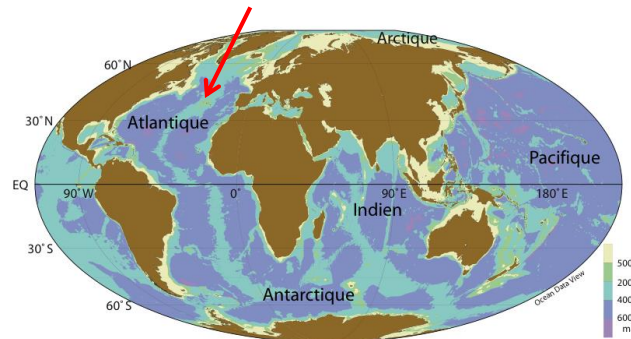


L'océan Atlantique



Forme, limites, dimensions, topographie
Circulation superficielle & Hydrologie

1

1

L'océan Atlantique

- 1) **Forme, dimensions & topographie**
 - 2) Circulation superficielle
Renforcement bord ouest ex Gulf Stream
 - 3) Apports mers annexes: Méditerranée
Nordiques et Arctique
 - 4) Masses d'eau ex Coupes
 - 5) Circulation « superficielle » équatoriale
- Conclusions

2

2

Océan Atlantique

- Comportant :
- la Méditerranée
 - l'océan Arctique
 - les mers Nordiques

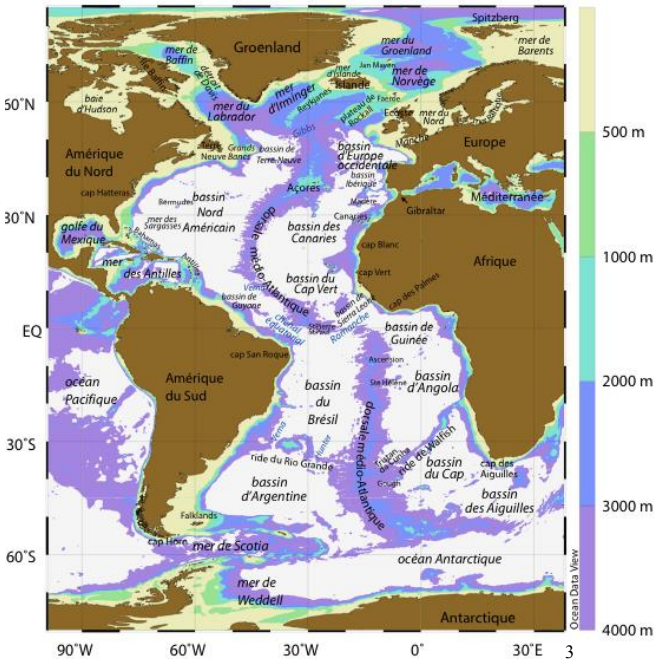
Superficie totale =
88 millions de km2

Profondeur moyenne 3300 m

Surface plateau continental
13 %
(Indien 4%, Pacifique 6%)

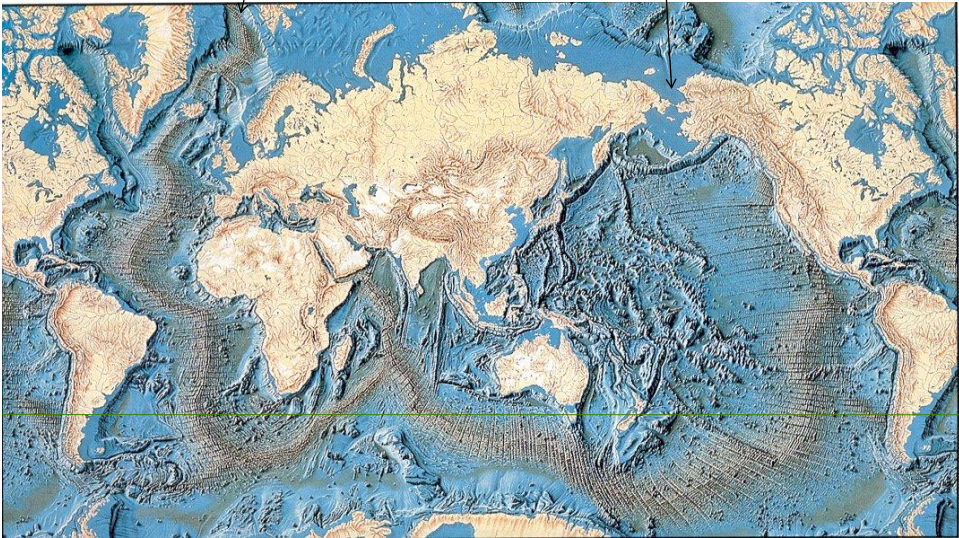
Fait communiquer les deux bassins polaires

Rétrécissement dans la région équatoriale
Dorsale en position médiane



3

Large communication avec l'Arctique, contrairement au Pacifique



Carte générale du relief sous-marin

4

4

L'océan Atlantique

- 1) Forme, dimensions & topographie
 - 2) **Circulation superficielle**
Renforcement bord ouest ex Gulf Stream
 - 3) Apports mers annexes: Méditerranée
Nordiques et Arctique
 - 4) Masses d'eau ex Coupes
 - 5) Circulation « superficielle » équatoriale
- Conclusions

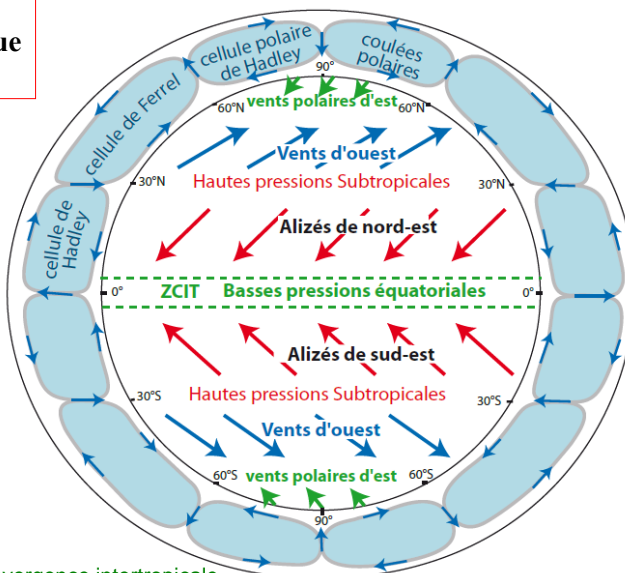
5

5

RAPPEL

**circulation
atmosphérique
théorique**

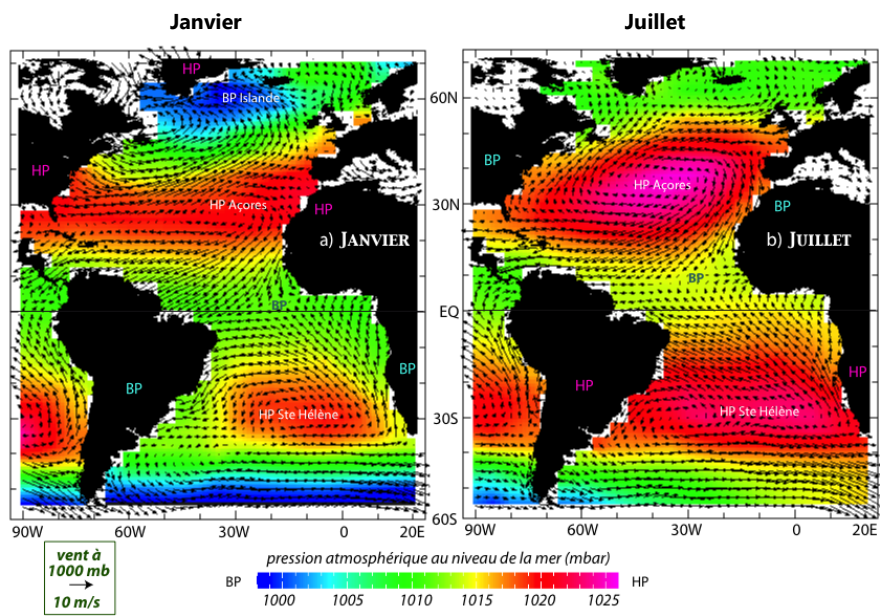
sans continent



ZCIT = zone de convergence intertropicale

6

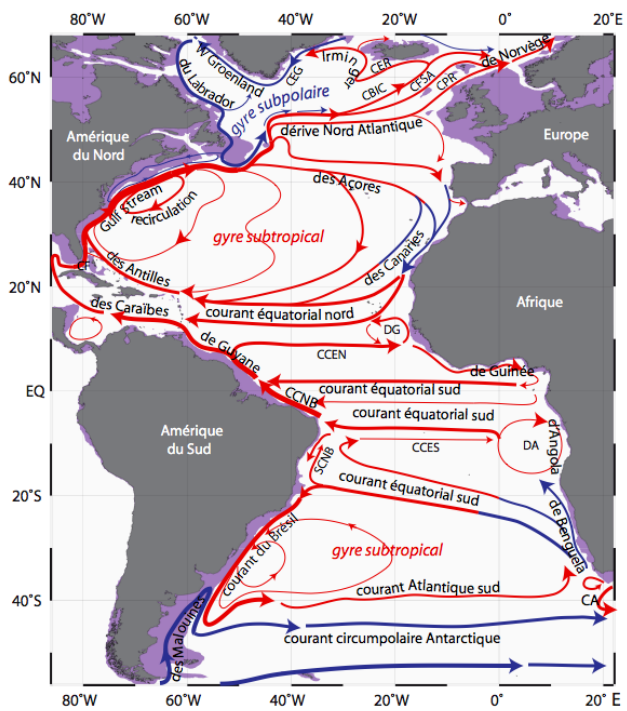
6



Pressions atmosphériques et vents moyens

7

7



Circulation de surface

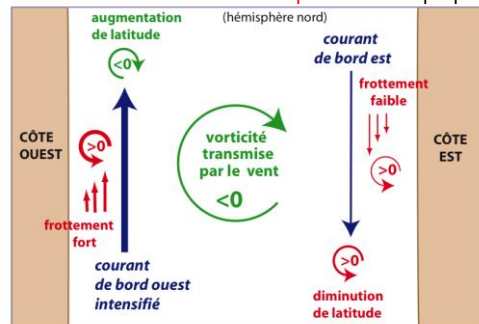
Courants de bord ouest + forts

DG Dôme de Guinée
DA Dôme d'Angola

8

8

La **conservation de la vorticité potentielle** explique l'intensification des courants de bord ouest



$(\zeta + f) / H$ = propriété conservative
= conservation du moment angulaire
d'une parcelle de fluide

Vorticité planétaire = $f = 2\omega \sin \phi$ (augmente avec la latitude)

Vorticité relative = $\zeta = (\text{rot } \mathbf{V})_z = dv/dx - du/dy$ < 0 vent anticyclonique

Vorticité absolue = $\zeta + f$

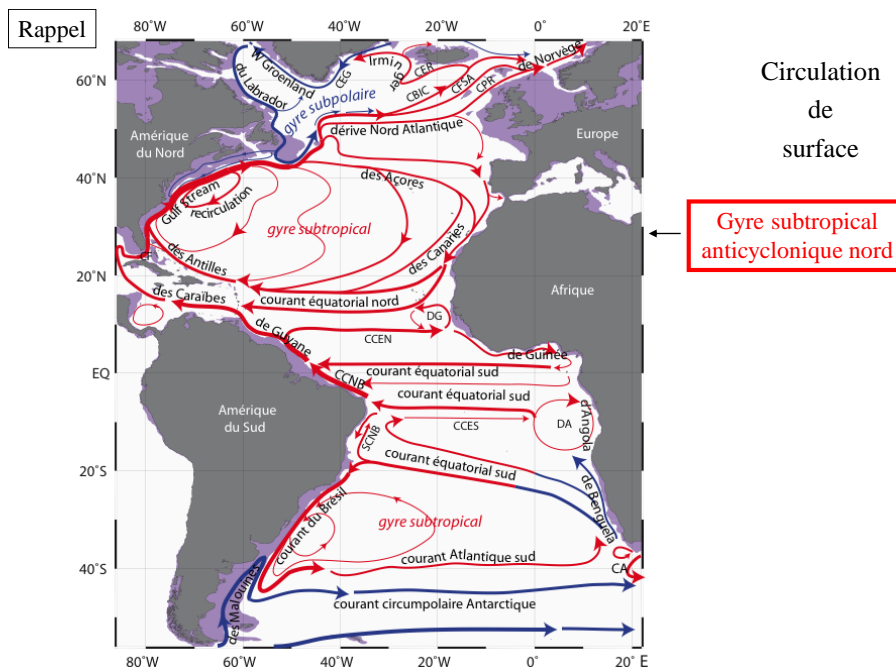
Vorticité potentielle = $(\zeta + f) / H$ (H = épaisseur de la masse d'eau)

A l'Est, la vorticité transmise par le vent (<0) est compensée par la diminution de latitude (>0) et le faible frottement.

A l'Ouest, la vorticité transmise par le vent (<0) ne peut être compensée par l'augmentation de latitude (<0) il faut donc un **fort frottement** (>0) donc une intensification du courant

9

9



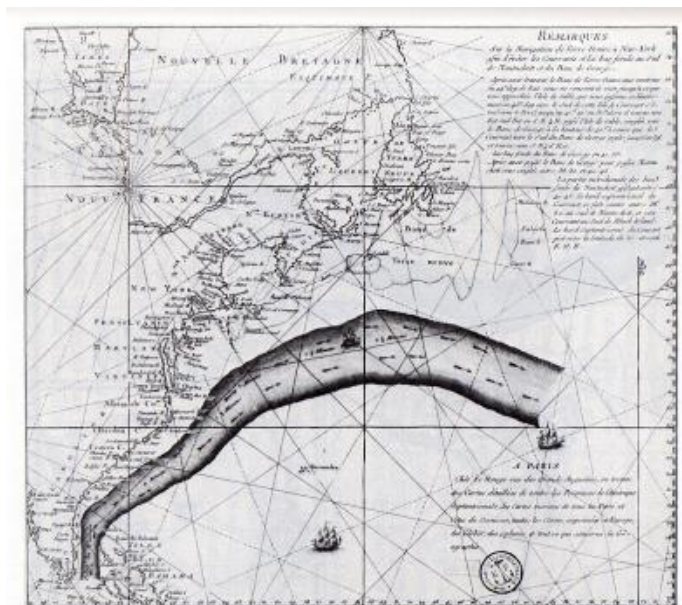
Circulation
de
surface

Gyre subtropical
anticyclonique nord

10

10

Carte du Gulf Stream de Benjamin Franklin (1778)



11

11

Simulating turtles with ESMs

Ocean Model: High-resolution ($0.1^\circ \sim 10$ km) global CESM

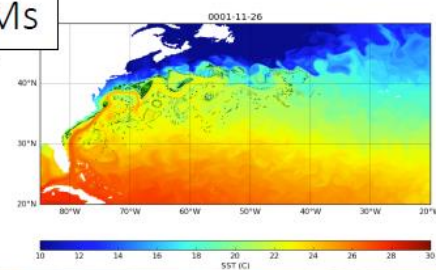
- Climatology-like run (CORE-I forced), 5 years
- With ecosystem/biogeochemistry model
- 5-day output

Particle Tracking Model: CMS (Paris et al. 2013)

- Modified to output ecosystem variables along trajectories
- Added directed swimming

Experiment:

- Simulate Loggerhead (*Caretta caretta*) hatchlings
- Release at global nesting sites, track for 1 year
- Calculate temperature and food available along trajectories
- Food: NPP & bioC = sum of plankton C biomass

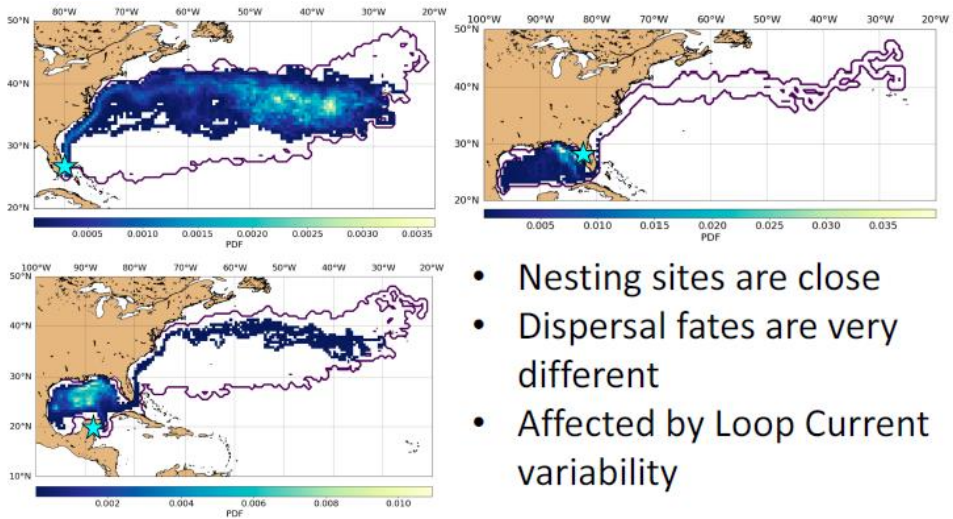


36

Harrison 2018

12

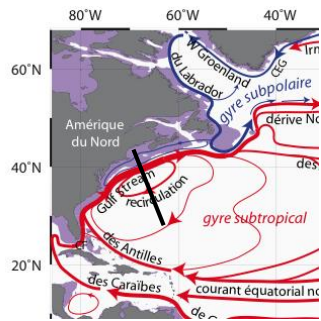
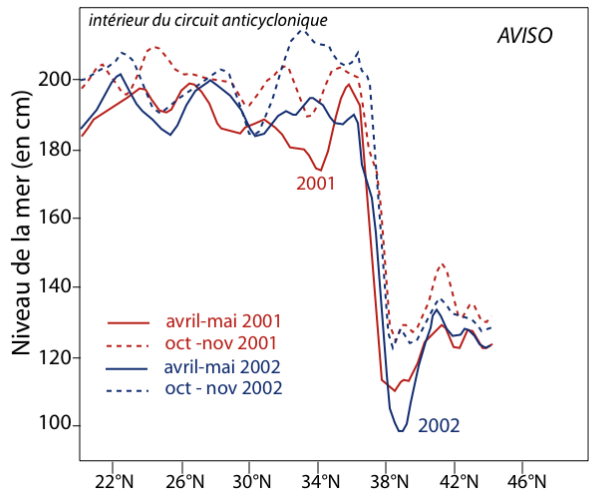
12



Harrison 2018

13

13

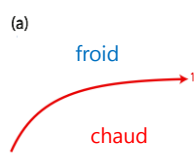


Variations du niveau de la mer
à travers le Gulf Stream vers 70° W
(mesurées par l’altimètre TOPEX POSEIDON)

Environ **1 mètre** de différence
de niveau

14

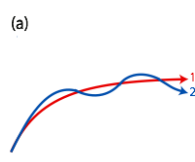
14



Le Gulf Stream devient instable
en s'éloignant de la côte
à partir du cap Haterras

15

15



Instabilité du Gulf Stream

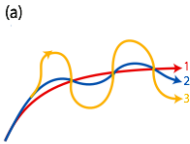
a) formation de méandres

16

16

Instabilité du Gulf Stream

a) formation de méandres

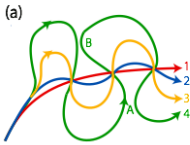


17

17

Instabilité du Gulf Stream

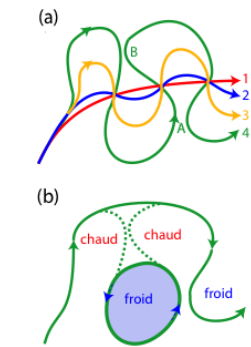
a) formation de méandres



18

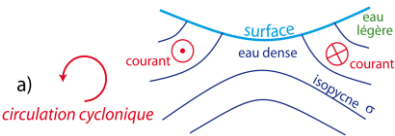
18

Instabilité du Gulf Stream



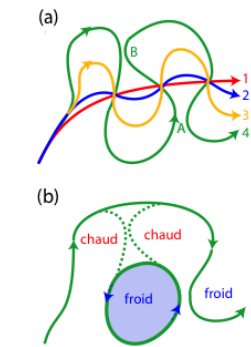
a) formation de méandres

b) anneau cyclonique pour l'hémisphère Nord



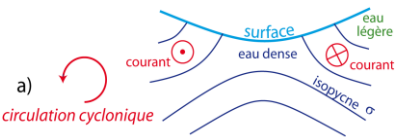
Séparation d'un anneau froid

Instabilité du Gulf Stream

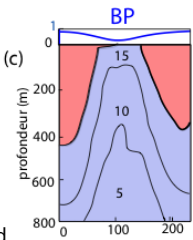


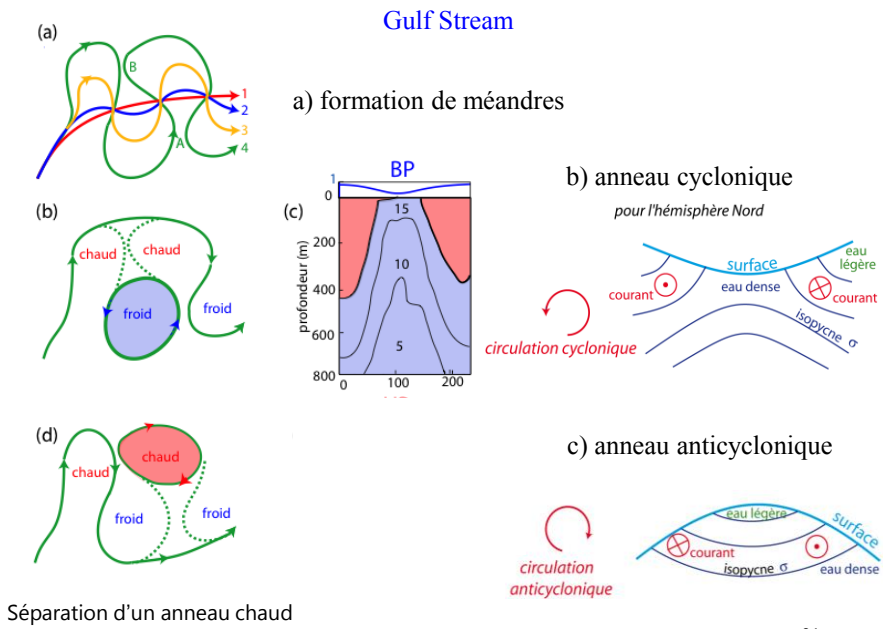
a) formation de méandres

b) anneau cyclonique pour l'hémisphère Nord



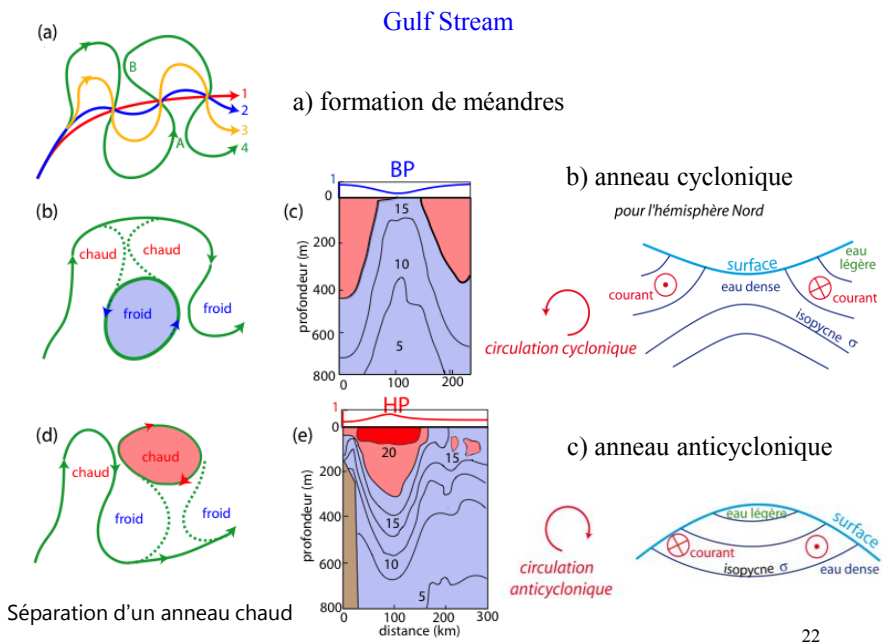
Séparation d'un anneau froid





21

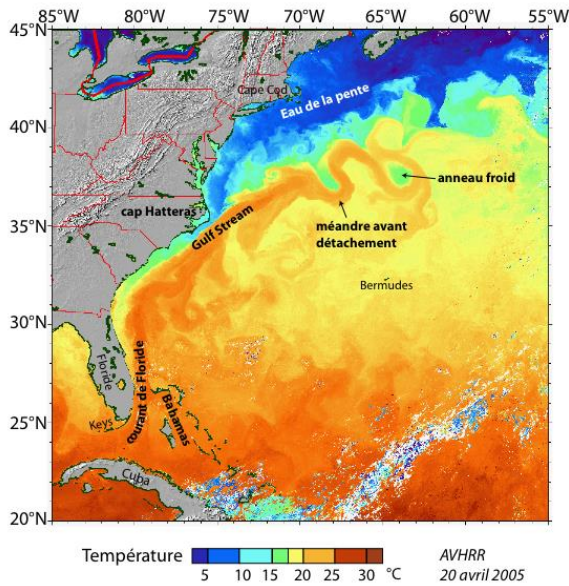
21



22

22

Le Gulf Stream vu par satellite (image infrarouge)



23

23

Front entre les eaux froides de la pente et les eaux chaudes du Gulf Stream
évaporation intense entre l'air froid et l'eau chaude



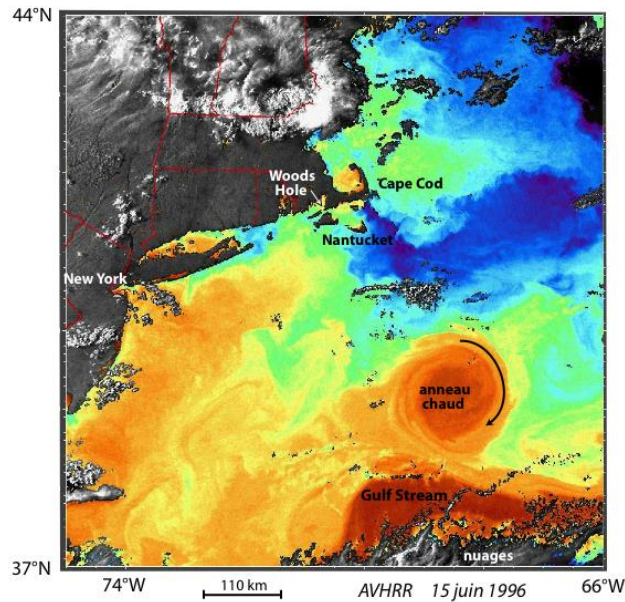
Photo Conrad Neumann

(Photo prise de « l'Atlantis I » par Conrad Neumann)

24

24

Zoom de l'image infrarouge sur un **anneau chaud** du Gulf Stream



25

25

Trajectoires de 35 bouées dérivantes lancées dans le Gulf Stream
et entraînées dans des tourbillons



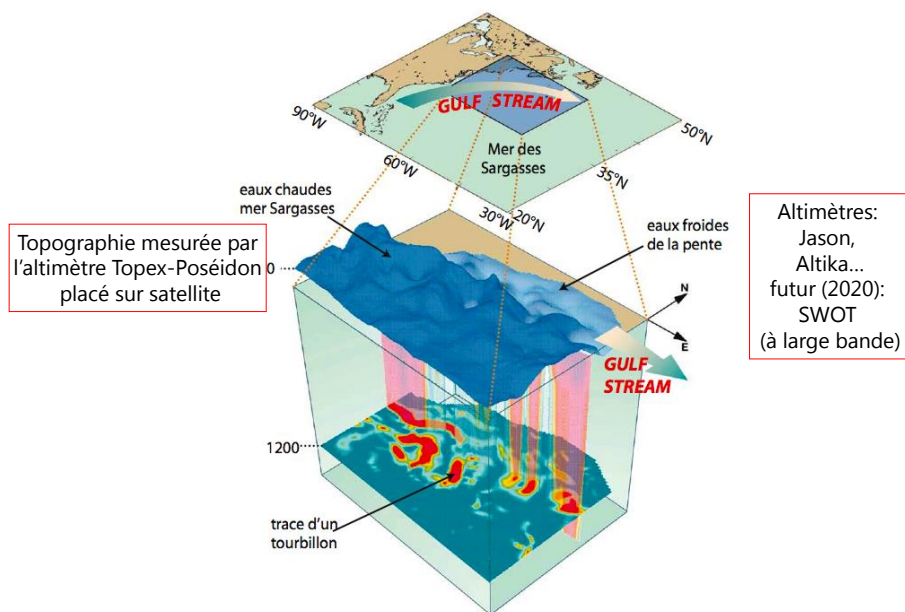
Isobathe 200 m en orange



L'océan est très turbulent

26

26



27

27

L'océan Atlantique

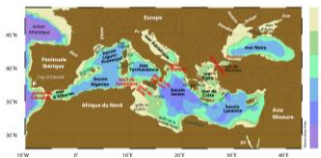
- 1) Forme, dimensions & topographie
 - 2) Circulation superficielle
 - Renforcement bord ouest ex Gulf Stream
 - 3) **Apports mers annexes: Méditerranée Nordiques et Arctique**
 - 4) Masses d'eau ex Coupes
 - 5) Circulation « superficielle » équatoriale
- Conclusions

28

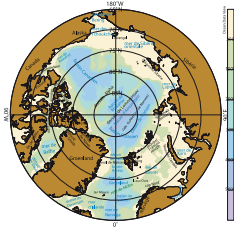
28

Mers annexes de l'océan Atlantique
qui **forment des masses d'eau**
modifiant son hydrologie :

- la **Méditerranée** (Eurafricaine)



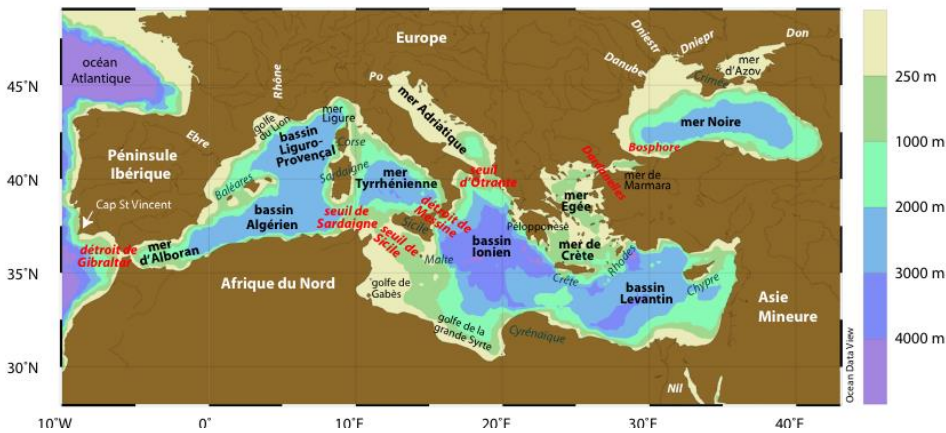
- les mers Nordiques (et Ocean Arctique)



29

29

La Méditerranée
(« Mare Nostrum » des Romains)

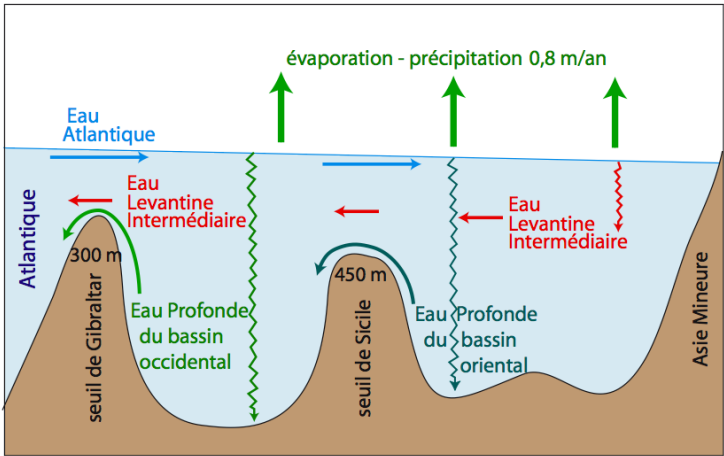


Bathymétrie

Suite de bassins à seuils

30

30



Fonctionnement hydrologique schématique de la Méditerranée

31

31

Influence de l'Eau Méditerranéenne H. nord
entre 800m et 2200m

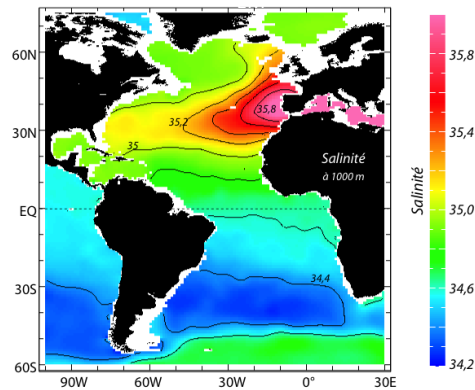
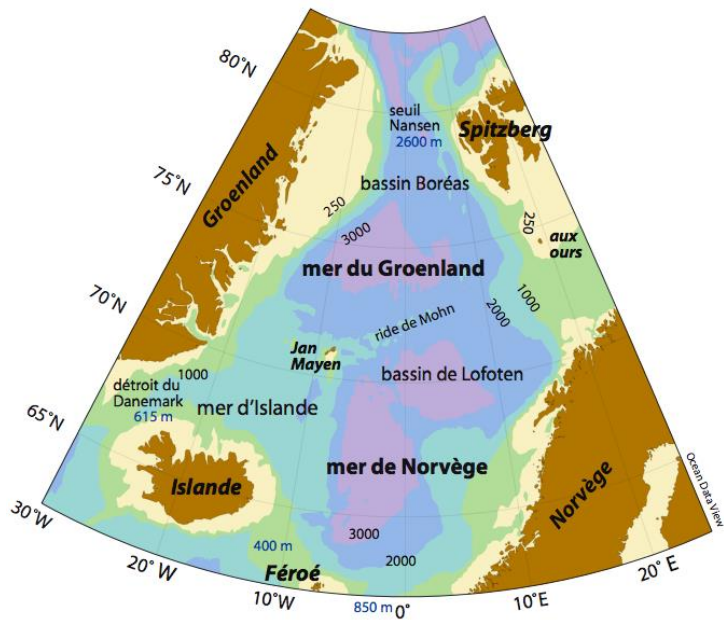


Figure: Salinité à 1000 m :

32

32

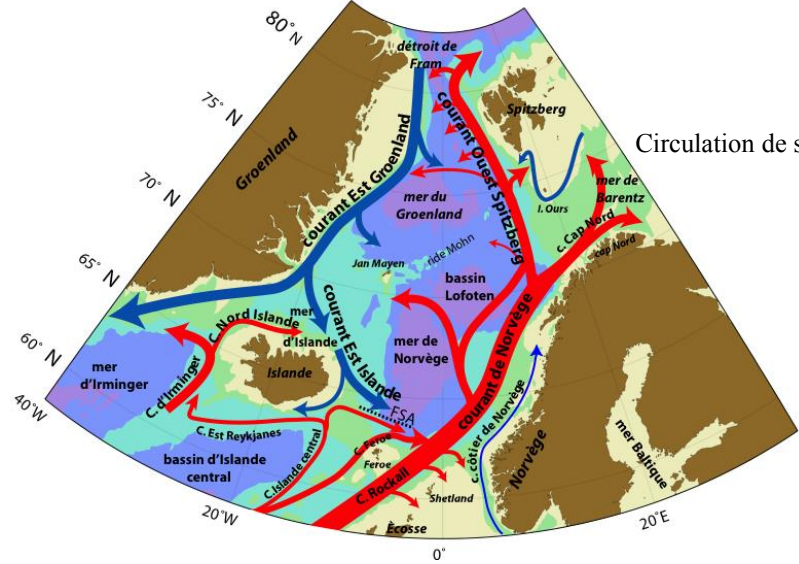
Topographie des **mers Nordiques**
(appelées souvent GIN : Groenland, Islande, Norvège))



33

33

Antichambre de l'océan Arctique : **les mers Nordiques**
mer de Norvège, mer du Groenland, mer d'Islande

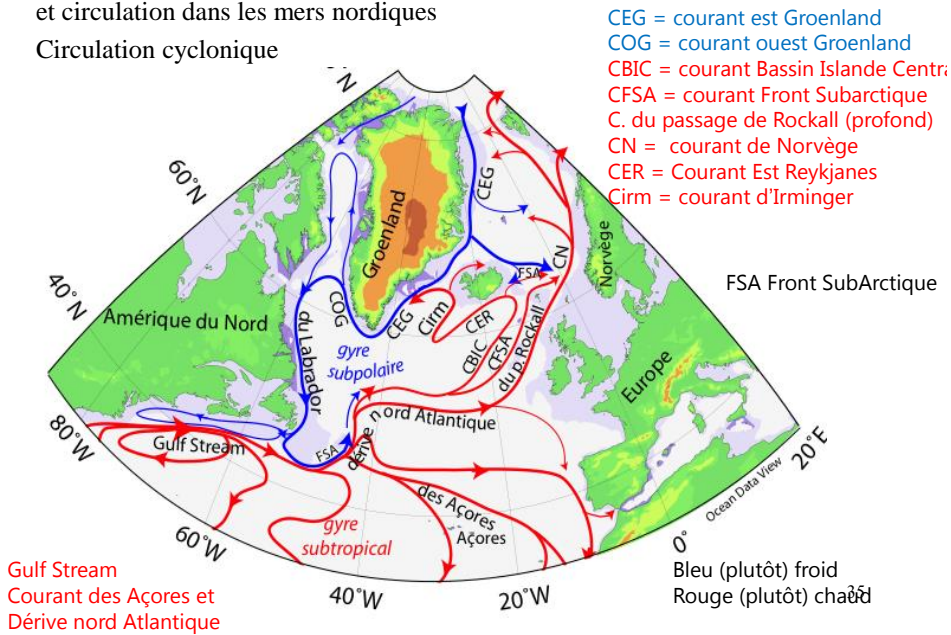


Circulation de surface

34

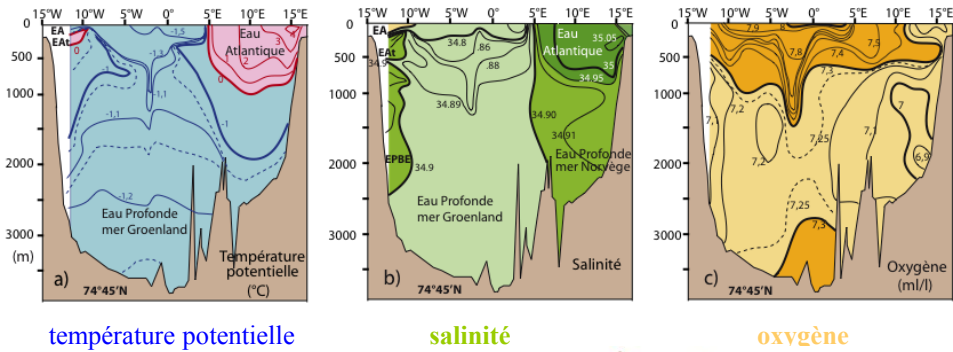
34

Pour info (+ complexe): Gyre subpolaire de l'Atlantique nord
et circulation dans les mers nordiques
Circulation cyclonique



35

Formation de l'Eau Profonde de la mer du Groenland

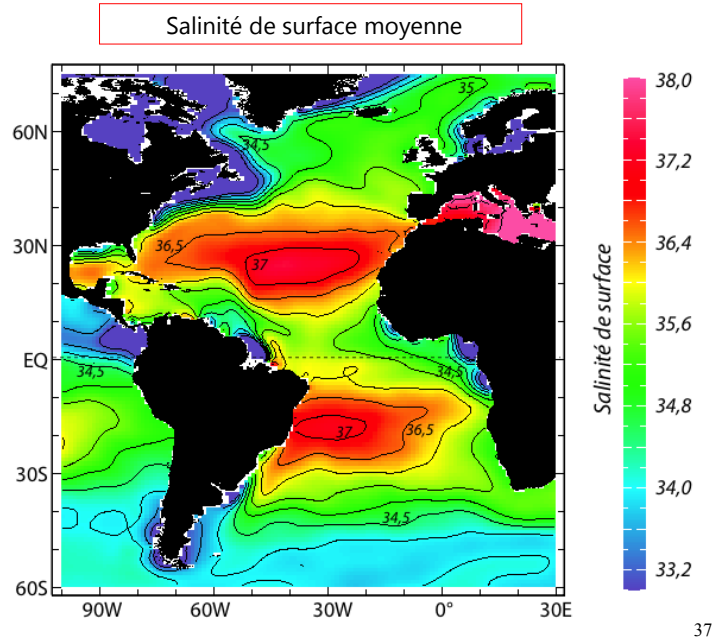


Eau Profonde Mer Groenland
= mélange Eau Arctique de surface
(très froide, proche congélation)
+ Eau d'origine Atlantique (salée)

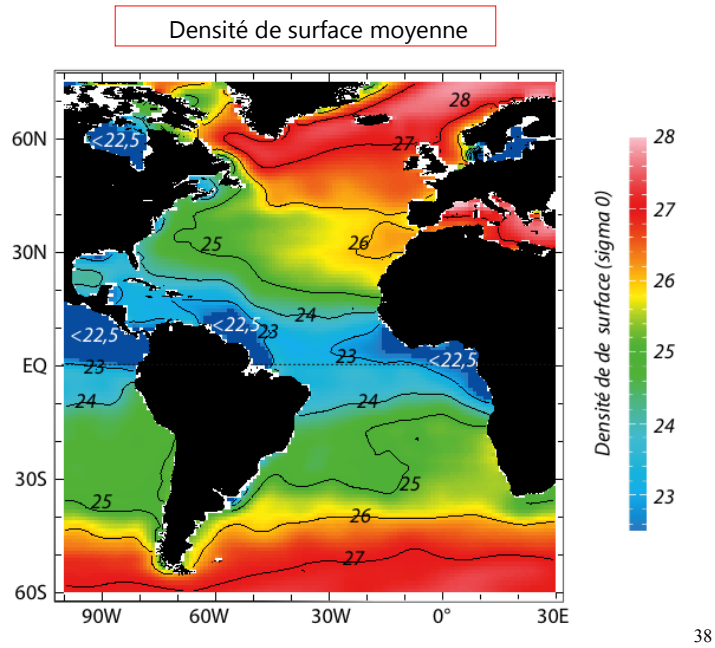


36

36

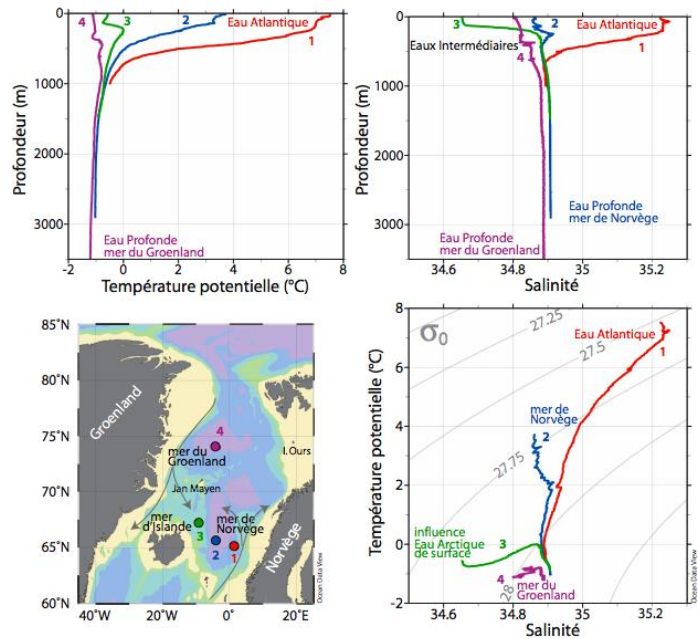


37



38

Mer de Norvège, mer d'Islande, mer du Groenland



39

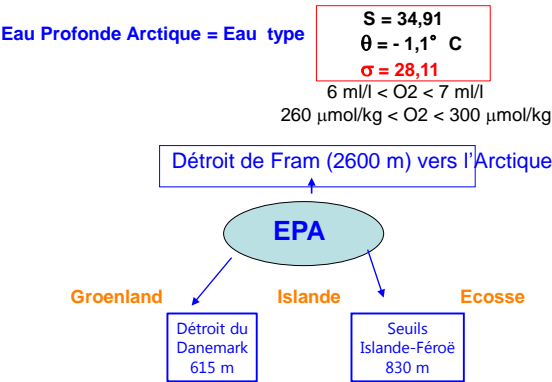
39

Mers Nordiques (mer de Norvège, mer du Groenland, mer d'Islande)

Eaux entrantes :

- Eau Atlantique chaude ($6^{\circ} < T < 9^{\circ}$) et salée (environ 35,30)
 - Eau Arctique très froide (proche de la température de congélation)
- + Variation de température annuelle de 5° à 10° C

Formation en hiver, à la limite de la glace de mer, de l'Eau Profonde de la mer du Groenland qui se transforme en mer de Norvège pour former l'Eau Profonde Arctique (EPA)



40

40

L'océan Atlantique

- 1) Forme, dimensions & topographie
 - 2) Circulation superficielle
Renforcement bord ouest ex Gulf Stream
 - 3) Apports mers annexes: Méditerranée
Nordiques et Arctique
 - 4) **Masses d'eau ex Coupes**
 - 5) Circulation « superficielle » équatoriale
- Conclusions

41

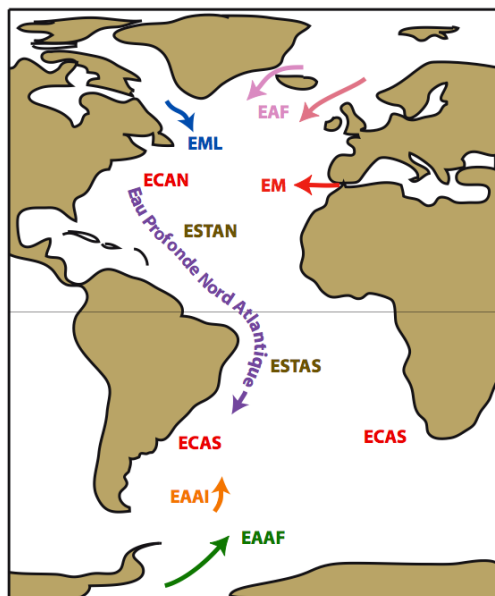
41

Quelle influence ces masses d'eau
formées dans les mers annexes
de l'océan Atlantique
vont-elles avoir sur son hydrologie ?

42

42

Masses d'eau principales de l'océan Atlantique



Venant de l'Antarctique :

EAAI = Eau Antarctique Intermédiaire x

EAAF = Eau Antarctique de Fond

Venant des mers annexes :

EAF = Eau Arctique de Fond

EM = Eau Méditerranéenne

Formées en Atlantique :

EML = Eau Mer Labrador

EPNA = Eau Profonde Nord Atlantique

ECAN = Eau Centrale Atlantique Nord

ECAS = Eau Centrale Atlantique Sud

ESTAN = Eau Subtropicale Atlantique Nord

ESTAS = Eau Subtropicale Atlantique Sud

43

43

Hydrologie de l'océan Atlantique

Venant de l'océan Antarctique : - l'**Eau Antarctique de Fond**, (la plus froide)

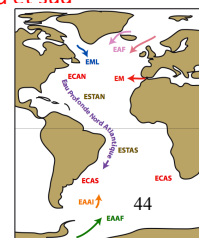
- l'**Eau Antarctique Intermédiaire**, (minimum de salinité)

Venant des mers annexes : - l'**Eau Méditerranéenne**, salée, influence vers 1000 m

- l'**Eau Arctique de Fond**, à l'est et à l'ouest de l'Islande

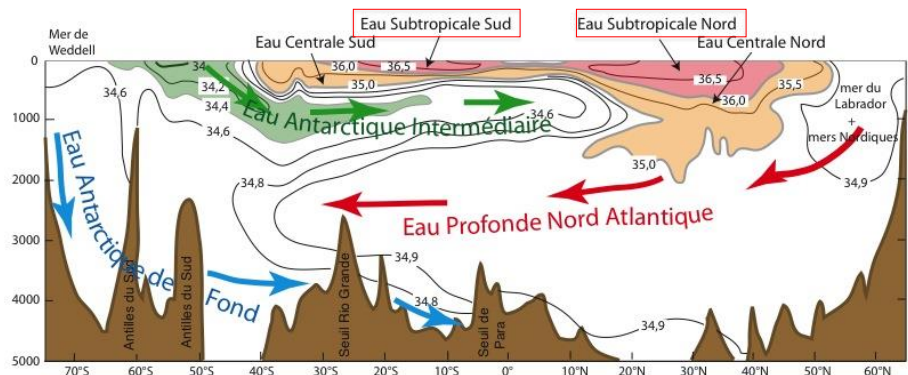
Formées dans l'océan Atlantique proprement dit :

- les **Eaux Subtropicales**, formées dans le centre des gyres anticycloniques nord et sud
- les **Eaux Centrales nord et sud**, eaux de la thermocline, formées dans les zones de convergences subtropicales nord et sud
- l'**Eau de la mer du Labrador**
- l'**Eau Profonde Nord Atlantique**, formée du mélange entre
 - l'**Eau de la mer du Labrador**
 - l'**Eau Méditerranéenne**
 - l'**Eau Arctique de Fond**
 - reste d'**Eau Antarctique de fond**



44

Bassin occidental de l'océan Atlantique



1d)

45

45

Influence de l'Eau Méditerranéenne H. nord
entre 800m et 2200m

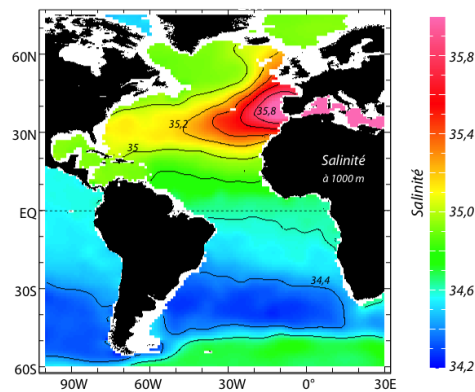
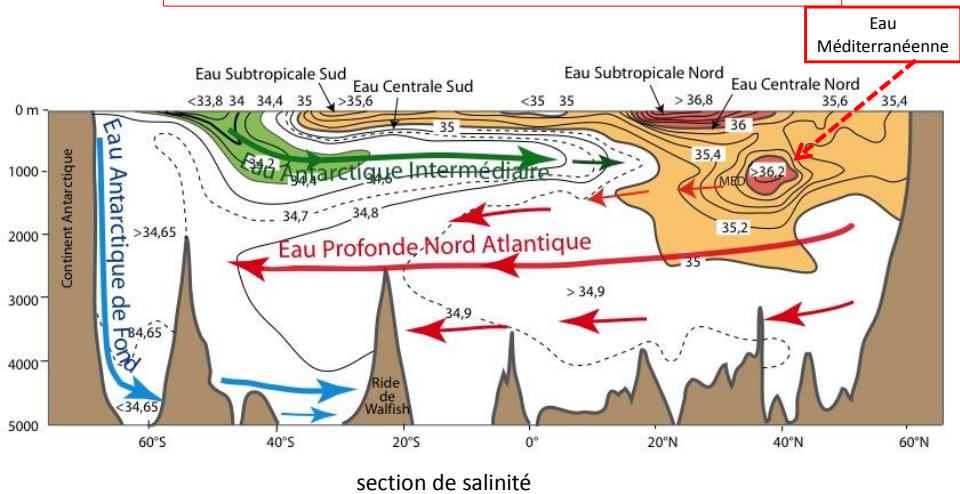


Figure: Salinité à **1000 m** :

46

46

Section de salinité à travers le bassin **oriental** de l'océan Atlantique



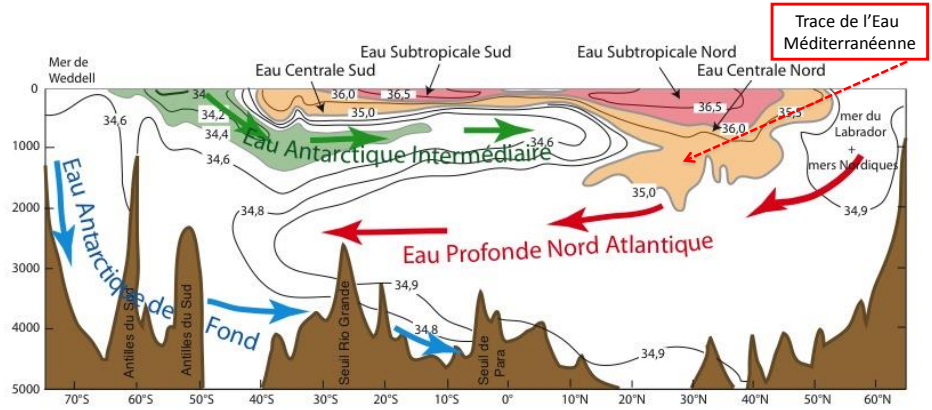
section de salinité

l)
uée)

47

47

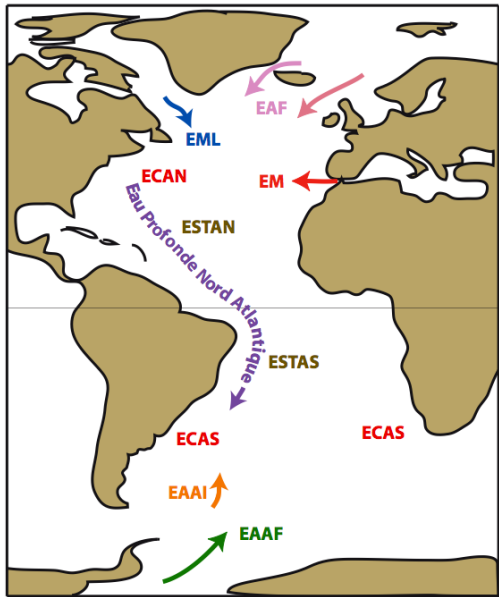
Section de salinité à travers le bassin **occidental** de l'océan Atlantique



48

48

Masses d'eau principales de l'océan Atlantique



Venant de l'Antarctique :

- EAAI = Eau Antarctique Intermédiaire x
- EAAF = Eau Antarctique de Fond

Venant des mers annexes :

- EAF = Eau Arctique de Fond
- EM = Eau Méditerranéenne

Formées en Atlantique :

- EML = Eau Mer Labrador
- EPNA = Eau Profonde Nord Atlantique
- ECAN = Eau Centrale Atlantique Nord
- ECAS = Eau Centrale Atlantique Sud
- ESTAN = Eau Subtropicale Atlantique Nord
- ESTAS = Eau Subtropicale Atlantique Sud

49

49

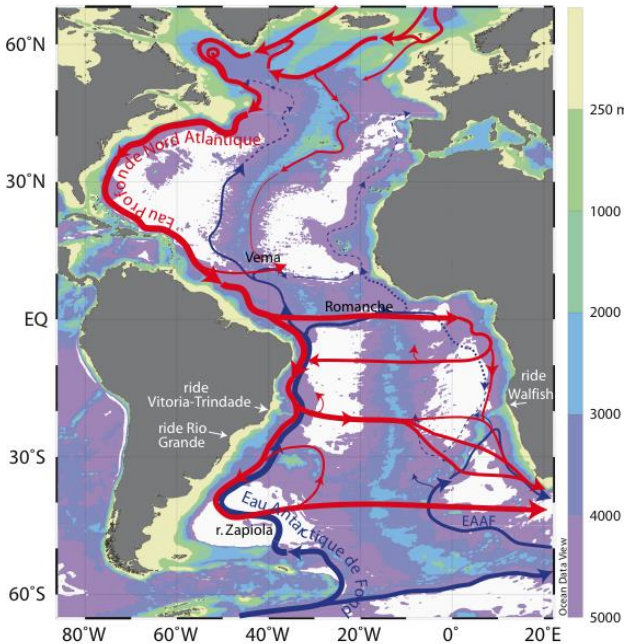


Schéma de circulation de
l'Eau Arctique de Fond,
de l'Eau Profonde
Nord Atlantique
et de l'Eau Antarctique
de Fond

50

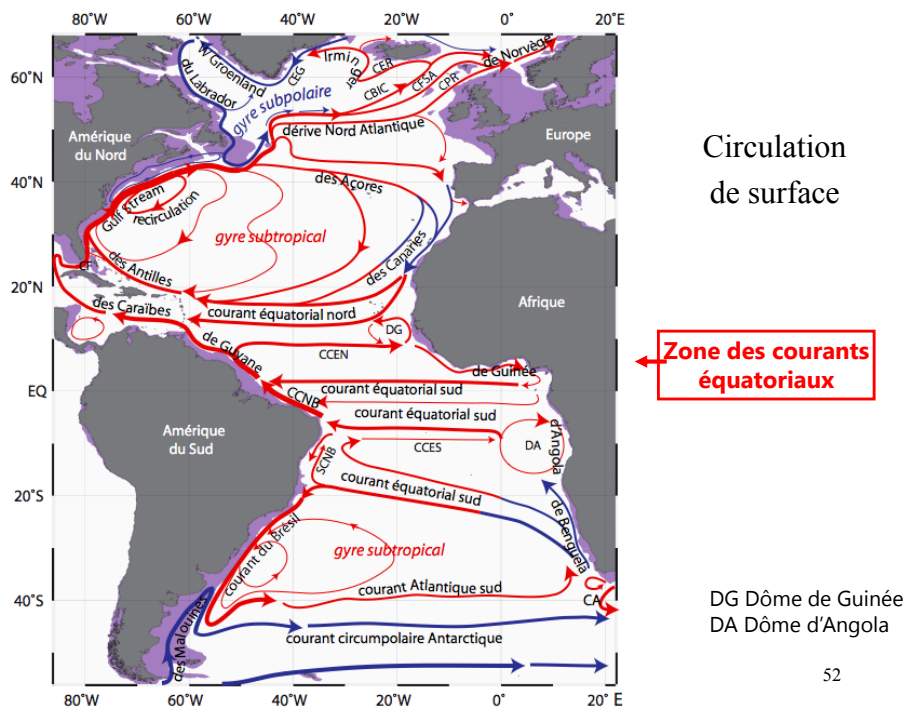
50

L'océan Atlantique

- 1) Forme, dimensions & topographie
 - 2) Circulation superficielle
 - Renforcement bord ouest ex Gulf Stream
 - 3) Apports mers annexes: Méditerranée
 - Nordiques et Arctique
 - 4) Masses d'eau ex Coupes
 - 5) **Circulation « superficielle » équatoriale**
- Conclusions

51

51



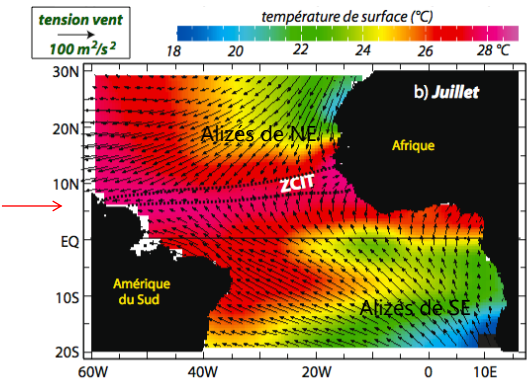
52

52

Tension du vent moyen
($\rho c_d U^2$)
et température de surface
en Atlantique équatorial

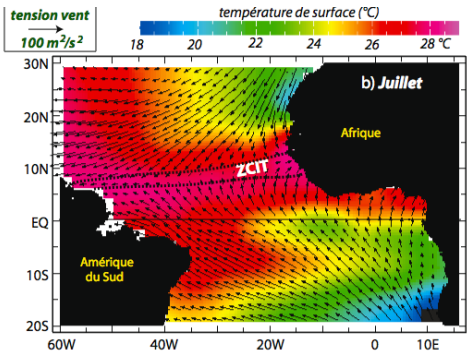
zone de convergence
Intertropicale (ZCIT)

zone couverte par
les alizés de NE et de SE
en juillet



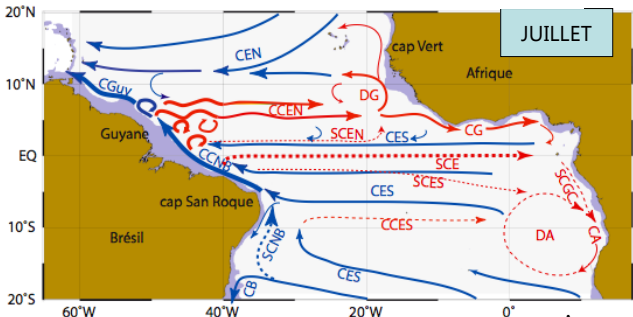
53

53



Tension du vent (flèches)
et
Température de surface

En juillet



Circulation
de surface
(vers l'est rouge)
(vers l'ouest bleu)
et de
subsurface
(en tiretés)

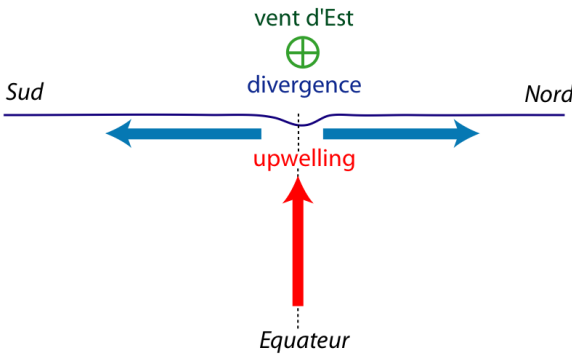
A comparer avec
les vents

54

54

RAPPEL

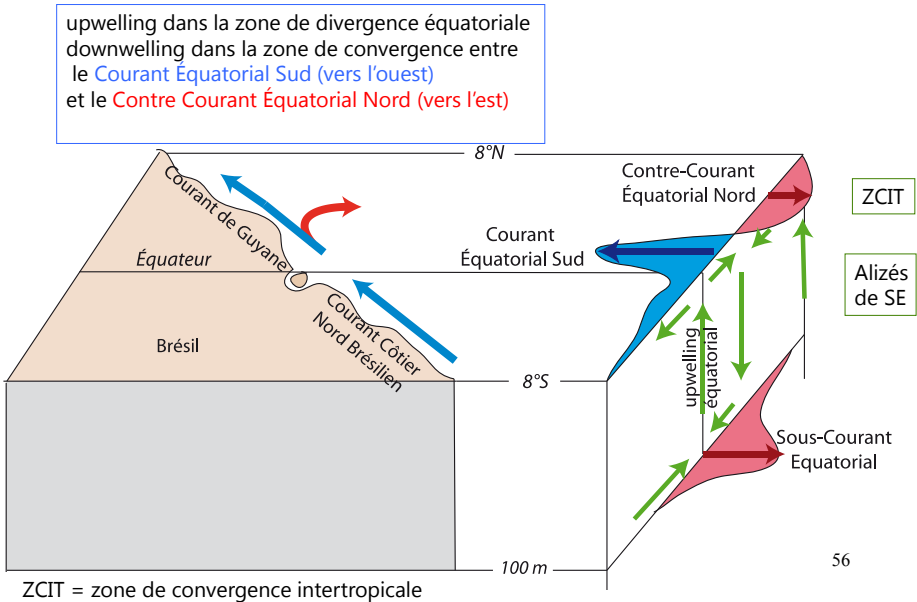
Divergence équatoriale sous un vent d'est
entraîne un upwelling



55

55

Schéma simplifié des courants dans l'Atlantique équatoriale



56

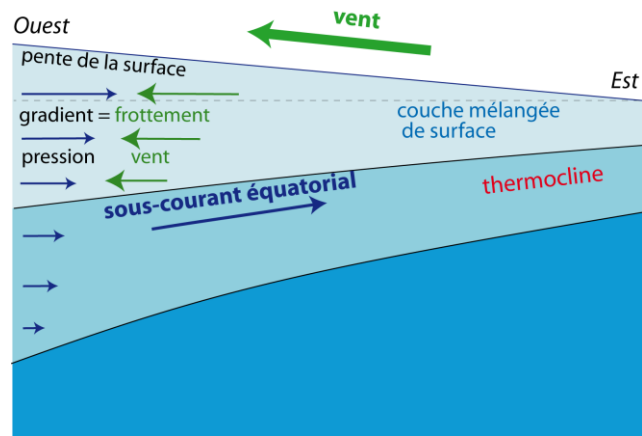
56

RAPPEL

Structure équatoriale ($f = 0$) sous un vent d'est (alizés de SE)
(océans Pacifique et Atlantique)

formation du sous-courant équatorial dans la thermocline
en sens inverse du vent

dans la zone où la tension du vent n'équilibre plus le gradient de pression dû à la pente de la surface

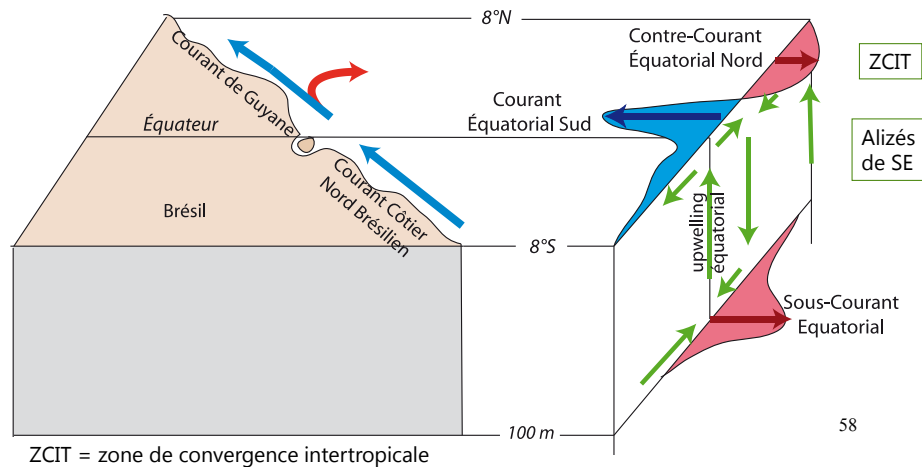


57

57

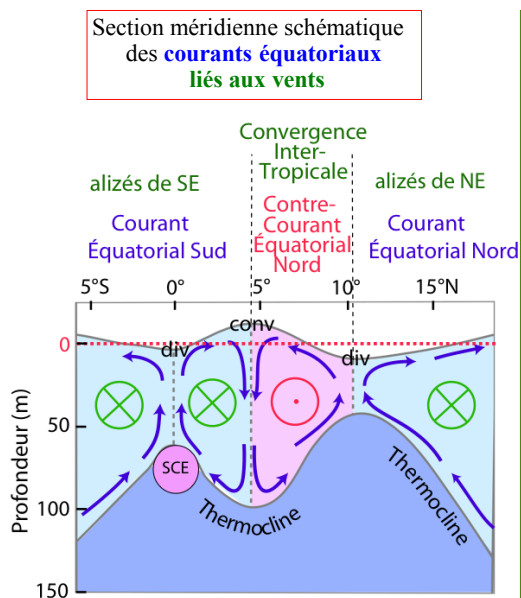
Schéma simplifié des courants dans l'Atlantique équatoriale

Présence du **Sous Courant Équatorial Nord** (vers l'est)



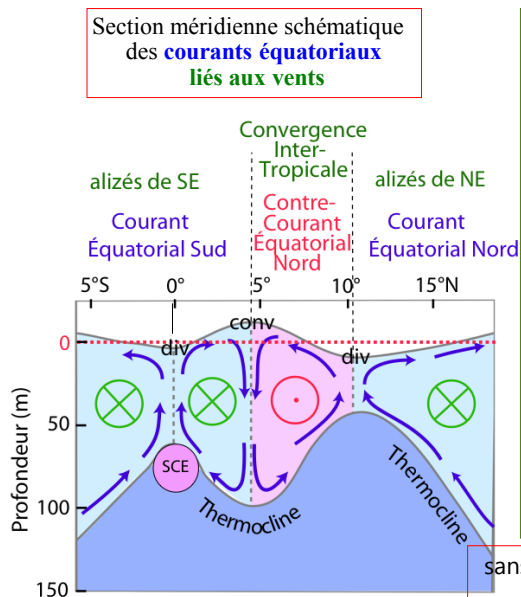
58

58



- pour l'hémisphère nord
-
- **pente méridienne de la surface** (exagérée) donne le **sens** du courant zonal
 - **pente de la thermocline** est inverse de celle de la surface et beaucoup plus forte
- Croix = vers l'ouest (courant bleu dans slides précédentes)
Point = vers l'est

59



- pour l'hémisphère nord
-
- **pente méridienne de la surface** (exagérée) donne le sens du courant zonal
 - **pente de la thermocline** est inverse de celle de la surface et beaucoup plus accentuée
- On peut la mesurer et en **déduire le sens du courant**

Le changement de pente indique un changement de direction du courant

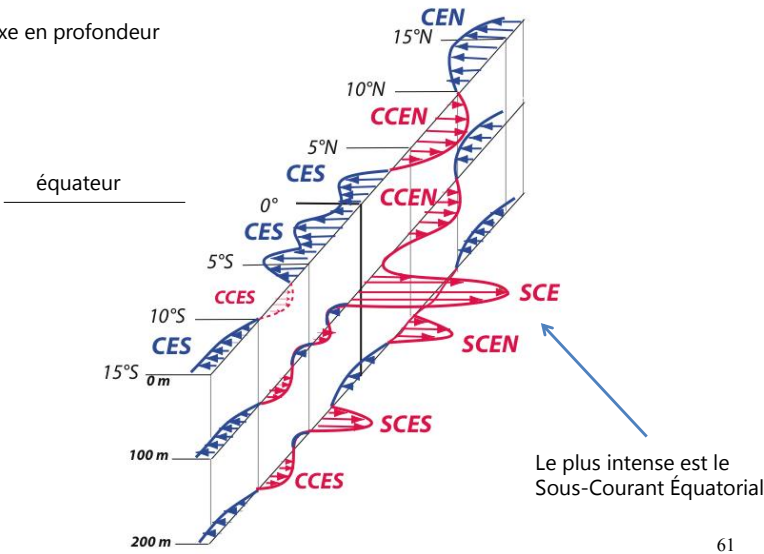
sans changement de direction du courant , la **pente change de sens à l'équateur** car la force de Coriolis change de signe

60

60

Schéma étendu des courants équatoriaux
(directions, vitesses)

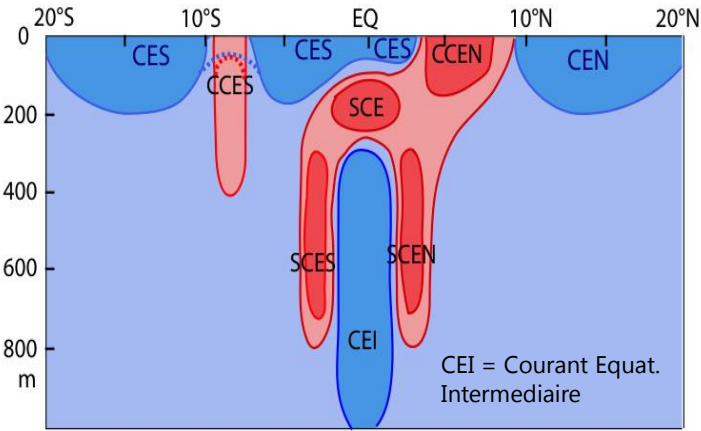
+ complexe en profondeur



61

61

Schéma des courants équatoriaux (0-1000m)
- **dissymétrie** en surface en raison de la distribution **dissymétrique** des vents
- mais **symétrie** par rapport à l'équateur en profondeur hors de l'influence des vents

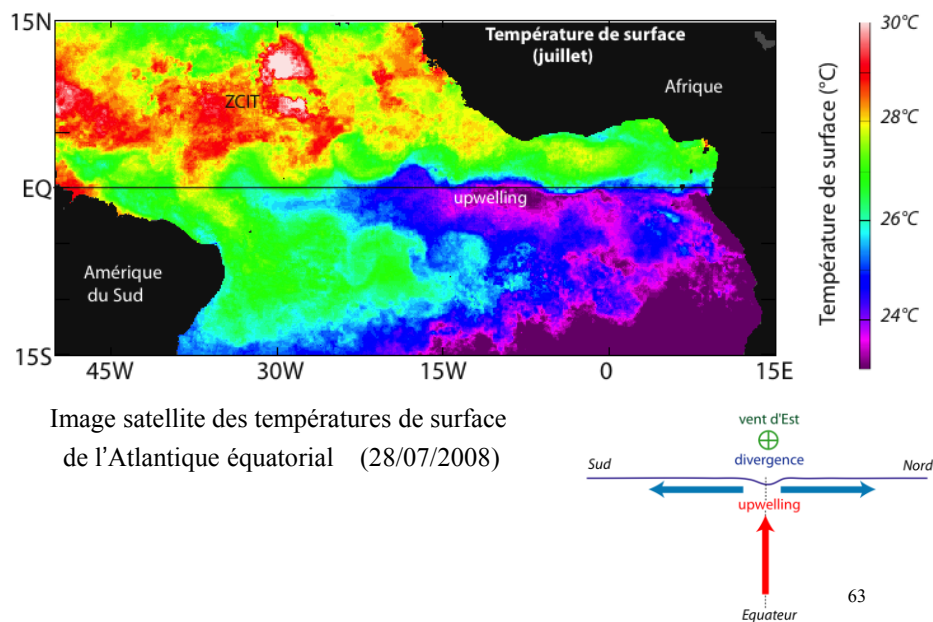


section méridienne

en **bleu** vers l'ouest, en **rouge** vers l'est

62

62



63

OCÉAN ATLANTIQUE

- Communication entre les deux bassins polaires
- Dissymétrie N-S
 - topographie réduit l'influence polaire nord
 - Méditerranée renforce la salinité au Nord (800m - 2200m)
- Dissymétrie est-ouest
 - existence de la dorsale médio-atlantique
 - effet de la rotation de la Terre
 - > bassins ouest plus caractéristiques
- Echanges actifs entre Nord et Sud
 - par circulation superficielle
 - par circulation profonde
- Importance des mouvements verticaux profonds
 - > un des moteurs de la circulation thermohaline mondiale

SOURCE PRINCIPALE D'EAU PROFONDE LIAISON MÉRIDIENNE

Élément primordial dans la stabilité des conditions physiques
du milieu océanique

64

64