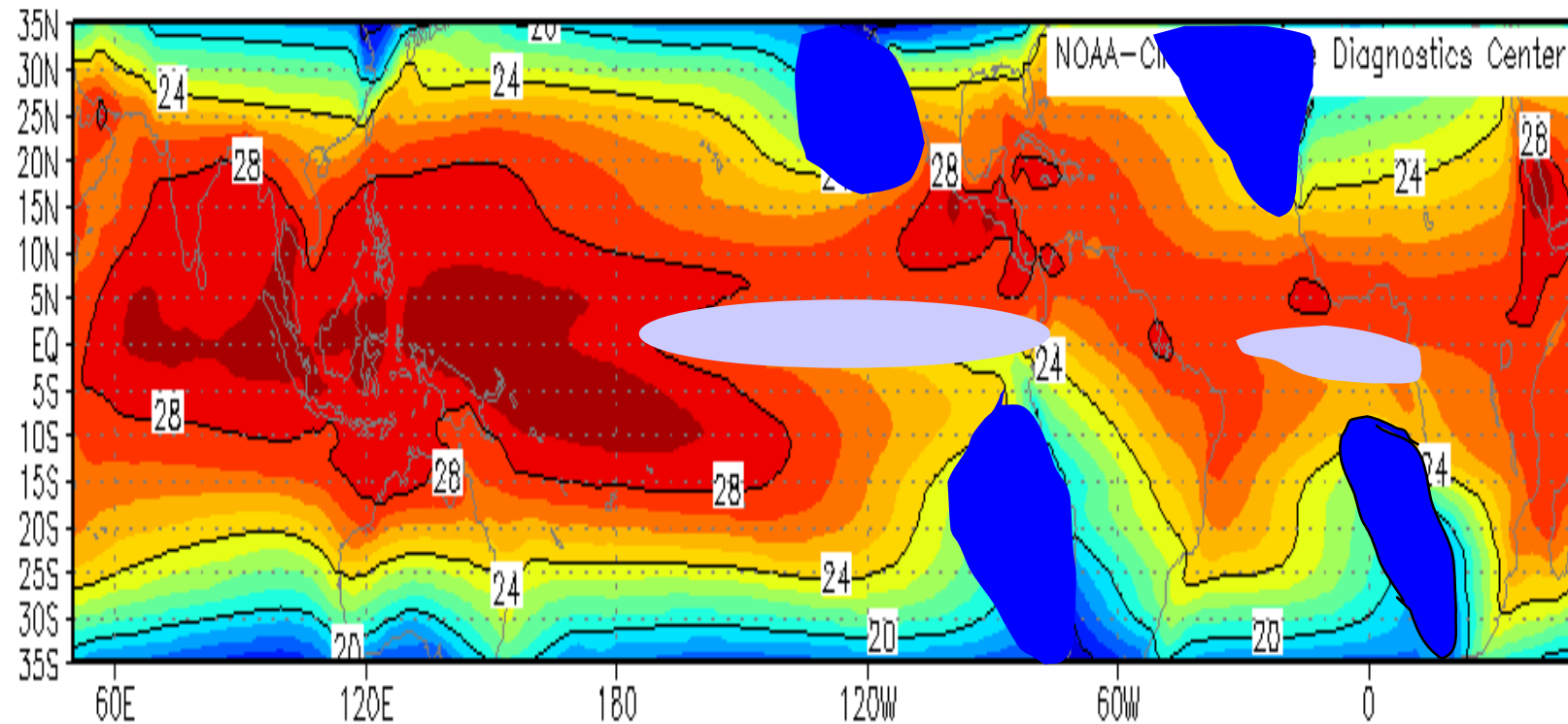
Écosystème Équatorial

Force de Coriolis
Déviation des
courants par rapport
au vent.



UP-WELLING EQUATORIAL

La **convergence** des **vents** amène une **divergence** des **courants**.
Les eaux de surface s'écartent, et l'eau profonde remonte (nutriments).

*Température de surface de la mer en moyenne annuelle.**Source : RéAnalyse NCEP*

L'upwelling équatorial  et l'upwelling côtier  sont prononcés sur le Pacifique Est et l'Atlantique Est, ce qui explique qu'on observe des langues d'eaux plus fraîches dans ces régions.