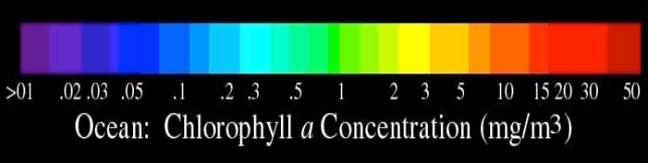
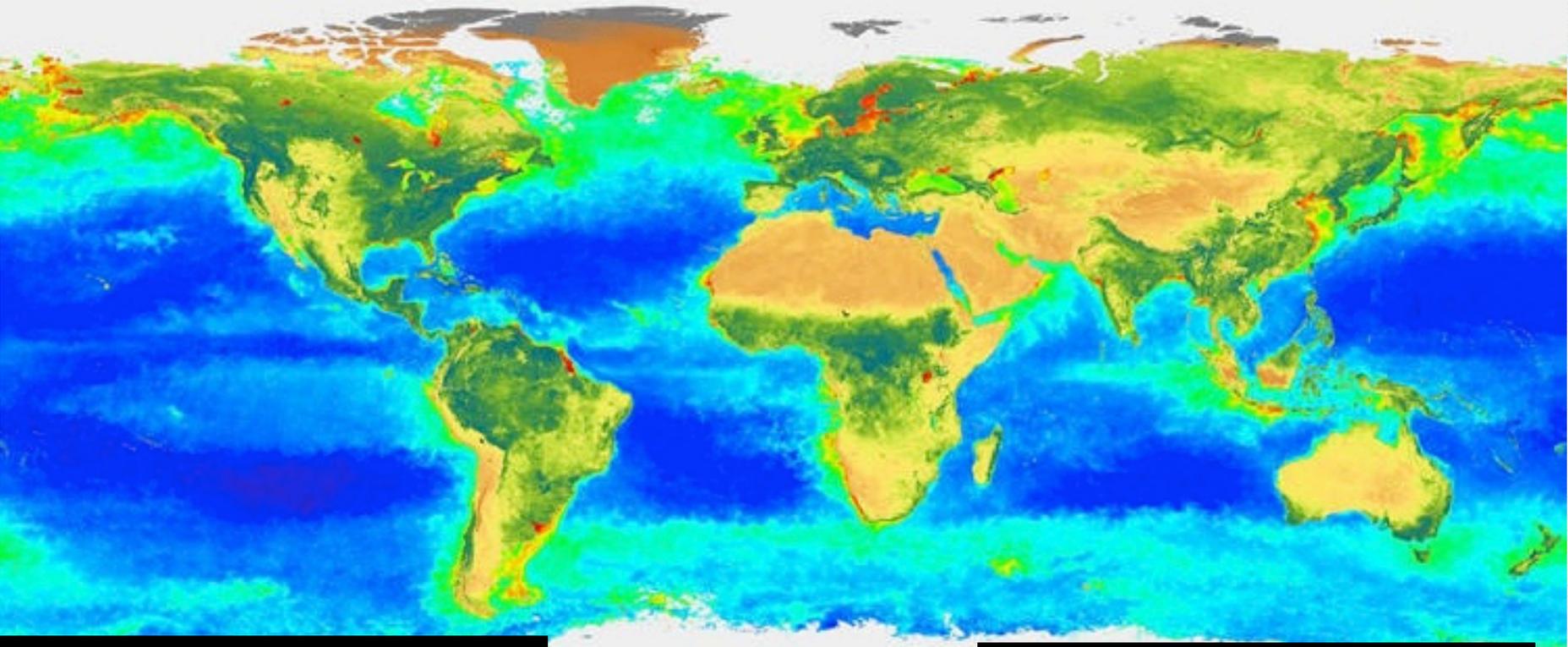


La dynamique des océans

Travaux dirigés

Exercice 1

Carte de densité de la chlorophylle a



(Source : oceancolor SeaWIFS, nasa.gov)

Exercice 1

Carte de température moyenne de surface

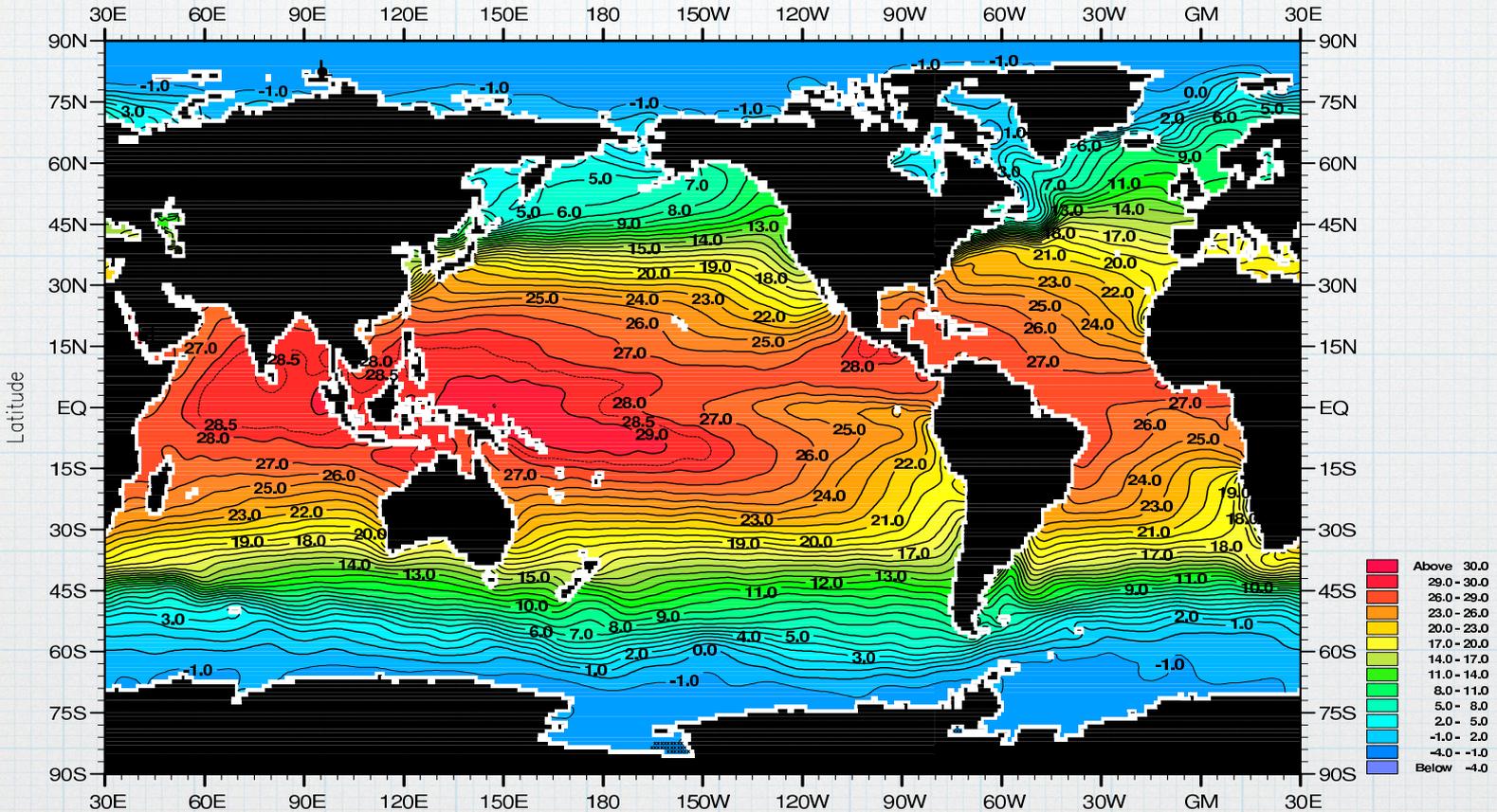


Fig. A2-1. Annual mean temperature (°C) at the surface.

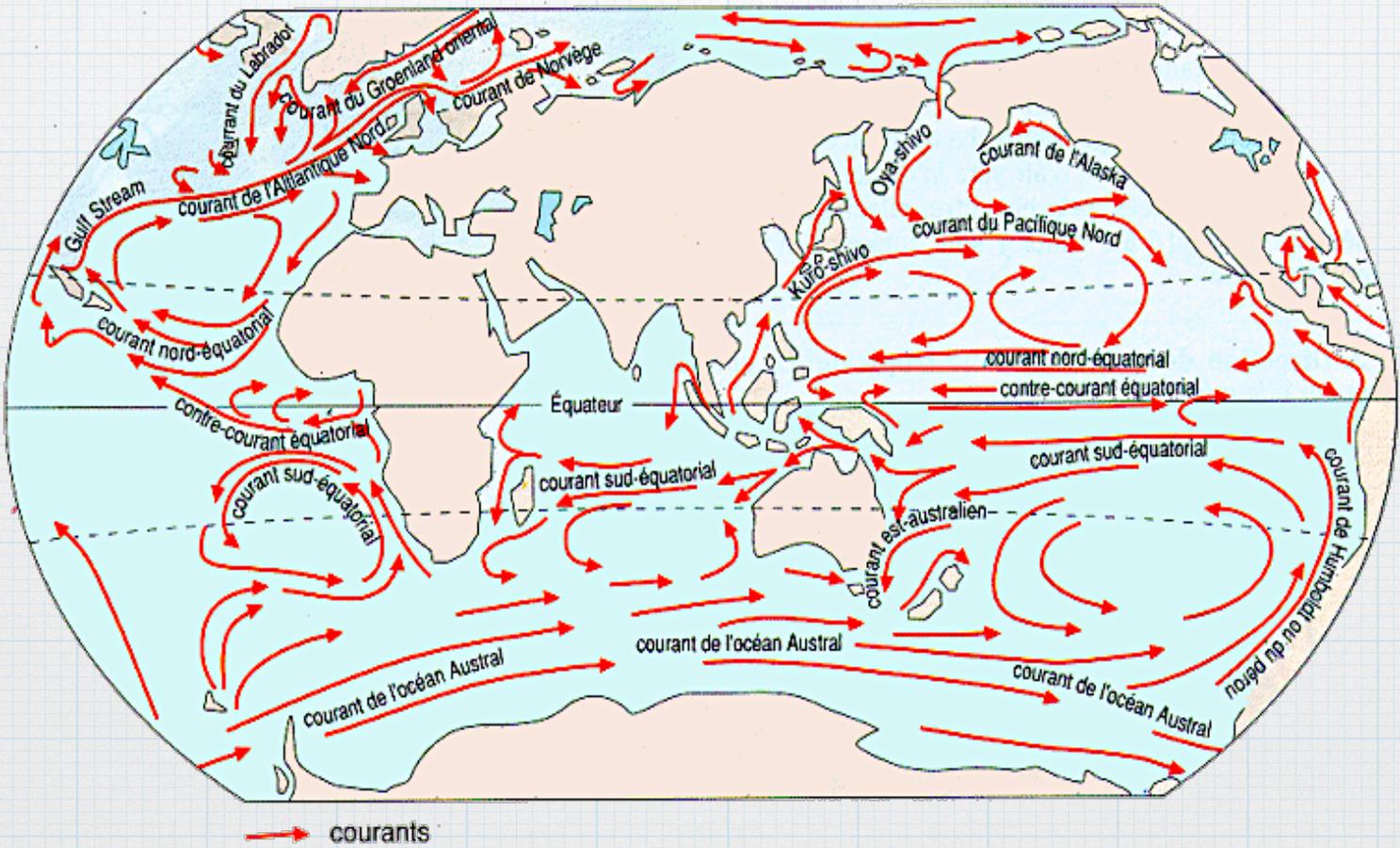
Minimum Value= -1.93

Maximum Value= 29.93

Contour Interval: 1.00

(Source : World Ocean Atlas 2001, Ocean Climate Laboratory, NODC)

Carte des courants de surface



(Source : <https://test.webedu.eduscol.education.fr/>)

Exercice 1

Carte de densité de la chlorophylle a

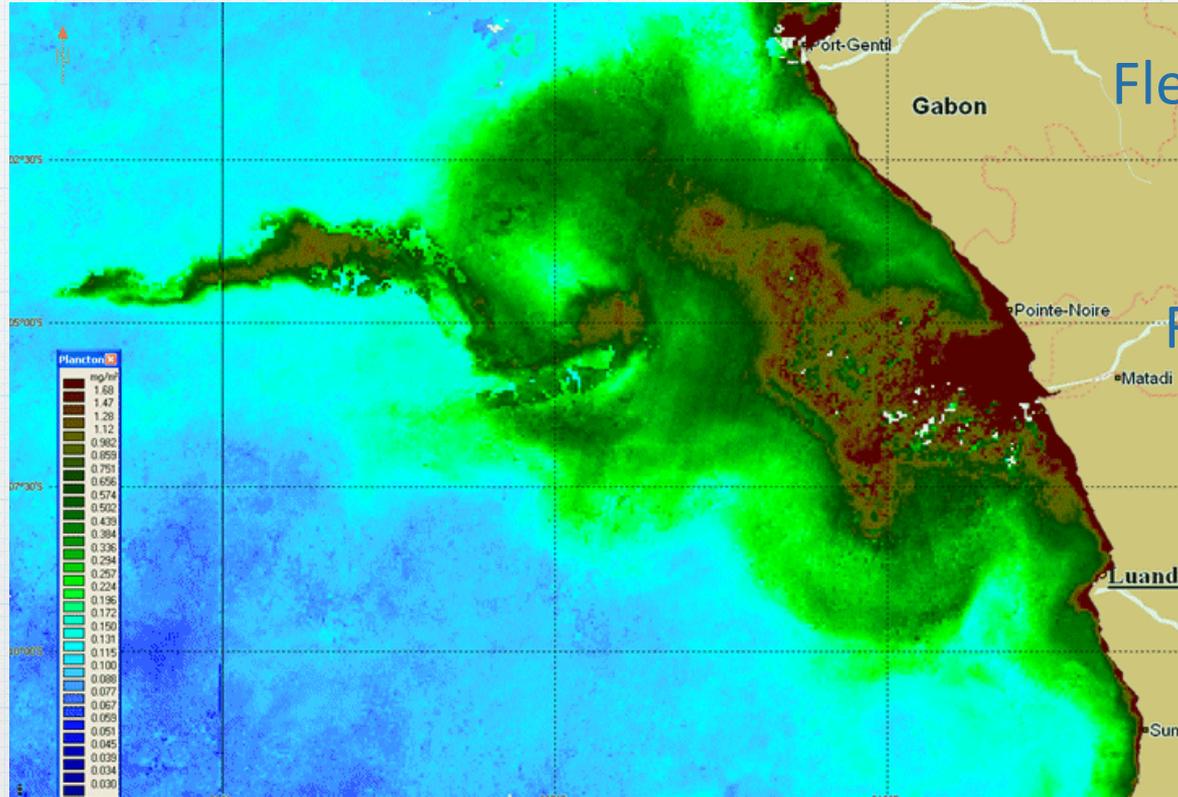
Question 1 – La richesse en plancton est-elle corrélée à la température de l'eau ? NON

Question 2 – Établir une corrélation entre les zones pauvres en plancton et les cartes fournies. Les régions pauvres en phytoplancton semblent correspondre aux **grandes boucles subtropicales** de courant de surface.

Question 3 – Repérer les zones les plus riches en plancton et indiquer leurs caractéristiques. Il s'agit surtout

- des zones côtières, à toutes latitudes mais avec proximité de grands fleuves s'y déversant (apport d'éléments nutritifs ?) ;
- des lacs intracontinentaux, ainsi que les mers quasiment fermées (mer Noire, mer Baltique).

Carte de densité planctonique dans le Golfe de Guinée

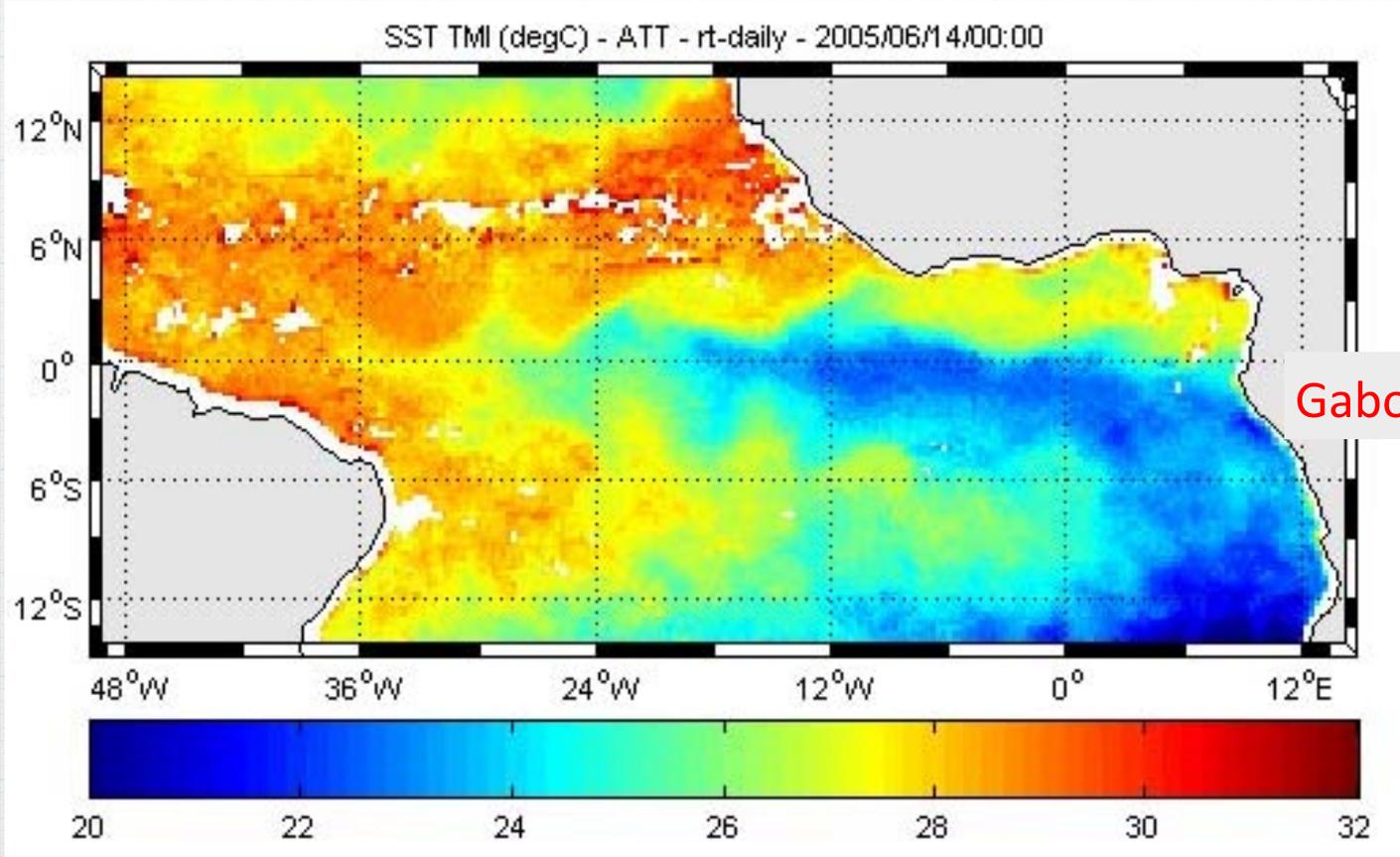


Fleuve Ogooué

Fleuve Congo

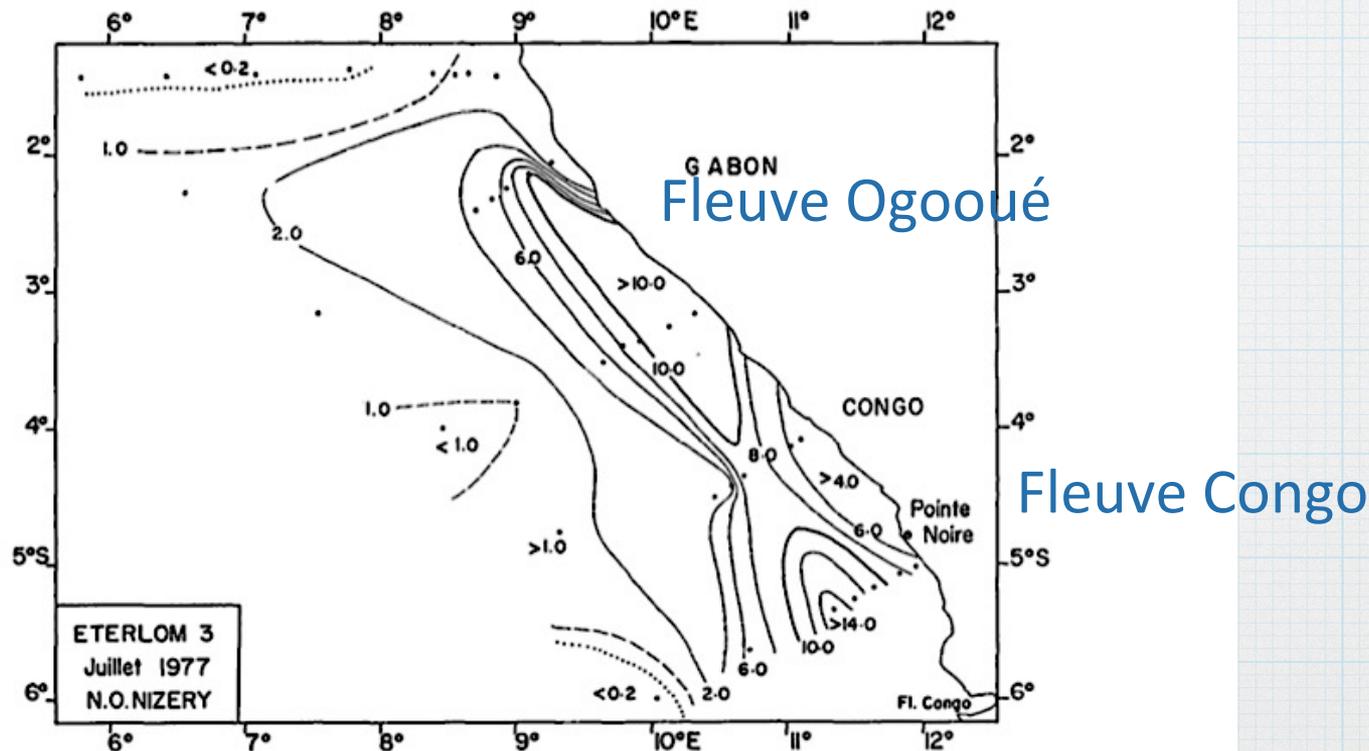
Exercice 1

Carte de température d'eau de surface



<https://www.emse.fr/~bouchardon/enseignement/processus-naturels/up1/web/wiki/MC%20-%20Ocean%20-%20Circulation%20thermohaline%20-%20Belkatir%20Coutens%20&%20Rondeau.htm>

Carte de la concentration en nitrates



Distribution des nitrates (en mmol.m^{-3}) à la surface de l'océan en juillet 1977

Exercice 1

Carte de densité de la chlorophylle a

Question 4 – Préciser le lien entre les propriétés des eaux et l'abondance de phytoplancton.

Les eaux riches en plancton sont :

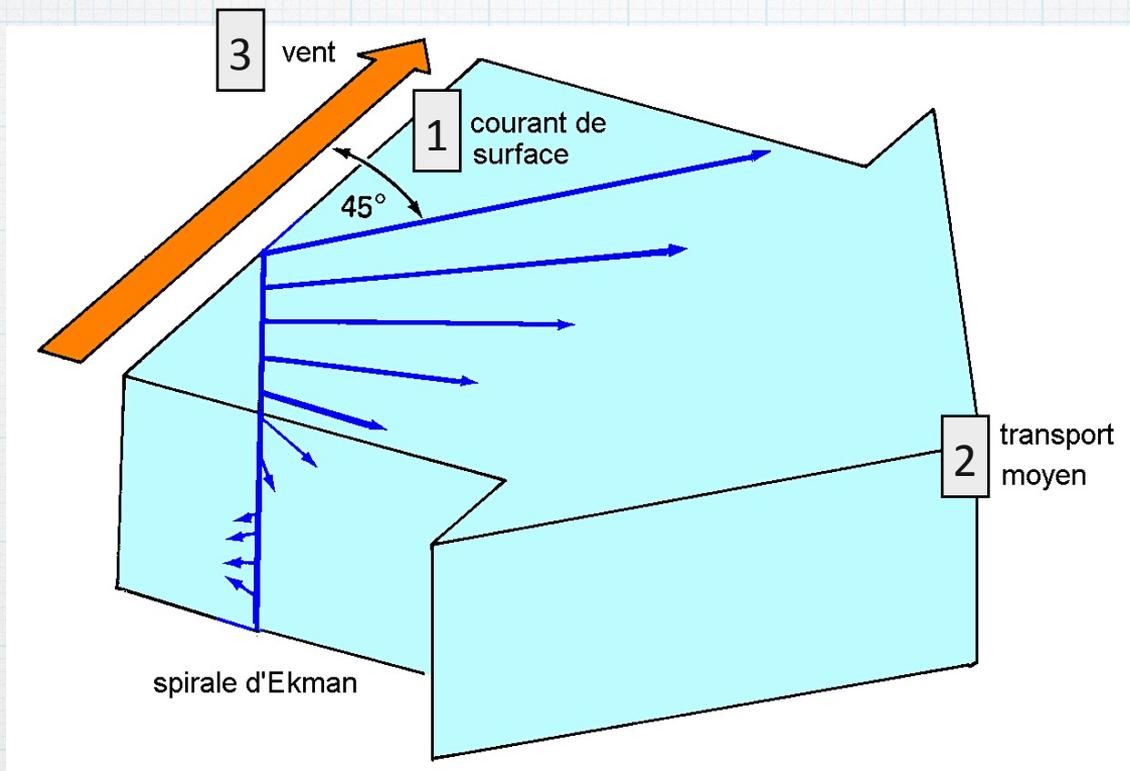
- froides : 20 à 24°C
- proches d'un apport de nutriments par de grands fleuves

Question 5 – Proposer une hypothèse sur l'origine des eaux de surface.

Les eaux de surface sont plus froides que dans le reste de l'océan Atlantique à cette latitude.

- soit l'eau des fleuves est froide : peu probable dans cette région d'Afrique ;
- soit l'eau provient des profondeurs : il y aurait alors une remontée des eaux profondes (courant ascendant appelé « upwelling »).

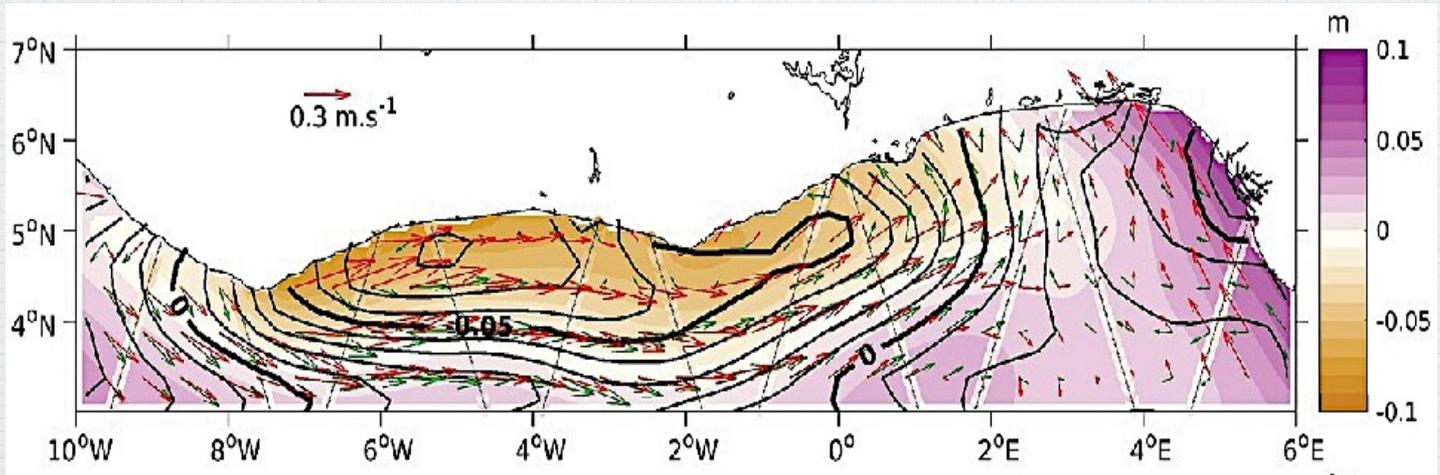
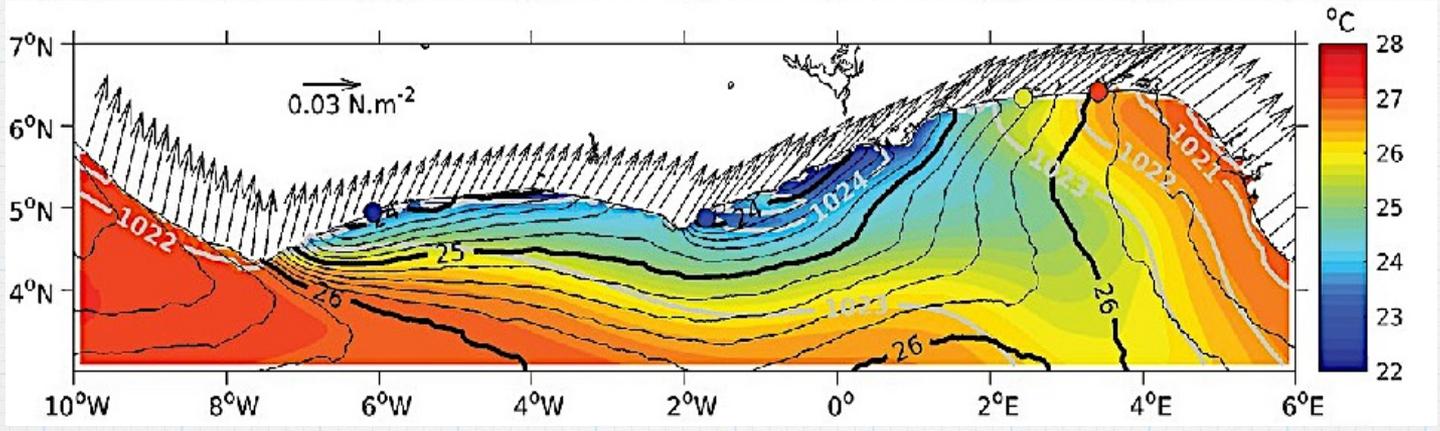
La spirale d'Ekman



Il s'agit de l'hémisphère Nord car la déviation de Coriolis se fait vers **la droite**

Exercice 1

Cartes de la zone d'étude 2



(Source : Alory, Front. Mar. Sci., 2021)

Zone d'étude 2



Le déficit d'eau sera compensé par une remontée d'eau profonde (froide) => upwelling

Exercice 1

Schéma d'un upwelling

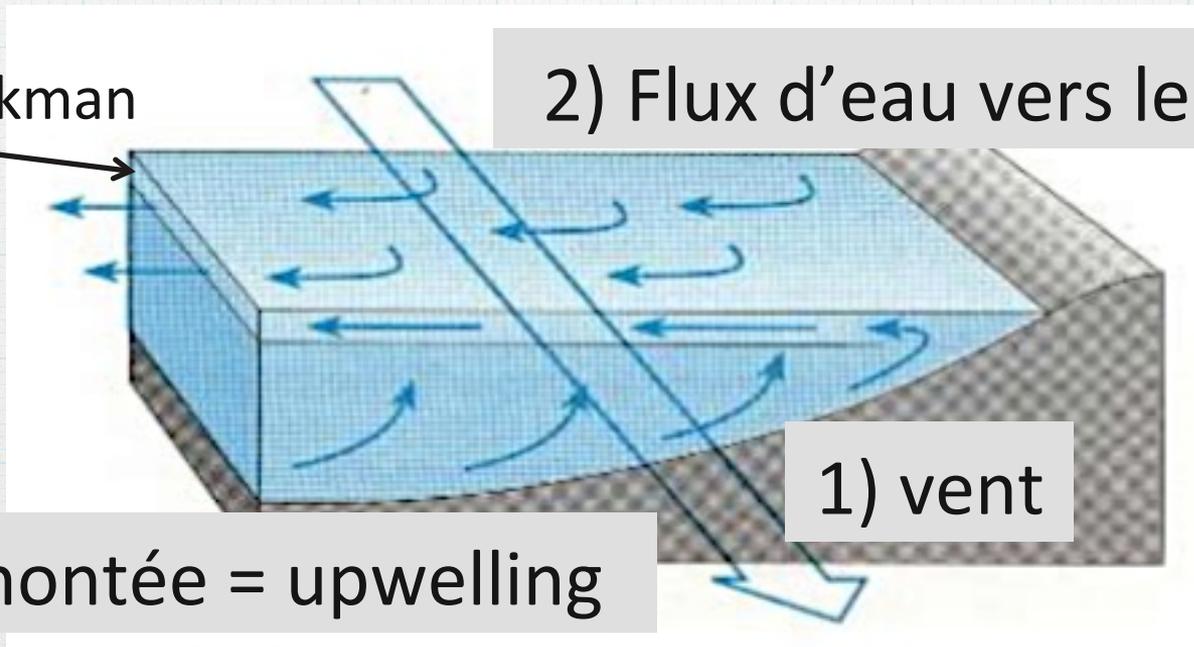
Question 10 – Schématiser la conséquence de ce déficit d'eau superficielle sur une coupe et justifier le terme « upwelling » utilisé.

Couche d'Ekman
< 100 m

2) Flux d'eau vers le large

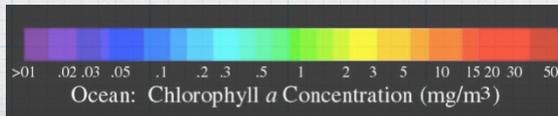
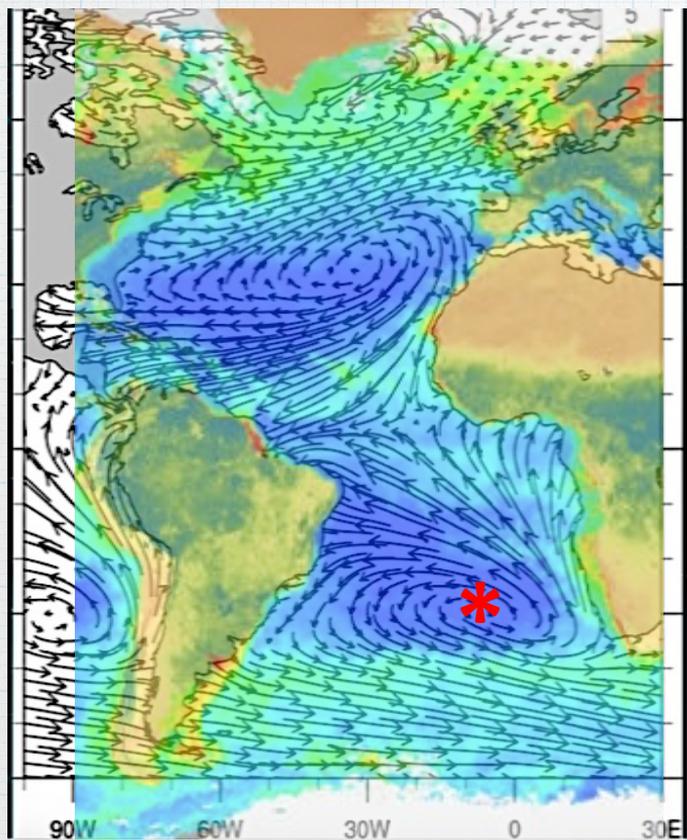
1) vent

3) Remontée = upwelling

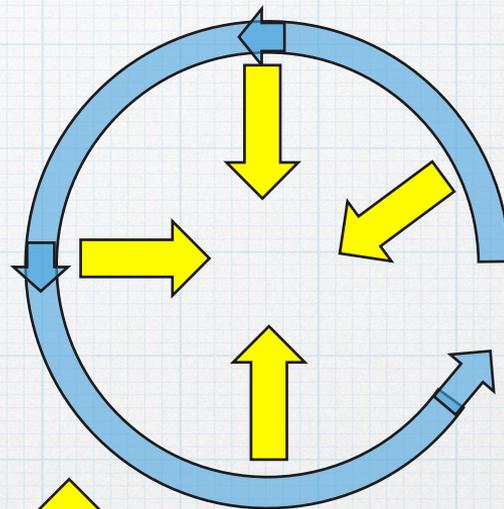


Exercice 1

Cartes superposées



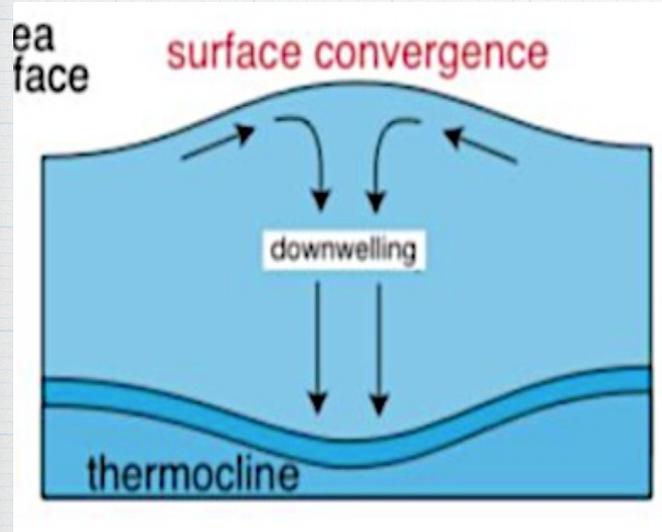
Boucle de vent



Transport moyen d'Ekman

Attention : hémisphère sud
=> déviation vers la gauche !

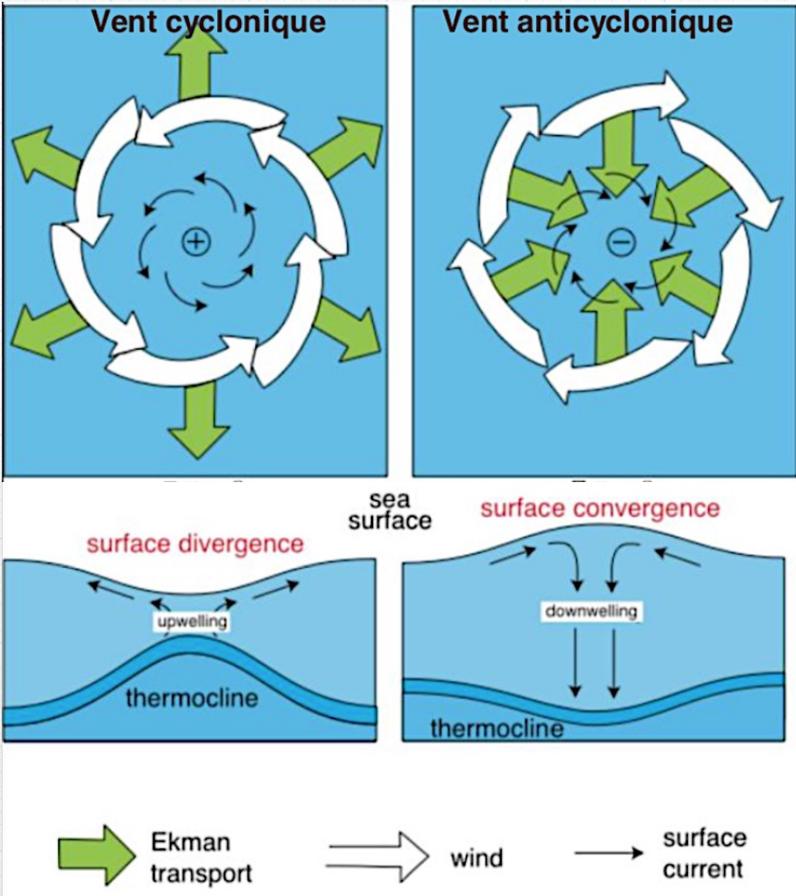
Carte de densité de la chlorophylle a



Il s'agit d'un cas de convergence : il y a alors un downwelling.

Pas de remontée d'eau profonde or l'eau profonde est riche en éléments minéraux dissous, qui n'ont pas été consommés car en profondeur, pas de lumière donc pas de photosynthèse.

BILAN : hémisphère Nord



Le tritium d'origine anthropique

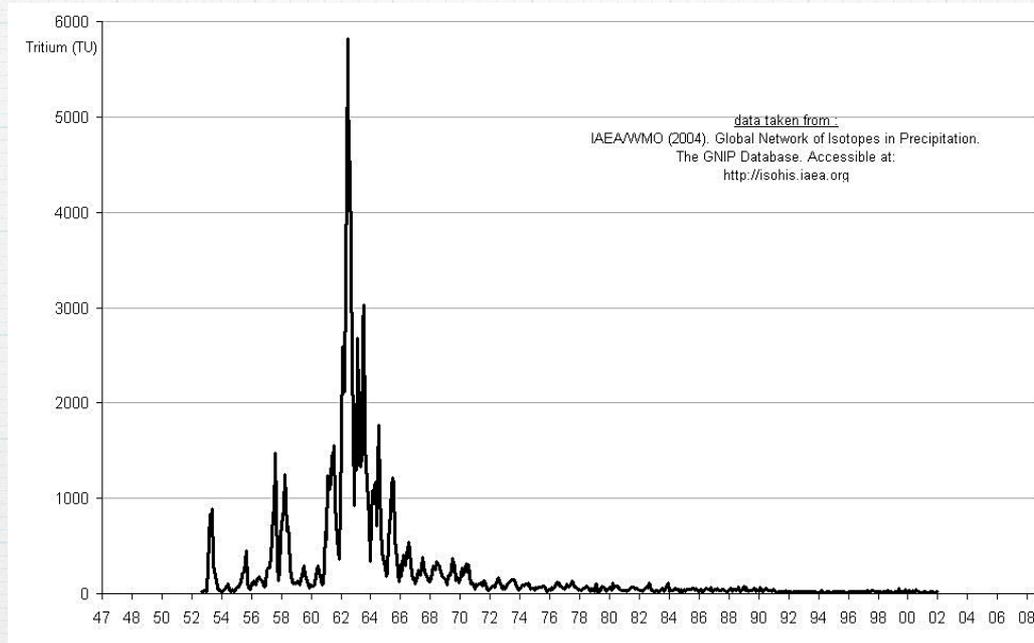


Figure 1 - Variation des doses de tritium mesurées dans les précipitations échantillonnées à Ottawa des années 1950 à 2000. L'unité est le TU (Tritium Unit) qui équivaut à 1 atome radioactif pour 10^{18} atomes d'H, soit une activité de $0,0118 \text{ Bq.kg}^{-1}$. Le seuil de toxicité est de 84 000 TU. (Source : GNIP Database)

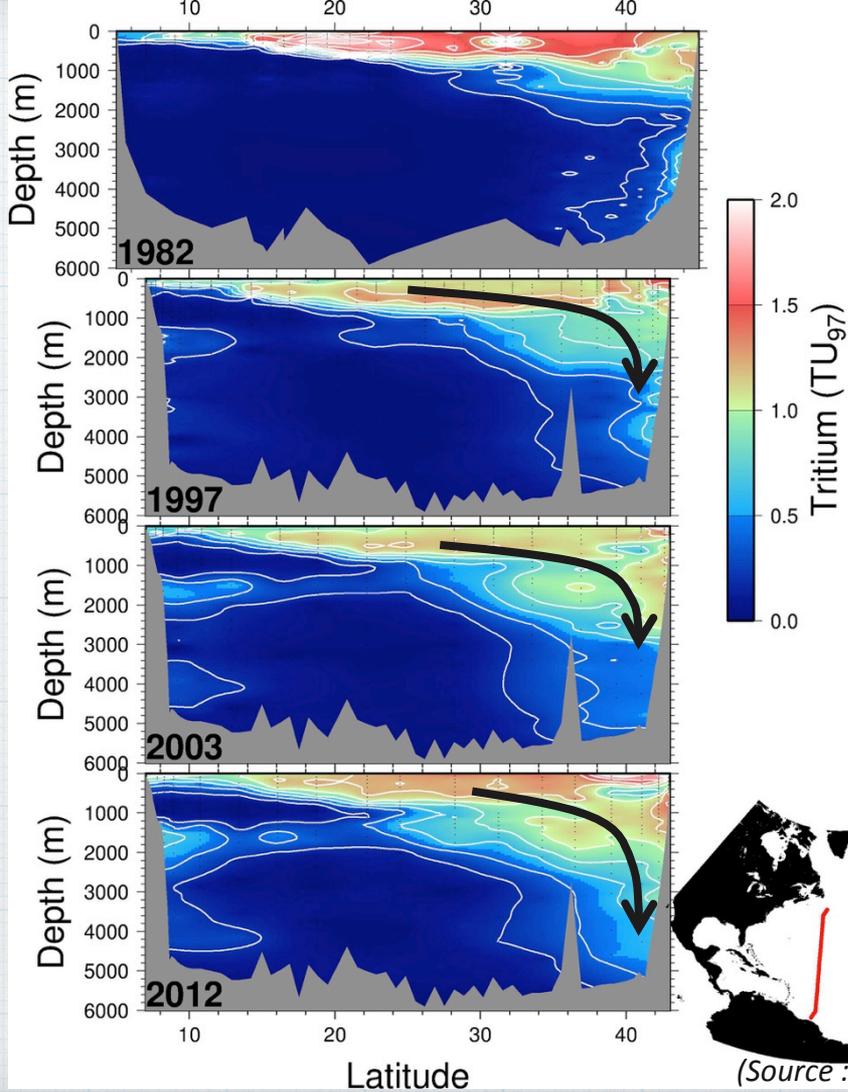
Le tritium d'origine anthropique

Question 1 – Expliquer pourquoi le tritium peut être utilisé comme marqueur océanique.

Une forte quantité de tritium a été produite et émise dans l'atmosphère vers 1962. On se rend compte que ce pic disparaît en quelques années : le tritium a disparu, notamment en passant en solution dans les eaux superficielles. On a donc un marquage des eaux de surface : les eaux riches en tritium étaient en surface entre 1960 et 1965. Il est alors possible de les suivre.

Il faut néanmoins tenir compte de la diminution de sa quantité car sa demi-vie est courte (12 ans).

Exercice 2



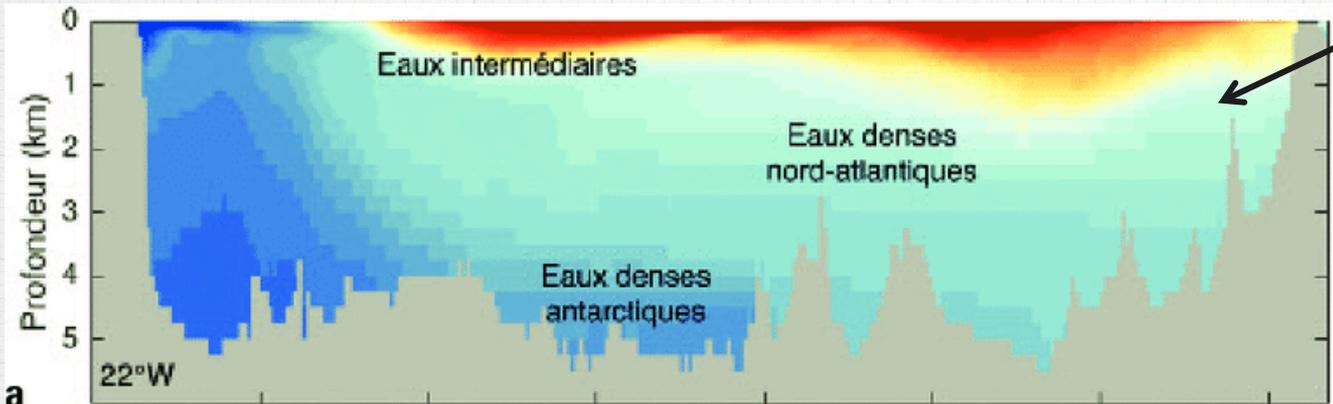
On retrouve bien le maximum de ^3H en surface de l'Océan Atlantique en 1982

L'eau de surface a **plongé** vers le Nord de l'Atlantique.

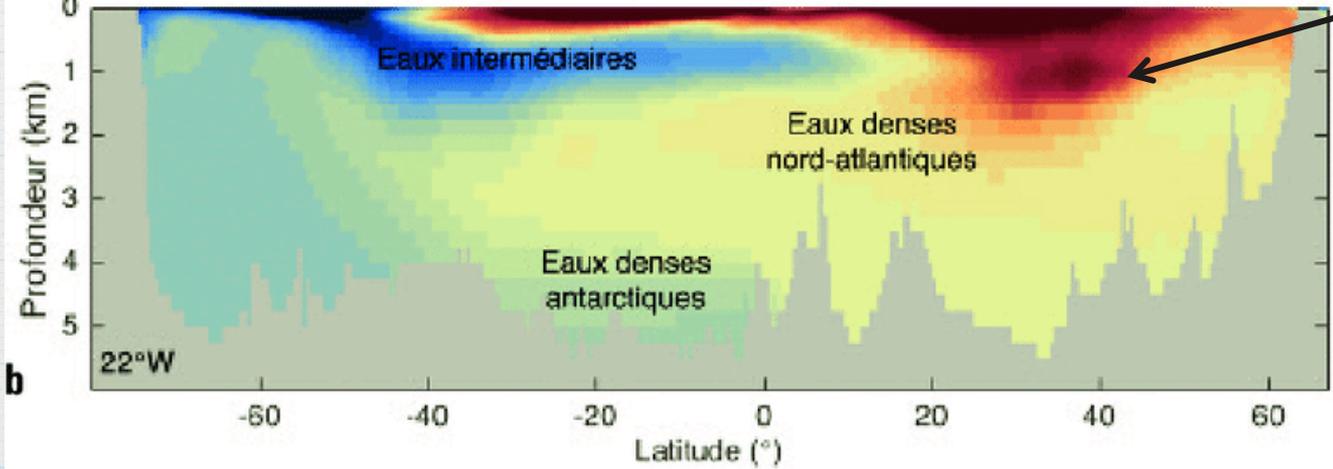
La diminution du signal peut être liée à la désintégration des atomes ^3H .

Exercice 2

Suivi de température et salinité



La température diminue vers le pôle



La salinité augmente vers le pôle

(Source : <https://icdc.cen.uni-hamburg.de/1/daten/ocean/woce-climatology.htm>)

Hausse de densité => plongée

Causes probables

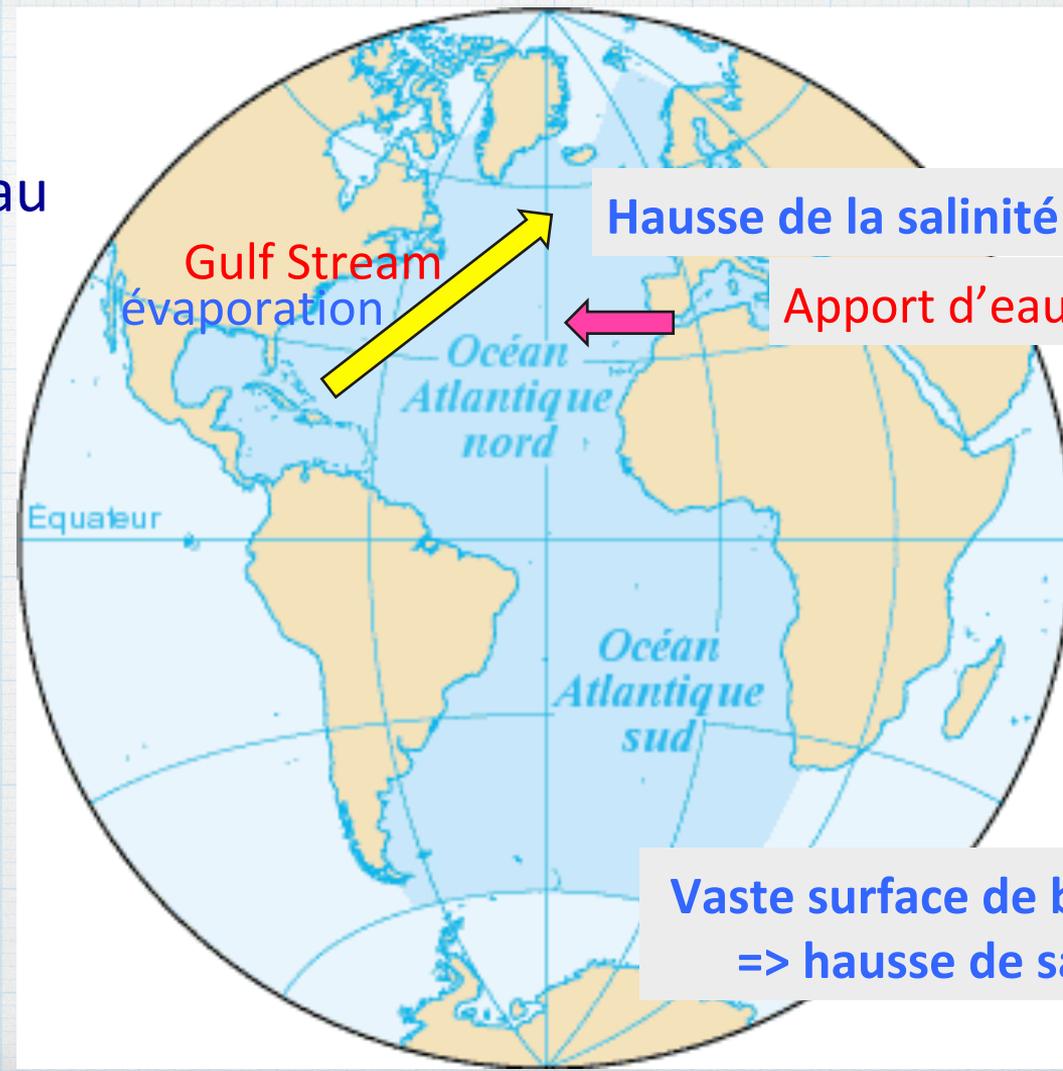
- Baisse des températures qui induit une hausse de la densité.
- Augmentation de la salinité par congélation de l'eau de surface en banquise : la glace formée est constituée d'eau douce donc l'eau résiduelle est plus salée, ce qui augmente sa densité.

Vu la hausse de salinité dans l'Atlantique, observée dès 35°N, il est possible aussi d'avoir une forte évaporation de l'eau du Gulf Stream (au passage dans les Caraïbes) et un apport d'eau très salée (38 ‰) issue de la Méditerranée. Ce sont les causes majeures.

C'est différent dans l'Antarctique où c'est la congélation de la banquise qui explique en majorité la plongée des eaux océaniques.

Atlantique

Nord et Sud : des origines différentes au plongement de l'eau océanique.



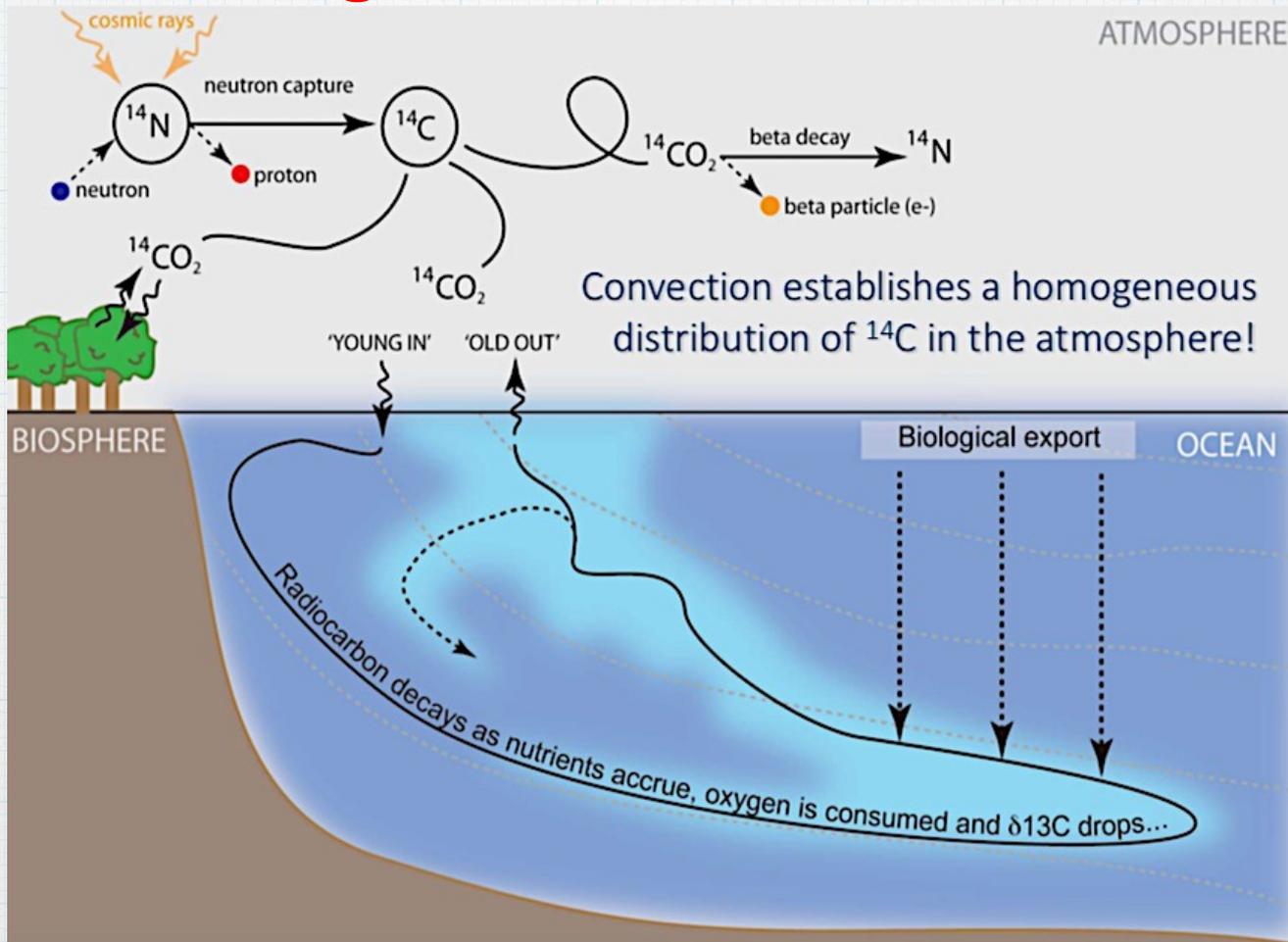
Hausse de la salinité

Apport d'eau salée (38 %)

Vaste surface de banquise
=> hausse de salinité

Exercice 3

Origine et devenir du ^{14}C



Source : Institute for Structure and Nuclear Astrophysics, <https://isnap.nd.edu>

Exercice 3

Les radionucléides

Question 1 – Déterminer le radionucléide le plus approprié pour suivre les courants marins profonds, sur des distances de plusieurs milliers de km.

Un courant rapide de surface parcourt 40 000 km en $4 \cdot 10^7$ secondes soit 460 jours. Un courant profond, estimé plus lent, mettra plusieurs années. Le ^{14}C est un bon choix car sa période est supérieure à l'ordre du temps de parcours de l'eau.

Question 2 – Le pic de production des années 1960 va-t-il être décelé dans les courants profonds de plus de 4 000 m ? Pour atteindre 4 000 m de fonds à $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, il faut 4 000 s soit 1,1 jour. Il est donc possible de doser le $^{14}\text{CO}_2$ des années 1960 dans le fond océanique.

Par contre, pour un parcours plus lointain, il sera dilué. Il faudra en tenir compte dans les analyses de dosage.

Analyse de $\Delta^{14}\text{C}$

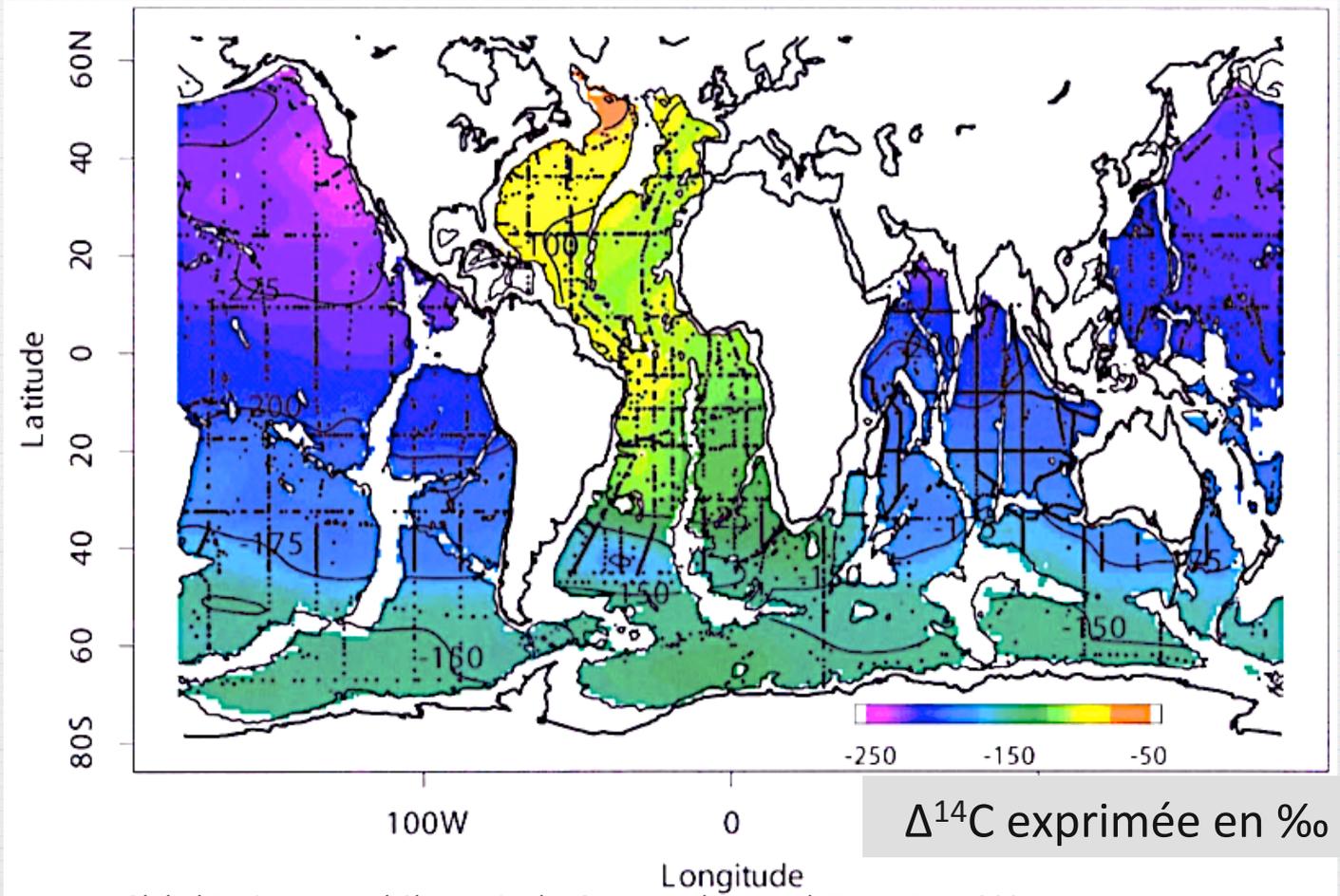
$$\Delta^{14}\text{C} = 1000 \times \left(\frac{\left(\frac{^{14}\text{C}}{^{12}\text{C}}\right)_{\text{échantillon}}}{\left(\frac{^{14}\text{C}}{^{12}\text{C}}\right)_{\text{référence}}} - 1 \right)$$

Question 3

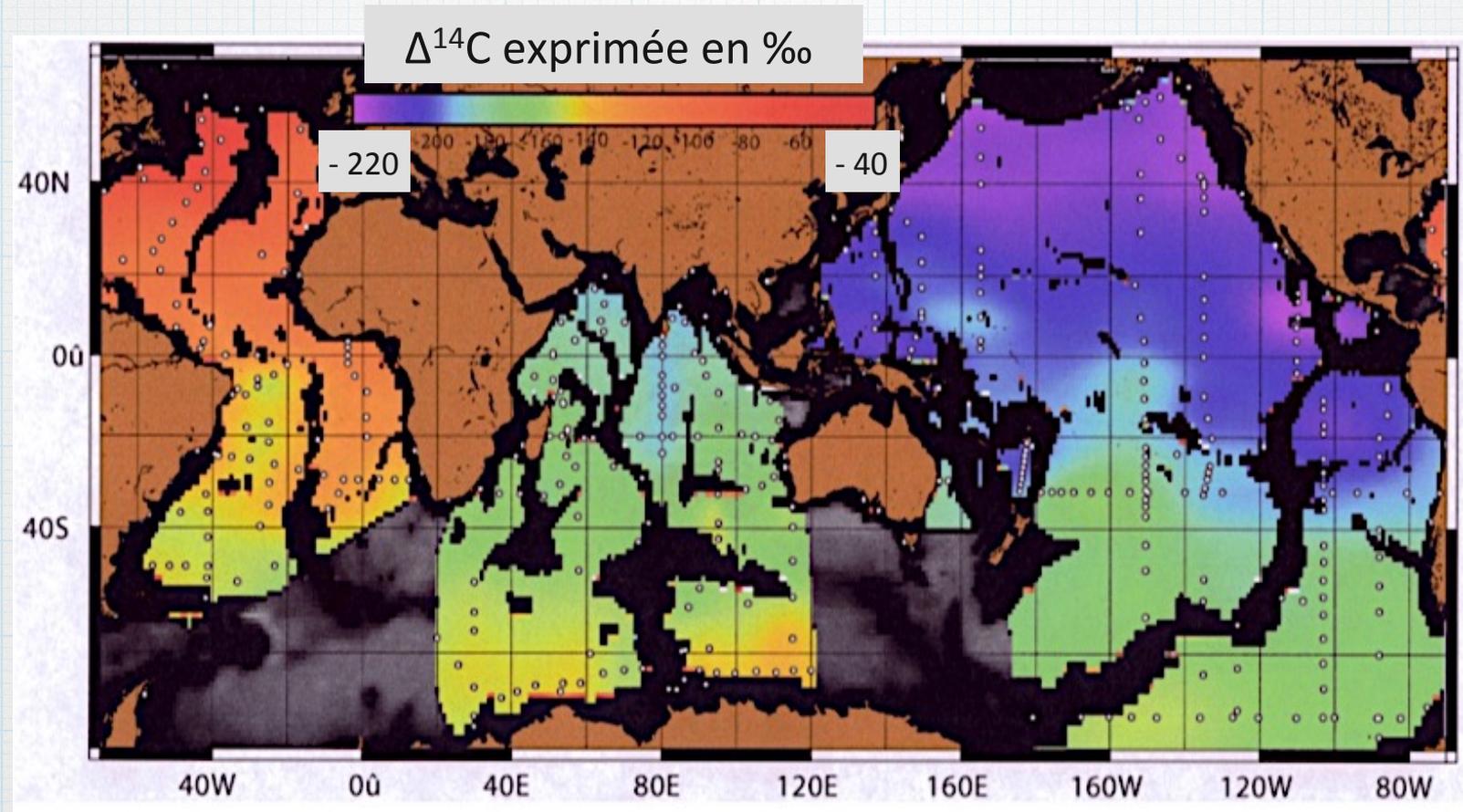
Le ^{14}C se désintègre au fil du temps donc la valeur de ^{14}C de l'échantillon est forcément plus faible que la valeur de ^{14}C de la référence, qui est l'eau de surface.

Donc le rapport des $(^{14}\text{C} / ^{12}\text{C})$ de l'échantillon est plus petit que le rapport $(^{14}\text{C} / ^{12}\text{C})$ de la référence donc la valeur de $\Delta^{14}\text{C}$ est négative et elle l'est de plus en plus avec le temps.

Carte de l'abondance de ^{14}C à 3 500 m de profondeur



Carte de l'abondance de ^{14}C à 300 m du fond



Exercice 3

Carte de densité de la chlorophylle a

Question 4 – Analyser la carte de la figure 2. Situer les eaux profondes les plus jeunes et les plus âgées.

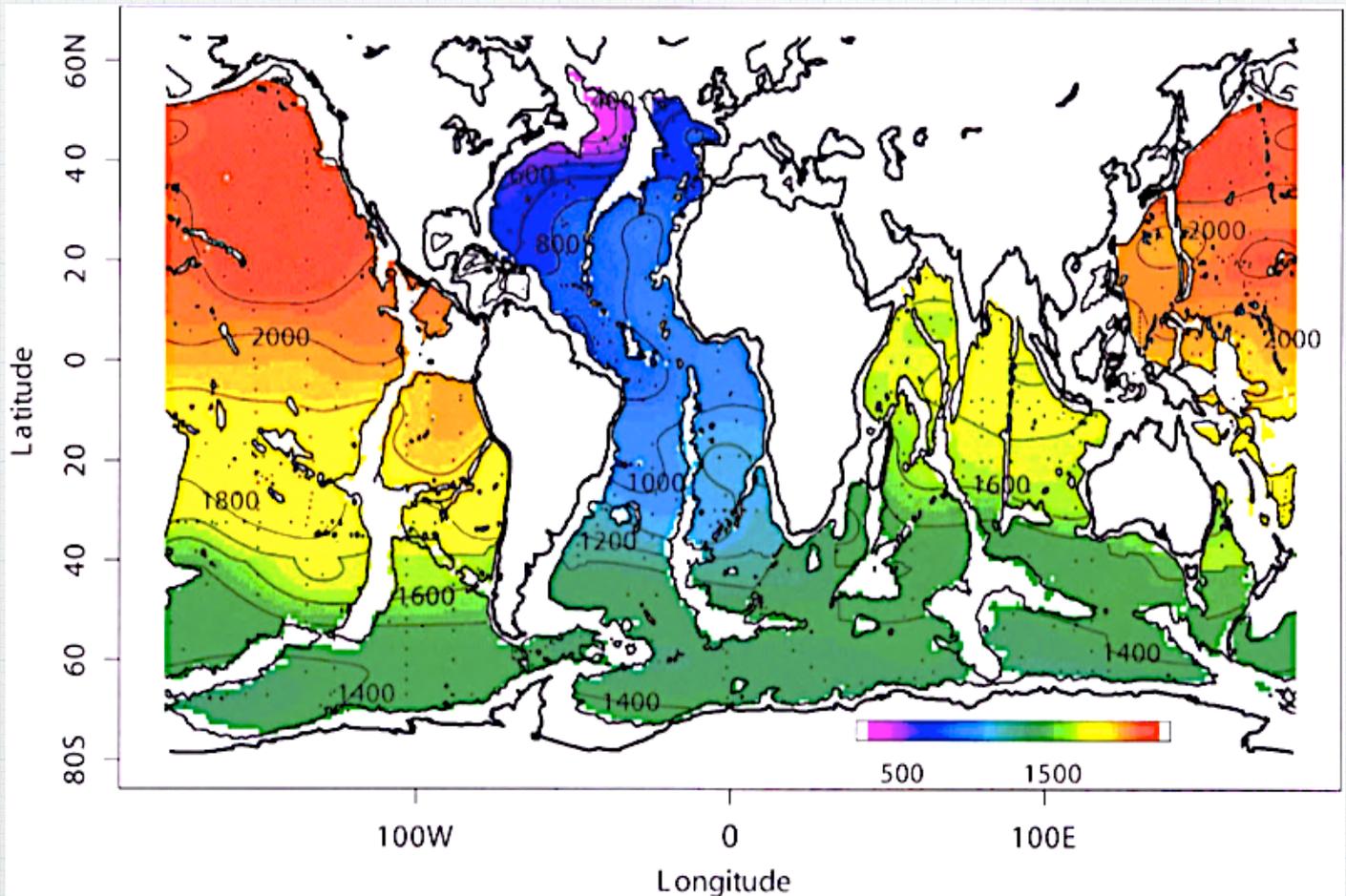
Les eaux les plus jeunes ont la valeur de $\Delta^{14}\text{C}$ la moins négative (-50 ‰) : elles sont situées au niveau du Nord de l'Atlantique. Elles deviennent de plus en plus âgées en parcourant l'Atlantique vers le Sud puis l'Océan Indien puis le Pacifique (où l'âge maximal, de rapport $\Delta^{14}\text{C} = -250$ ‰, est atteint sur la côte est).

Question 5 – Indiquer si les deux cartes (figures 2 et 3) présentent les mêmes conclusions.

Oui.

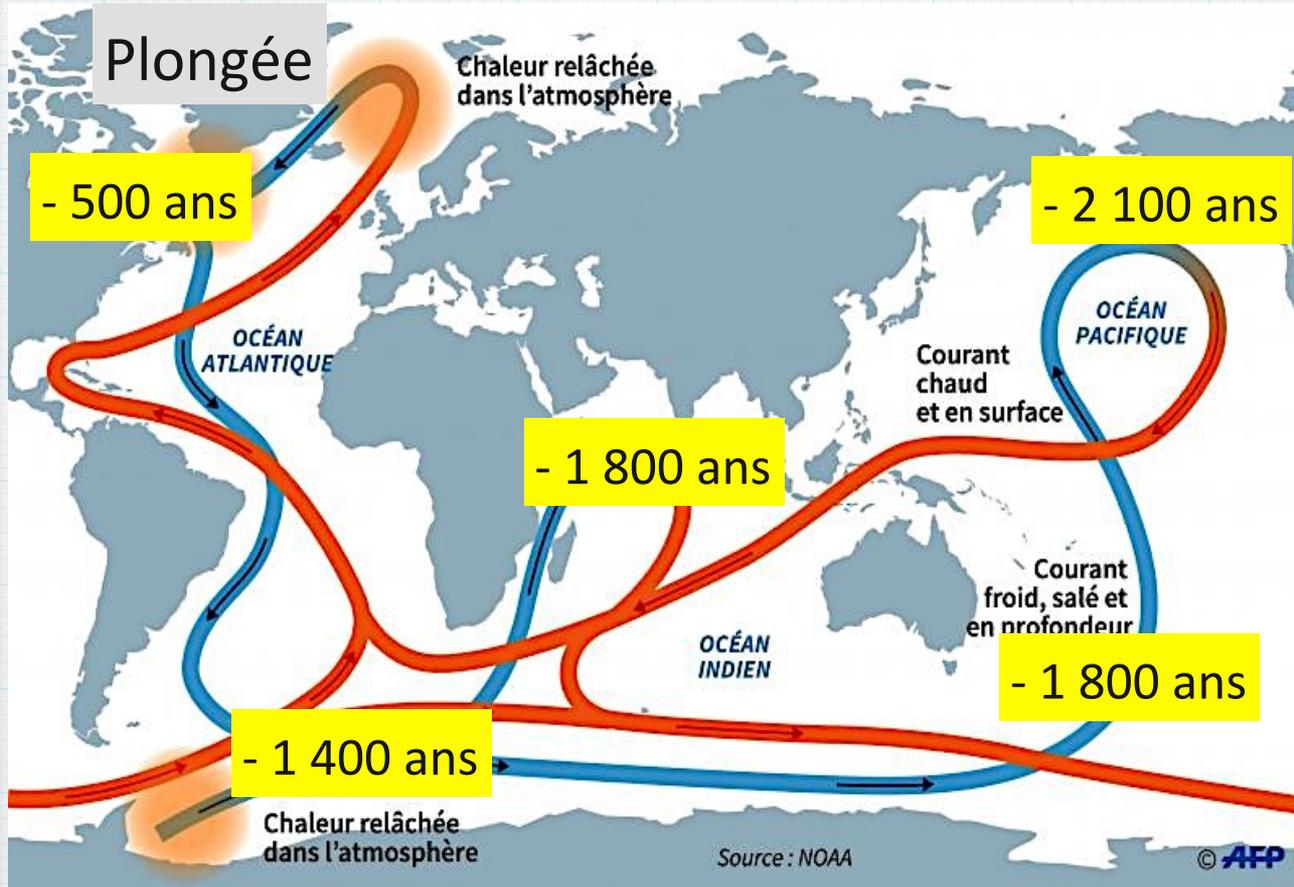
Exercice 3

Carte des âges en années à 3 500 m de fond



Source : Matsumoto et Rey, *Global Environmental Change in the Ocean and on Land*, TERRAPUB, 2004

Exercice 3 Carte de la circulation méridienne de retournement



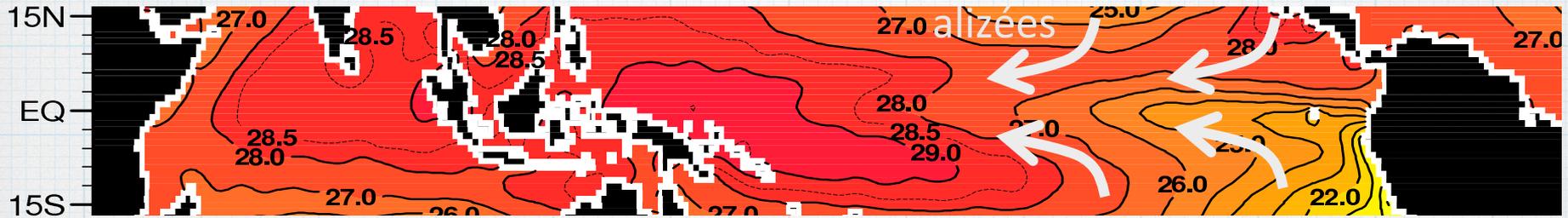
Calcul de vitesse de courant profond

Question 6 – Calculer la vitesse des courants profonds allant du Nord au Sud de l'Atlantique.

En utilisant les données des 2 cartes et en assimilant le trajet à une droite rectiligne Nord-Sud (ce qui n'est pas vrai), on a une distance de 14 000 km parcourue en $1400 - 500 = 900$ ans.

La vitesse approximée est donc de $15,5 \text{ km.a}^{-1}$ soit $0,0426 \text{ km.j}^{-1}$ soit $43 \text{ m.j}^{-1} = 1,77 \text{ m.h}^{-1} = 3 \text{ cm.s}^{-1}$

Exercice 4 La disparité est-ouest du Pacifique équatorial



Question 1 – Décrire le profil des températures de l'équateur entre l'Est et l'Ouest du Pacifique.

Les températures diminuent de 29°C à l'ouest jusqu'à 23°C à l'est du Pacifique.

Question 2 – En utilisant vos connaissances sur les vents de surface au niveau de l'équateur, proposer une origine probable à cette disparité.

Les alizées convergent vers l'équateur et poussent les eaux de surface vers l'ouest. Pas de force de Coriolis en jeu car la zone est à l'équateur.

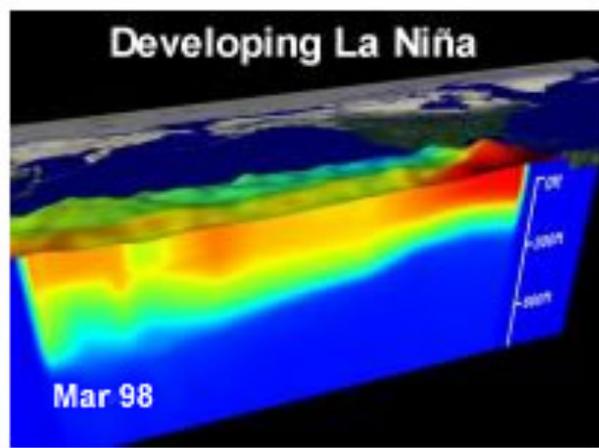
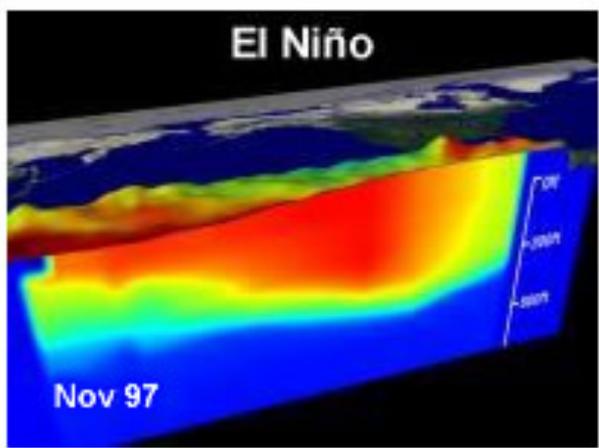
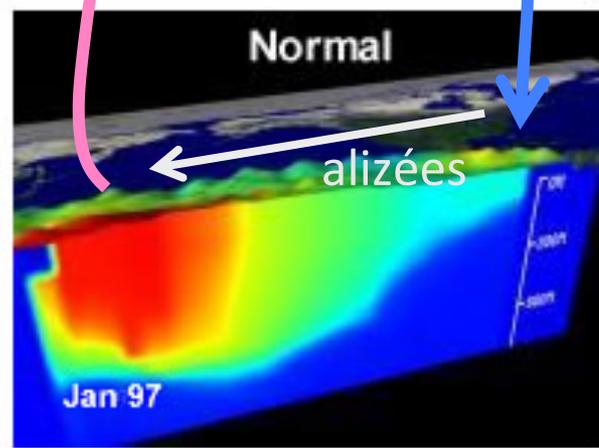
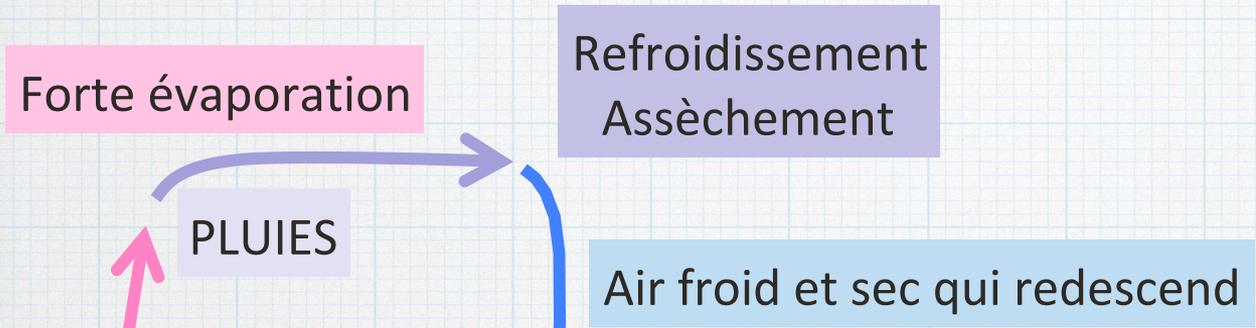
Question 3 – Nommer le phénomène observable sur la côte chilienne.

Un upwelling est fort probable.

Exercice 4

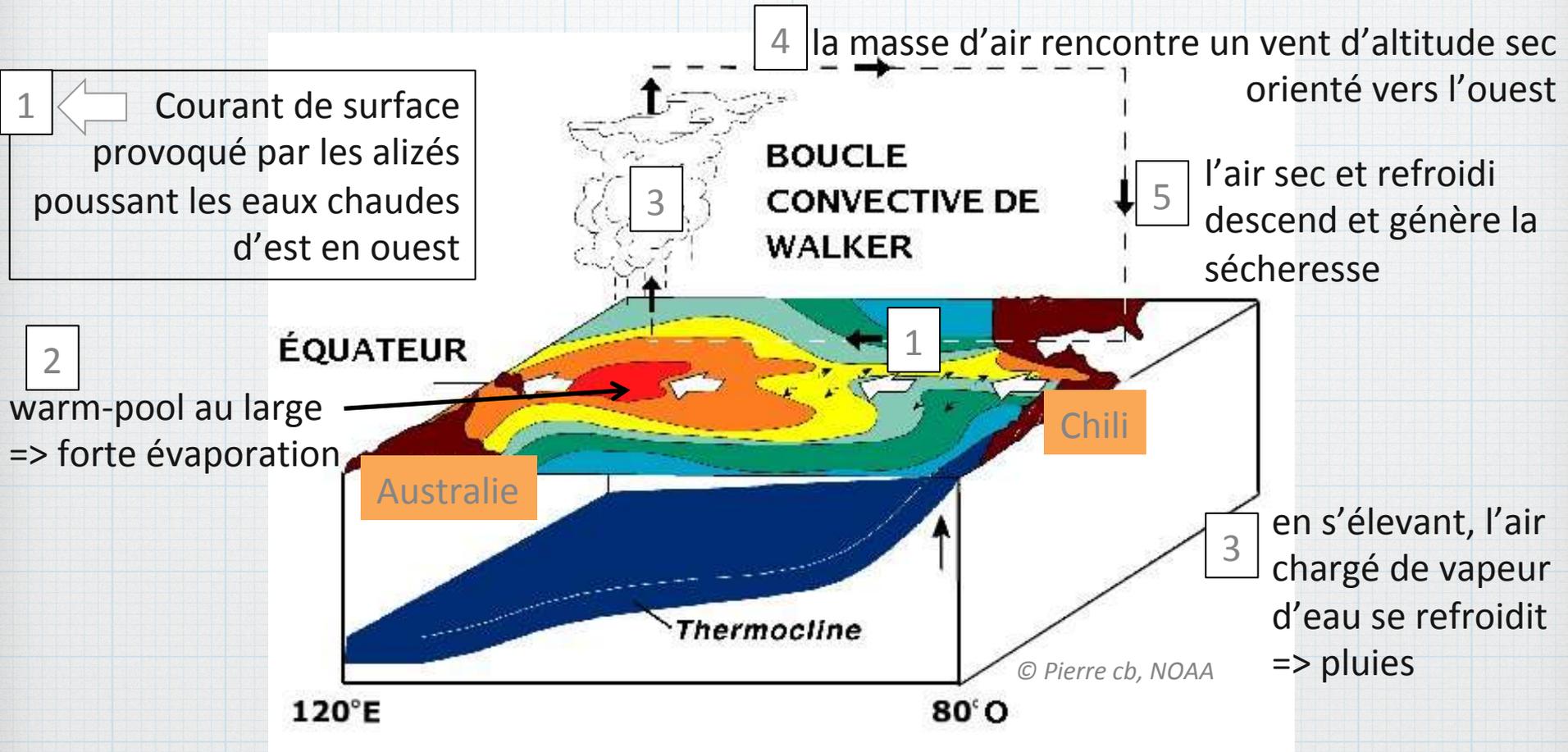
Question 4

Warm-pool et cellule de Walker



Exercice 4

Warm-pool et cellule de Walker



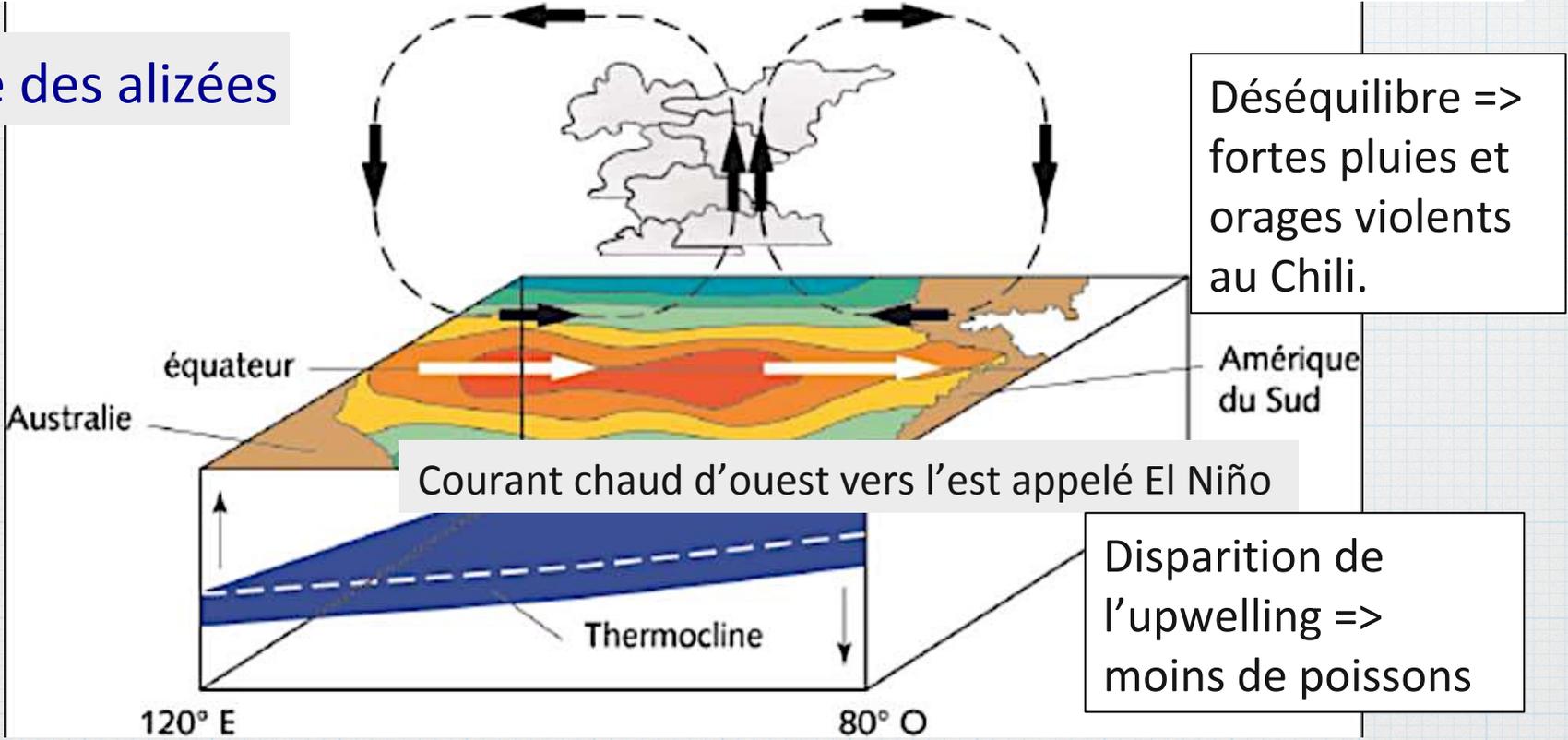
Exercice 4

Le phénomène El Niño

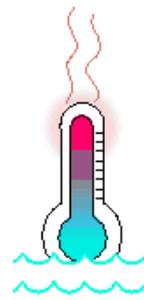
Question 5

Tous les 18 mois environ, la cellule de Walker s'effondre et se divise, les eaux chaudes accumulées à l'ouest de l'océan Pacifique refluent vers l'Amérique centrale à l'est.

Baisse des alizées



Température de surface océanique dans l'Est du Pacifique



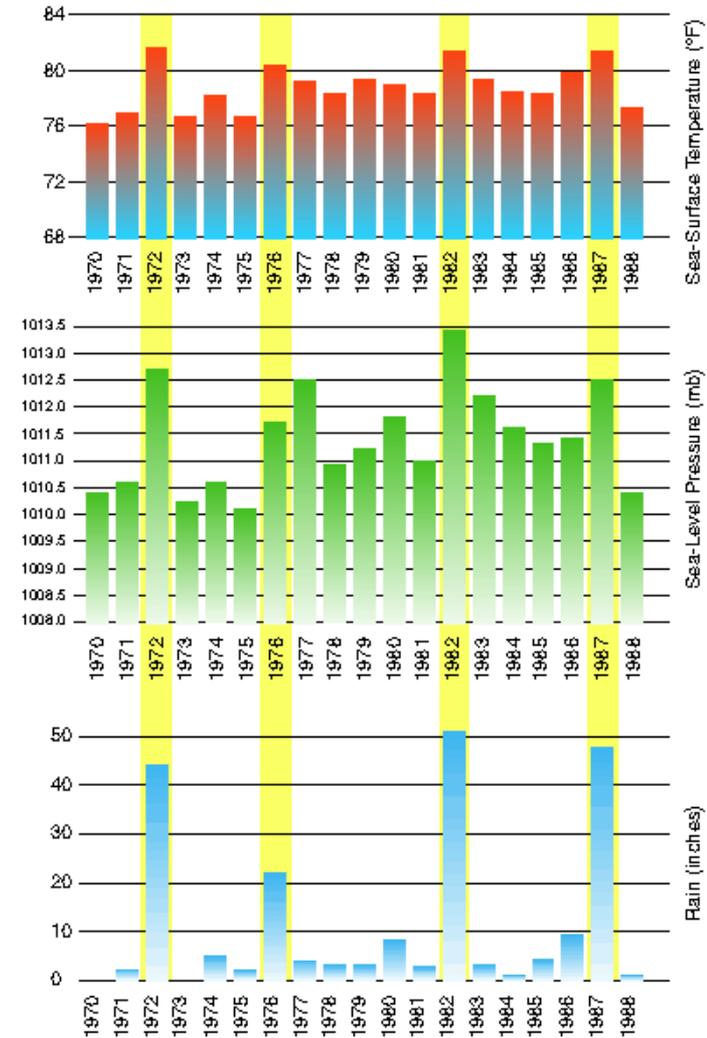
Pression atmosphérique en Indonésie



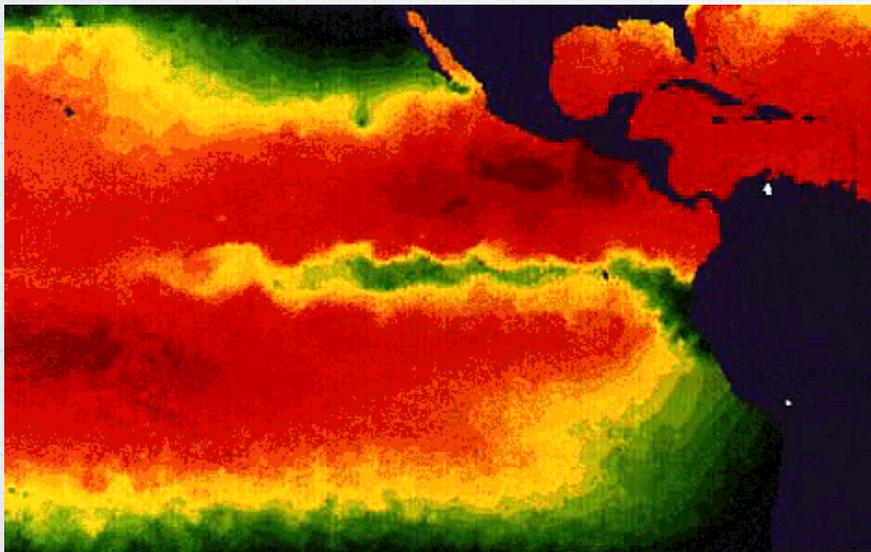
Précipitations à l'île Christmas (Est de l'Australie)



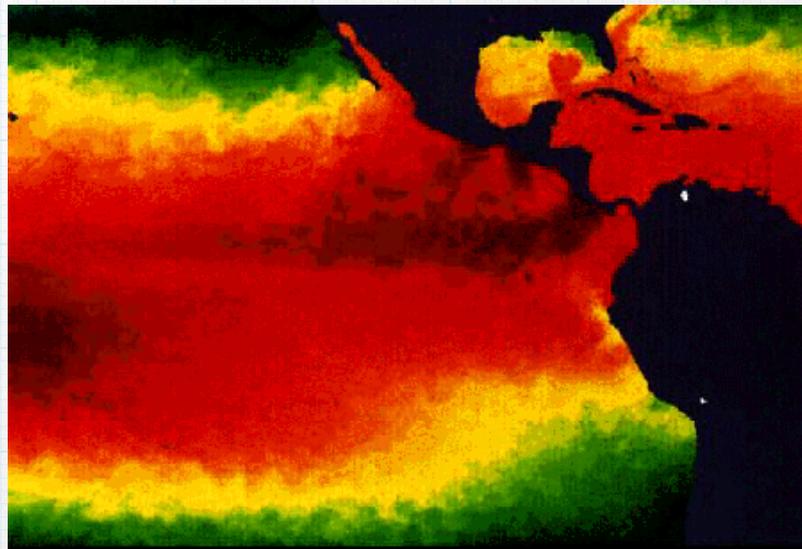
Situation El Niño en jaune



Situation normale



Situation El Niño

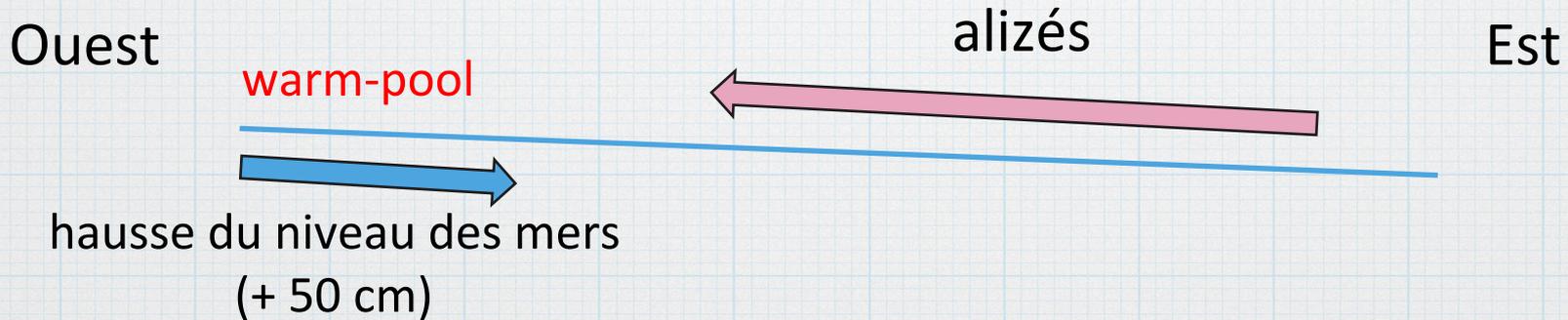


Le phénomène débute par une accumulation excessive d'eau chaude à l'ouest du Pacifique. Ceci s'accompagne d'une hausse de la pression atmosphérique en Indonésie : cette hausse de pression diminue voire inverse le sens des alizés. Cet effet est saisonnier.

En situation normale,

- l'air chaud au-dessus de la warm-pool s'élève et provoque une baisse de pression à la surface océanique : ceci induit un appel d'air vers la zone chaude et donc la convergence de vents ;
- l'eau chaude de la warm-pool se dilate et le niveau de l'eau s'élève à 50 cm au-dessus du géoïde.

Un équilibre s'installe alors entre une « pente » de l'océan et le vent.

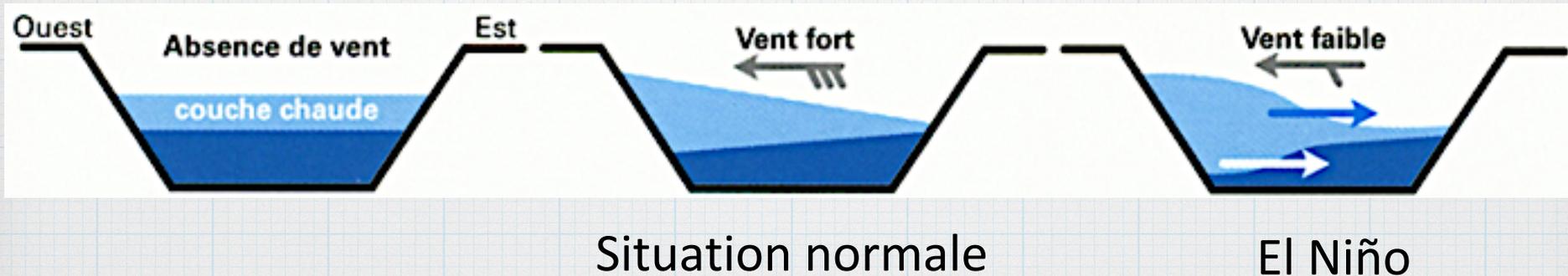


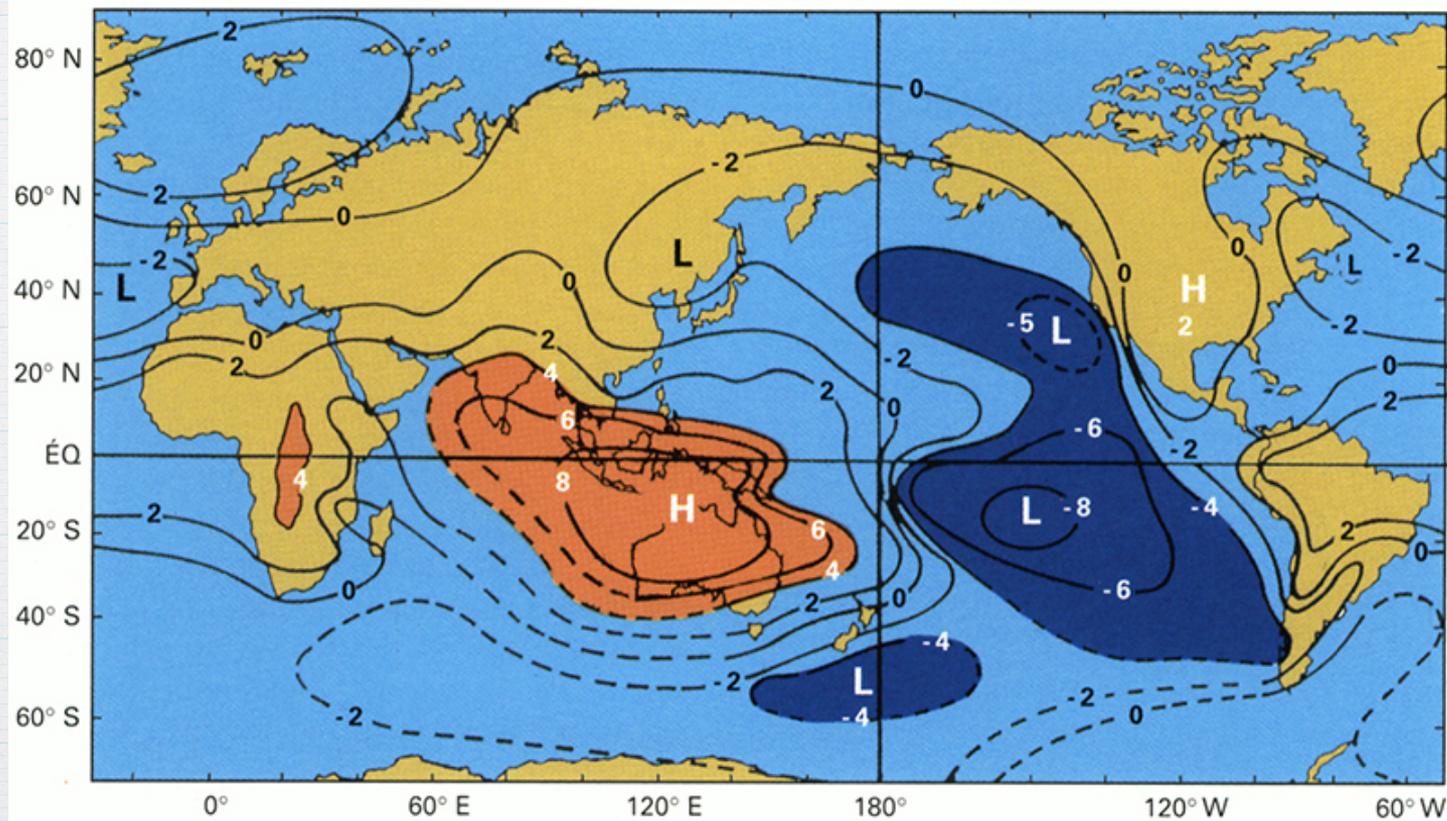
En situation El Niño, le phénomène s'initie en décembre, souvent sous l'effet de variations de vents dans les cellules de Hadley.

La pression au niveau de l'Amérique du Sud diminue alors que celle de l'Indonésie augmente : les alizés diminuent donc.

Il y a un « reflux » d'eau chaude vers l'Est du Pacifique.

Le système s'emballe car la zone d'évaporation et d'ascension de l'air se décale vers l'Est donc les vents s'inversent du côté indonésien.





En situation El Niño, la pression augmente (H) dans la partie ouest du Pacifique mais diminue à l'Est. D'où l'inversion des alizés.

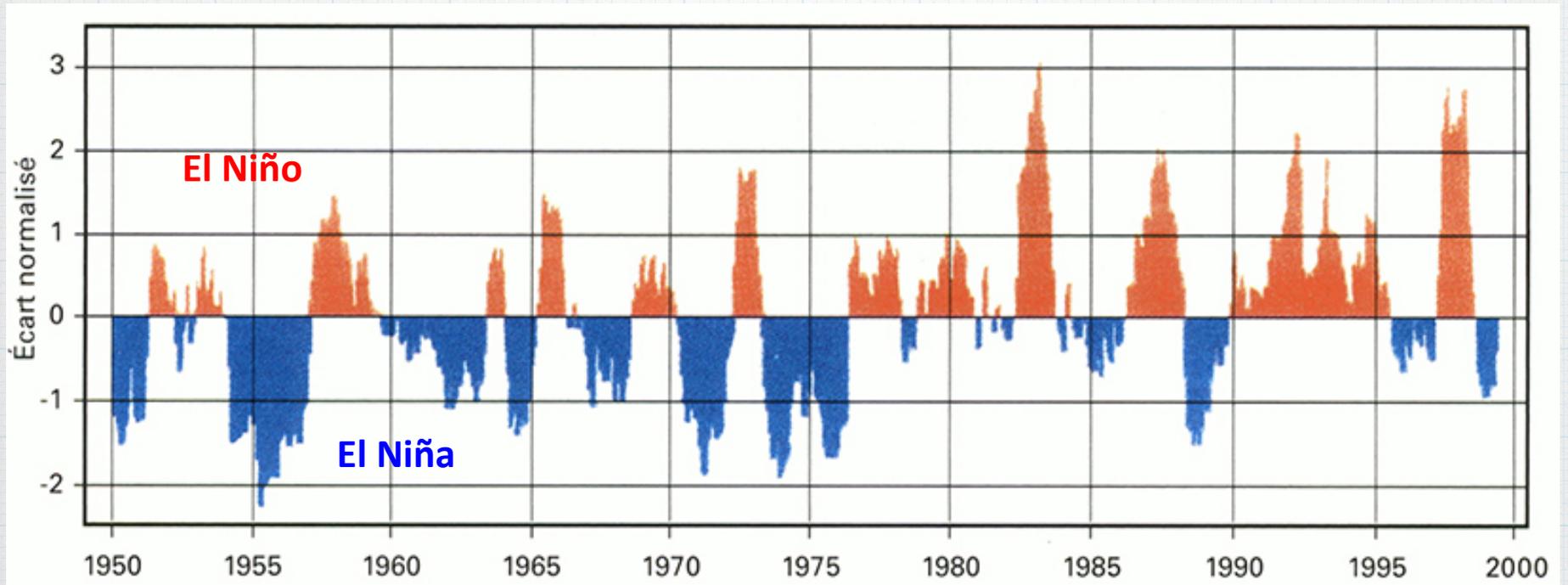
El Niño dure environ 18 mois. Il s'épuise de lui-même en raison de la diminution de l'anomalie thermique.

En situation La Niña, le courant reprend de la vigueur en raison d'une hausse des alizés vers le mois de juillet.

La warm-pool se reforme et la pression atmosphérique remonte au-dessus de l'Indonésie alors qu'elle diminue à l'Est.

Un upwelling réapparaît à l'Est et refroidit encore l'eau à l'Est, ce qui amplifie la cellule de Walker.

Les phénomènes El Niño et La Niña alternent



Phénomène ENSO = El Niño South Oscillation