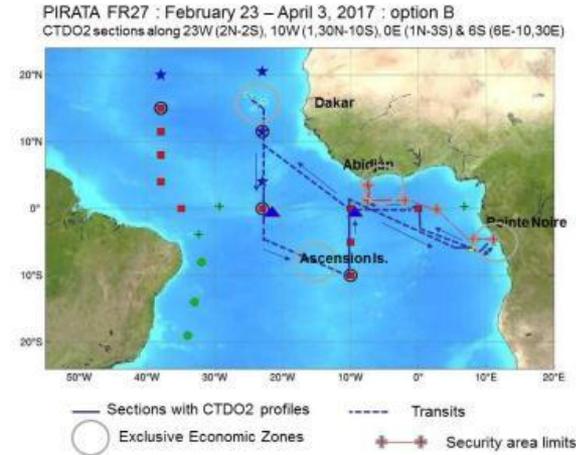
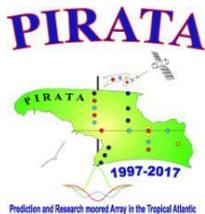


PIRATA FR27 – Bilan (provisoire) et premiers résultats



*Cette campagne est dédiée à la mémoire
de Fabienne GAILLARD*



The PIRATA Observing System in the Tropical Atlantic: Enhancements and perspectives

Bernard Boulrès¹ , Moacyr Araujo² , Fabrice Hernandez³ , Peter Brandt⁴ ,
Edmo Campos⁵ , Hervé Giordani⁶ , Rick Lumpkin⁷ ,
Michael J. McPhaden⁸ , Paulo Nobre⁹ , Ramalingam Saravanan¹⁰ 

³ IRD, Mercator-Océan/LEGOS, Toulouse, France

² LOFEC/UFPE, Recife, Brazil

¹ IRD, LEGOS, IRD, Brest, France

⁴ GEOMAR, Kiel, Germany

⁵ IOUSP, Sao Paulo, Brazil

⁶ Météo-France/CNRM, Toulouse, France

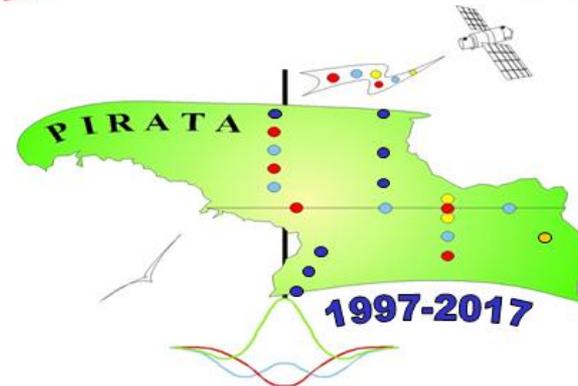
⁷ NOAA/AOML, Miami, FL USA

⁸ NOAA/PMEL, Seattle, MA USA

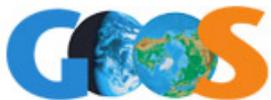
⁹ INPE, Sao Jose Dos Campos, Brazil

¹⁰ Texas A&M University, College Station, MD USA

PIRATA



PredIction and Research moored Array in the Tropical Atlantic



PIRATA in the Tropical Atlantic: : what, why, who, how?

Who?

Initiated in 1996.... (by US, FR & BR colleagues)



PIRATA-1 Meeting
February 1996
Natal, Brazil

The Historic PIRATA' Birth

10 years later ...
Exactly at the same place

PIRATA 10 Years
Evaluation Workshop
February 2006
Natal, Brazil



PIRATA 1st buoy deployment:
September 11, 1997,
with the R/V ANTEA, at 0N-10W.

⇒ 2017: 20th anniversary
of the PIRATA network

⇒ Untill now, still a « tripartite » program sustained by:

USA (NOAA), BRAZIL (INDP, UFPE,DHN) & France (IRD, Météo-France, Ifremer, CNRS...)

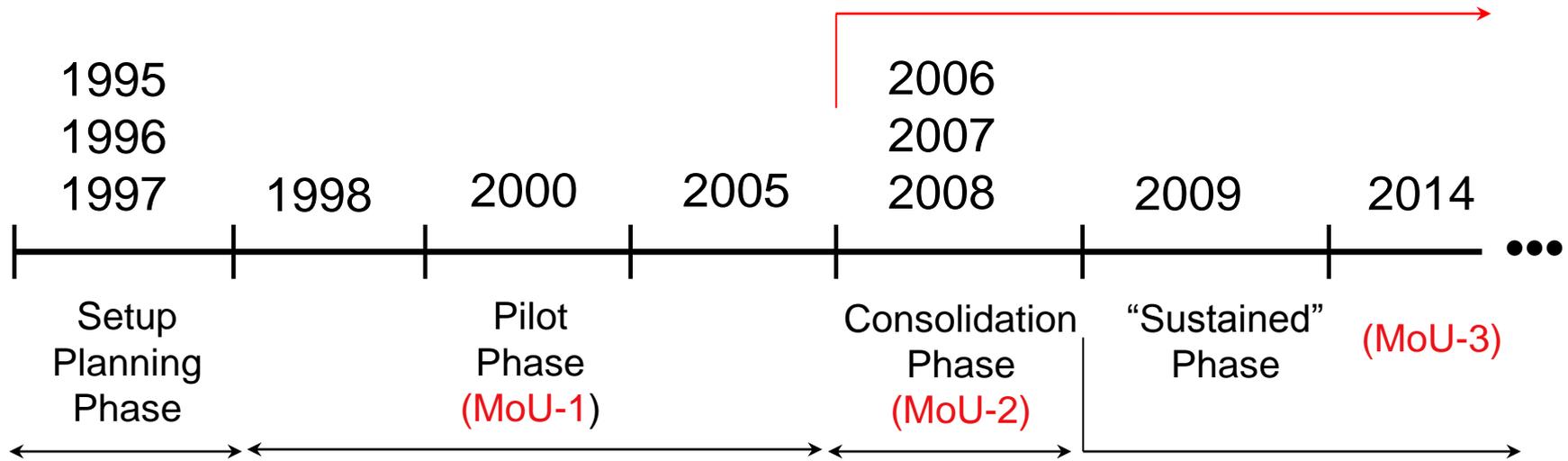
Also collaborations with Germany (GEOMAR) from 2005-2006.

Comment PIRATA peut “réussir” : différentes “phases”

=> De *Pilot Research moored Array in the Tropical Atlantic* à *Prediction and Research moored Array in the Tropical Atlantic*



CLIVAR-WCRP & OOPC
endorsement



Engagement des partenaires via un MoU très important...



=> The PIRATA network at now :

18 meteo-oceanic buoys

3 ADCP moorings (0-300m)

6 Flux Reference sites

2 with surface CO₂ sensors

2 with O₂ subsurface sensors

1 with P_{atm}

Maintained by Brazil:

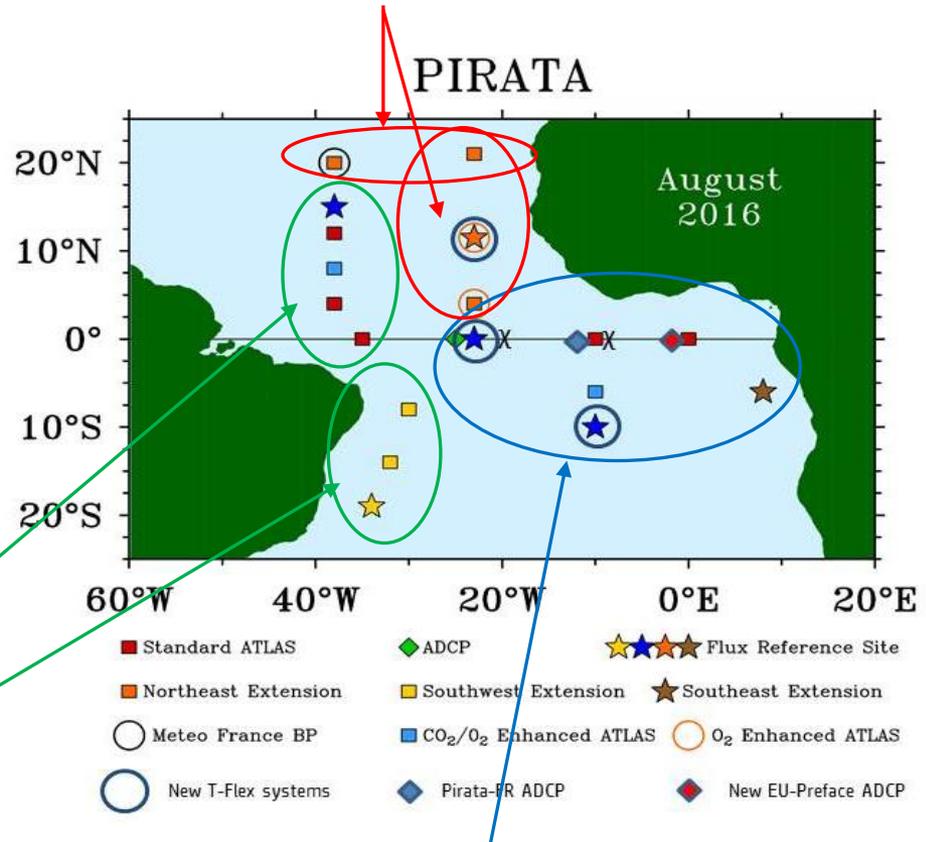
8 Atlas buoys:

5 from 1998,

3 as the PIRATA SWE from 2005



Maintained by USA : 4 Atlas buoys : PIRATA NEE from 2006



Maintained by France :

6 Atlas buoys:

5 from 1997

+ PIRATA SEE at 6S-8E in 2006 – 2007 (by South Africa & BCLME)
then from 2013 (EU PREFACE programme)

3 ADCP moorings (23° W, 10° W & 0° E along the equator);

Contribution by US & Germany for 23W-Eq site from 2006.

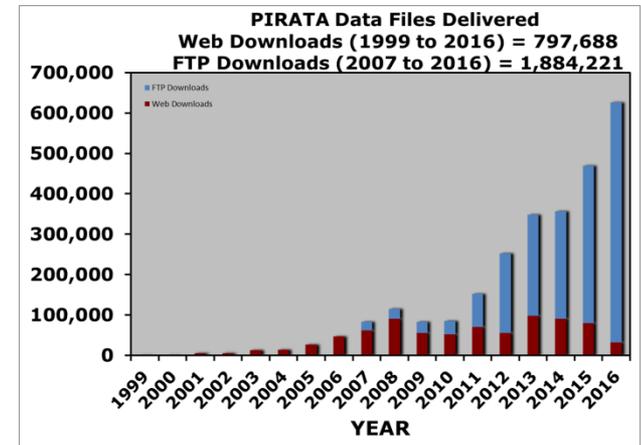
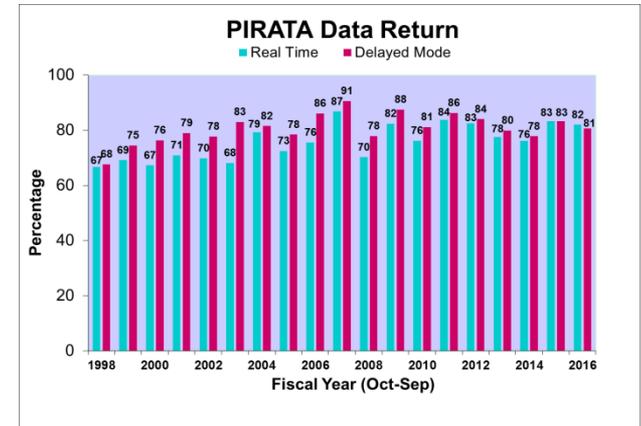
Données ATLAS T-Flex => Temps réel et différé:

- Taux de retour de données 1998-2016:

~>82% en moyenne ! (supérieur à TAO dans le Pacifique...)

- Fichiers de données PIRATA transmis 1999-2016:

Via page internet & ftp : demande/utilisation très importante



**Données libres
et gratuites**



website: <http://www.pmel.noaa.gov/gtmba/pirata>

<http://www.brest.ird.fr/pirata>

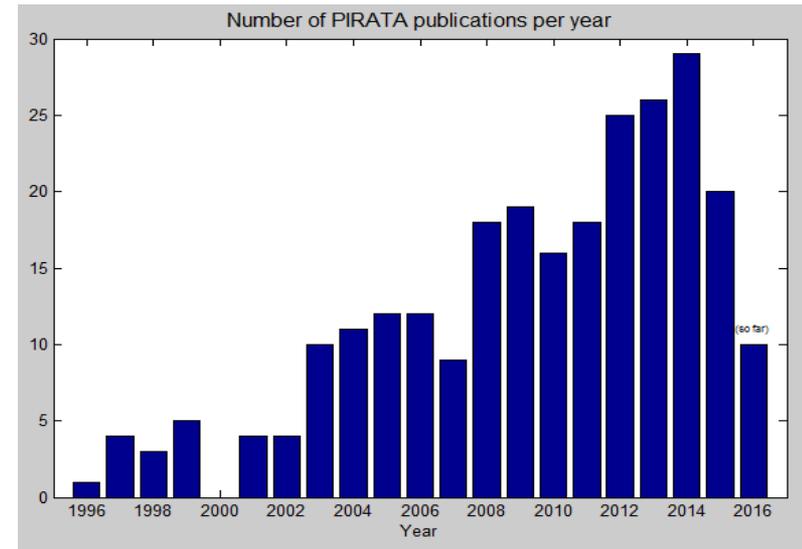
<http://www.pirata.ccst.inpe.br>

<http://www.aoml.noaa.gov/phod/pne>

Travaux et publications:

USA, France, Brésil, Allemagne... +
Utilisation en opérationnel +
Validation produits satellites +
Utilisation pour climatologies etc...

⇒ Impossible d'avoir une liste
exhaustive des publications...



~10-15 / an => près de 300 publications

Impliquant des chercheurs de France:

13 entre Oct 2015 et Oct 2016

DONT 9 avec des PhD et jeunes chercheurs d'Afrique

De l'Ouest issus du Master 2 créé au Bénin en 2008 en lien avec PIRATA

Photo du dernier meeting à Paris avec la communauté « Preface »



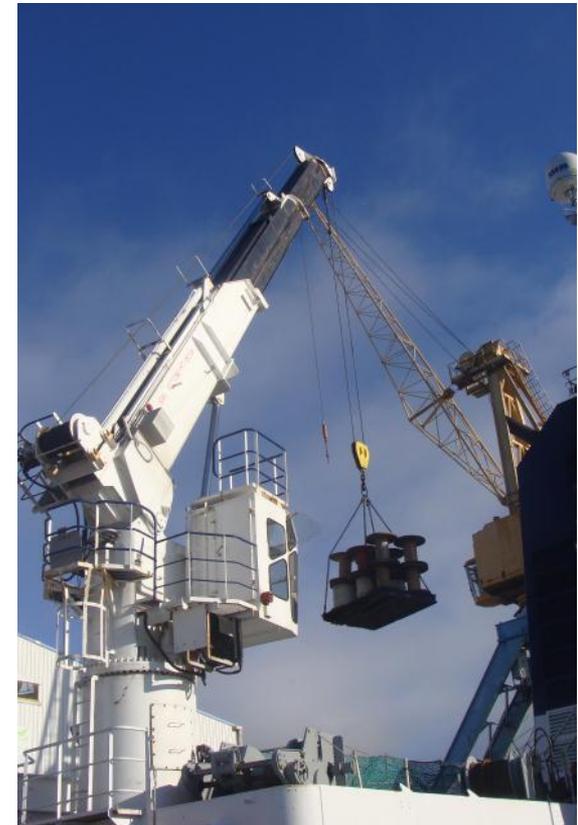
⇒ *Programme « reconnu » au niveau international, utile, important,...*

PIRATA FR27



Début des aventures à Brest

15-16 février:
Chargement du matériel.



26 février; départ de Mindelo...



L'aventure commence... mais pourquoi faire, comment, etc.?

PIRATA FR27



TRAVAUX PRÉVUS:

⇒ Remplacement bouées
Météo-océaniques ATLAS & Tflex

⇒ Remplacement mouillage ADCP

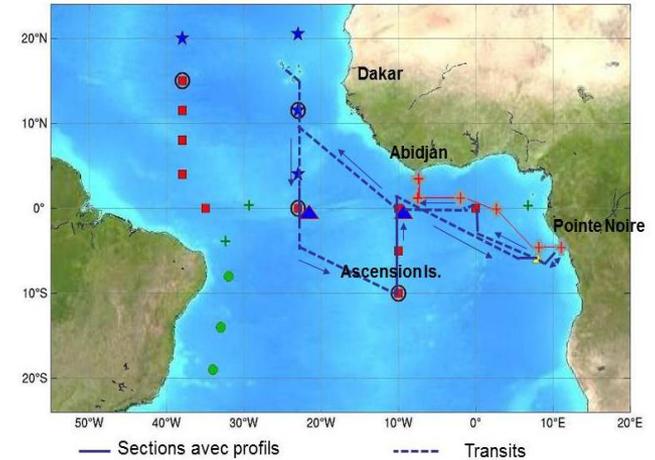
⇒ Déploiement ARGO et SVP-B

⇒ Profils CTDO₂/LADCP

⇒ Mesures en continu ADCP de coque et TSG

⇒ Profils XBT et prélèvements d'eau de mer de surface

⇒ Acoustique/Bongo/plancton

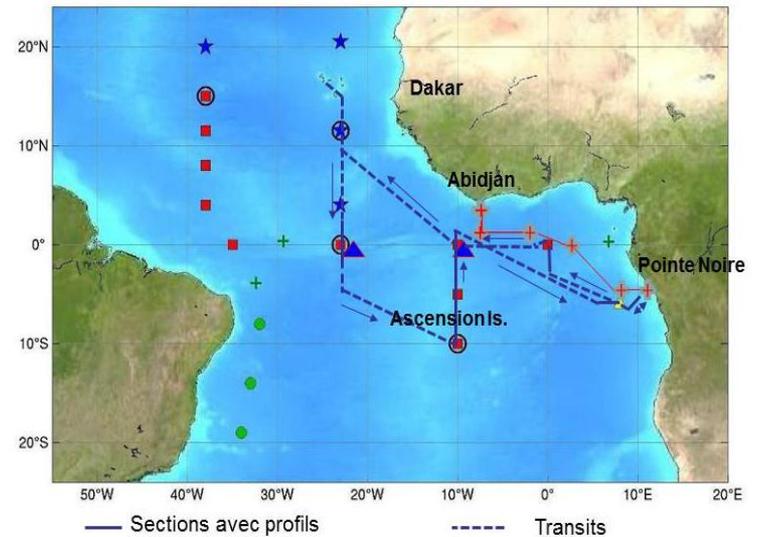


PIRATA FR27



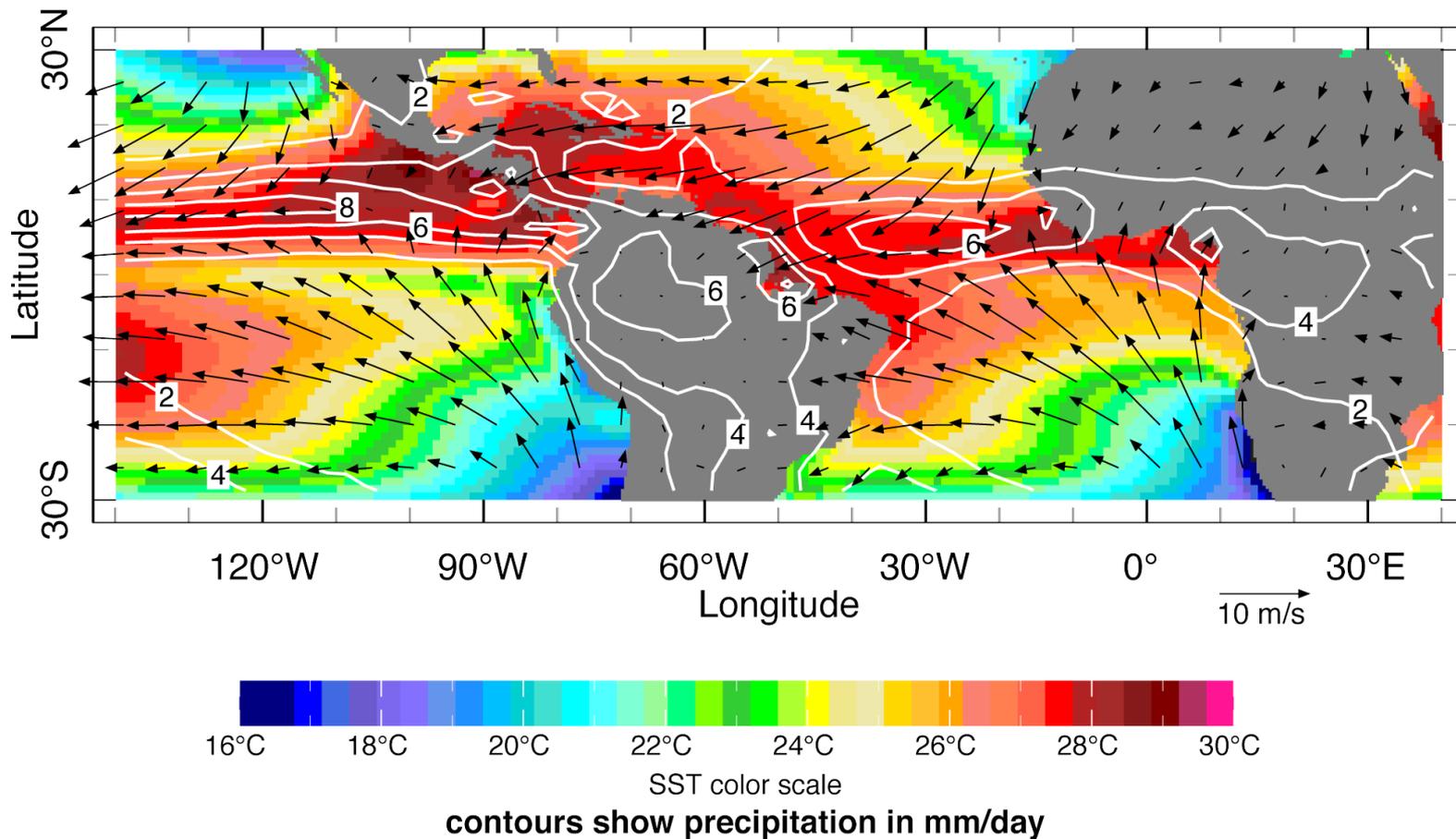
1) Remplacement bouées Météo-océaniques ATLAS & Tflex

Pourquoi ces bouées?



QUELQUES INFORMATIONS PREALABLES SUR LE CLIMAT EN ATLANTIQUE TROPICAL:

*Température de surface de la mer, précipitation et vent en surface
(moyenne annuelle)*



FORTES VARIATIONS SAISONNIERES:

Liens entre les variations saisonnières de la température de surface de l'océan, des précipitations et des vents:

Sources: SST TMI,
vents QuickSCAT
Précipitation TRMM

(from Gu & Adler, *J.Clim.*, 17,
3364-3377, 2004.)

Position la plus au nord de la Z.I.C.A. = 15-20° N !

=> Alternances de saisons sèches et pluvieuses en :

- Afrique de l'Ouest
- Nord-Est du Brésil

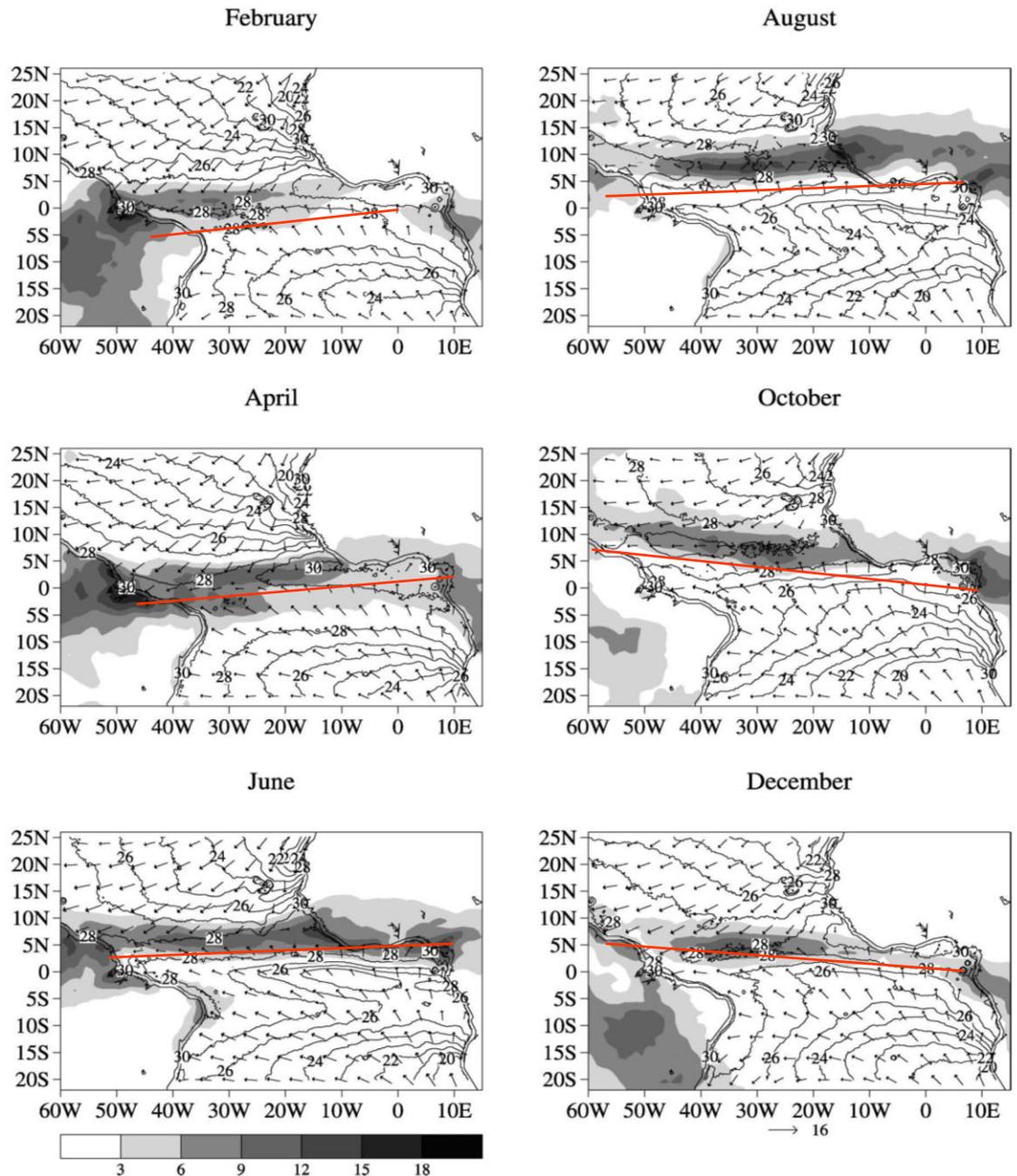
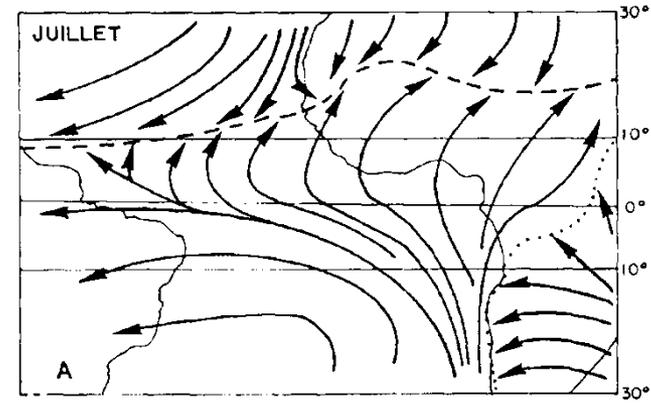
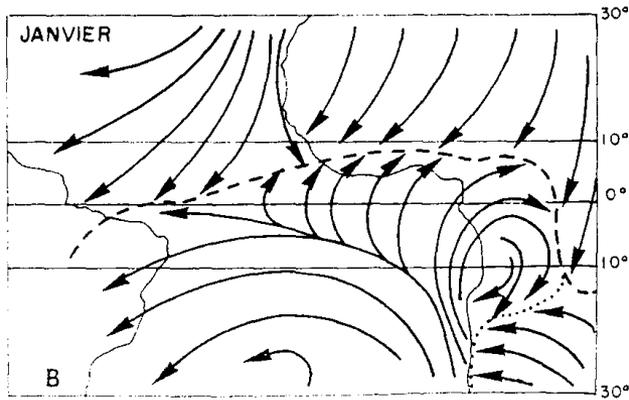
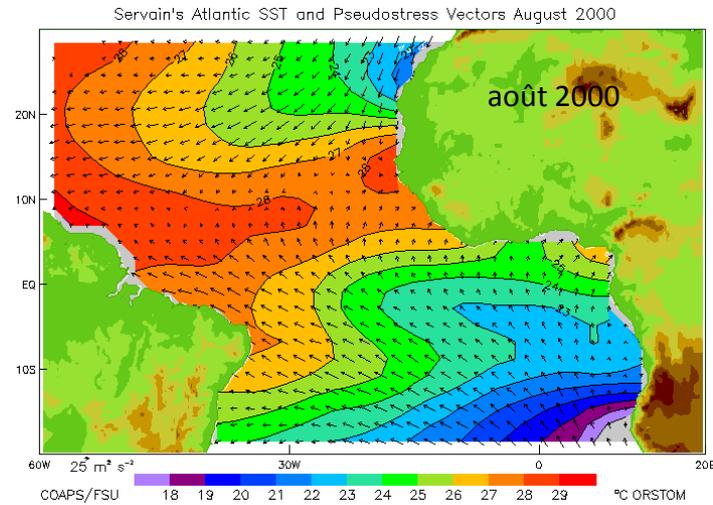
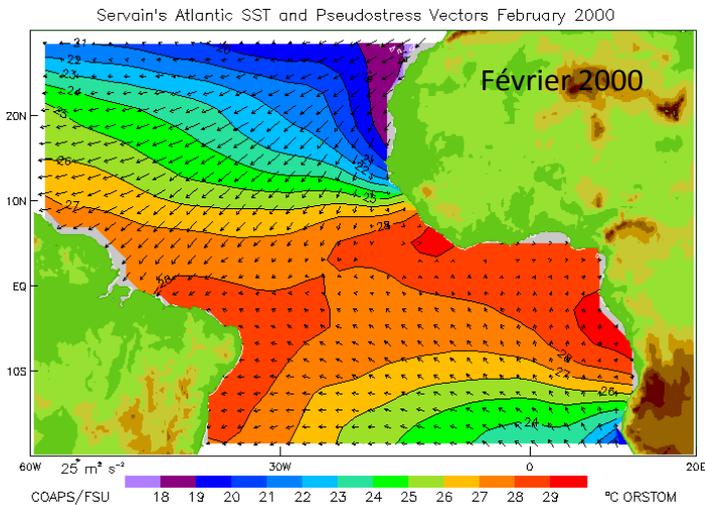


FIG. 1. Monthly mean rainfall (mm day⁻¹) from 3B43 (shaded), TMI SST (°C; contours), and QuickSCAT wind vectors (m s⁻¹; only from 2000 to 2003) in the Atlantic–West African sector. Wind vectors of magnitudes <0.5 m s⁻¹ are not plotted.

RÔLE DE L'OCEAN DANS CES VARIATIONS CLIMATIQUES ???

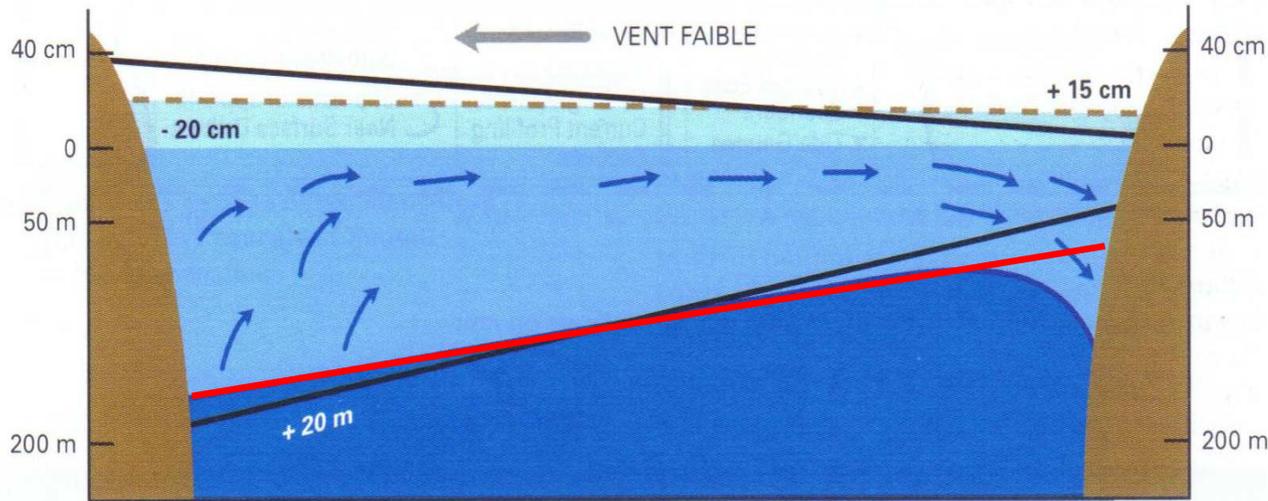


Vents dominants => pénétration d'air humide 1) en provenance du Golfe de Guinée et de l'Atlantique central vers les régions Sahéliennes et 2) en provenance de l'Atlantique équatorial vers le Brésil



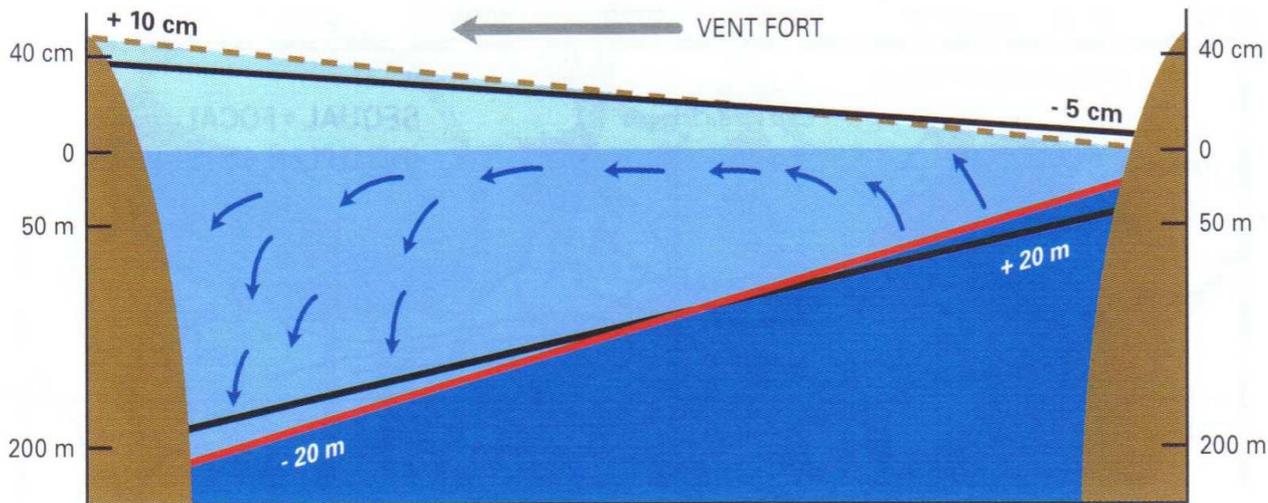
Température de la mer: très grande variabilité de la température de surface (SST) et donc des échanges océan-atmosphère (échanges de température et humidité...)

Effet du vent le long de l'équateur:



Hiver:

Les vents entraînent les eaux chaudes vers l'Ouest,
⇒ À l'Est, les eaux froides profondes remontent légèrement vers la surface (conservation de masse)



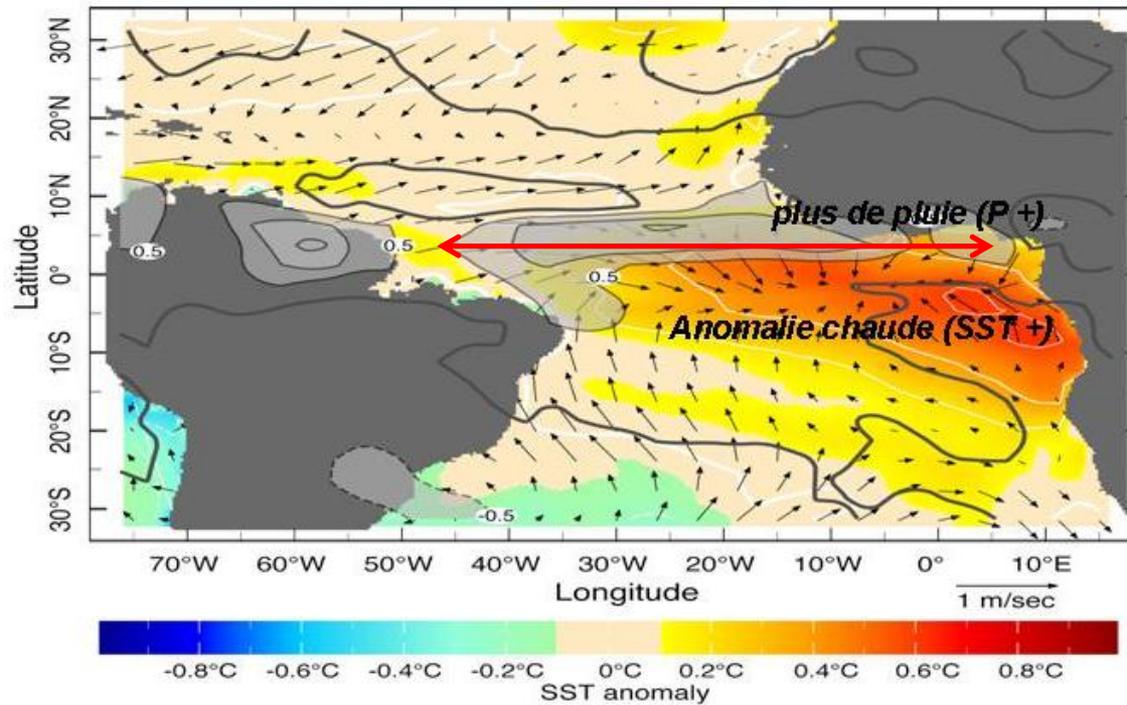
Eté:

Les vents sont plus forts et entraînent plus d'eaux vers l'Ouest, induisant à l'Est une remontée des eaux froides profondes beaucoup plus près de la surface

⇒ Refroidissement dans le Golfe de Guinée en été boréal (mai-septembre)

Mode de variabilité équatorial (ou zonal) :

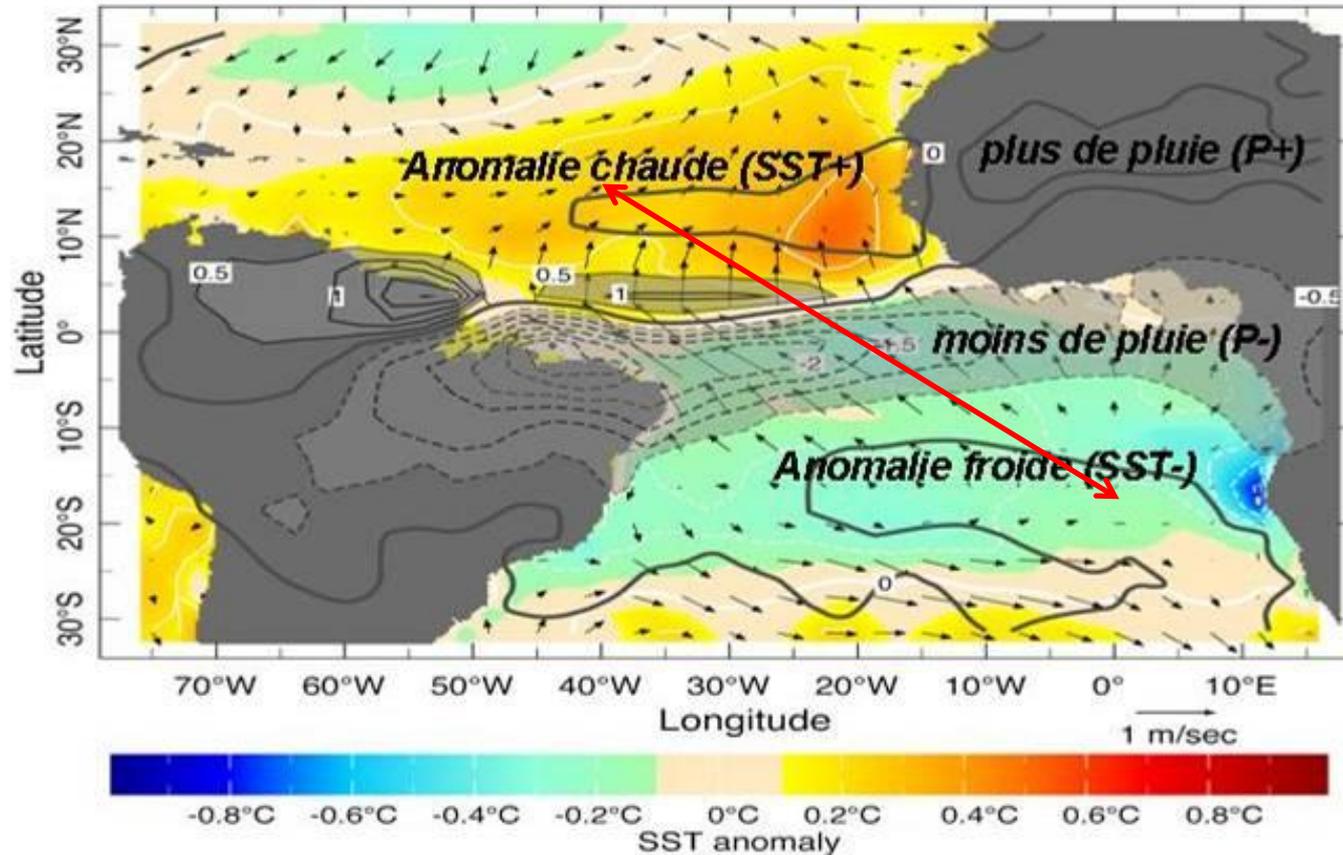
- => s'apparente au phénomène El Niño/Southern Oscillation dans le Pacifique
- => essentiellement en été boréal
- => axe équatorial



Mode de variabilité inter-hémisphérique ou méridien (dit parfois à tort « dipôle »):

=> essentiellement au printemps boréal

=> axe Nord-Ouest / Sud-Est (lié à distribution continent/océan...)

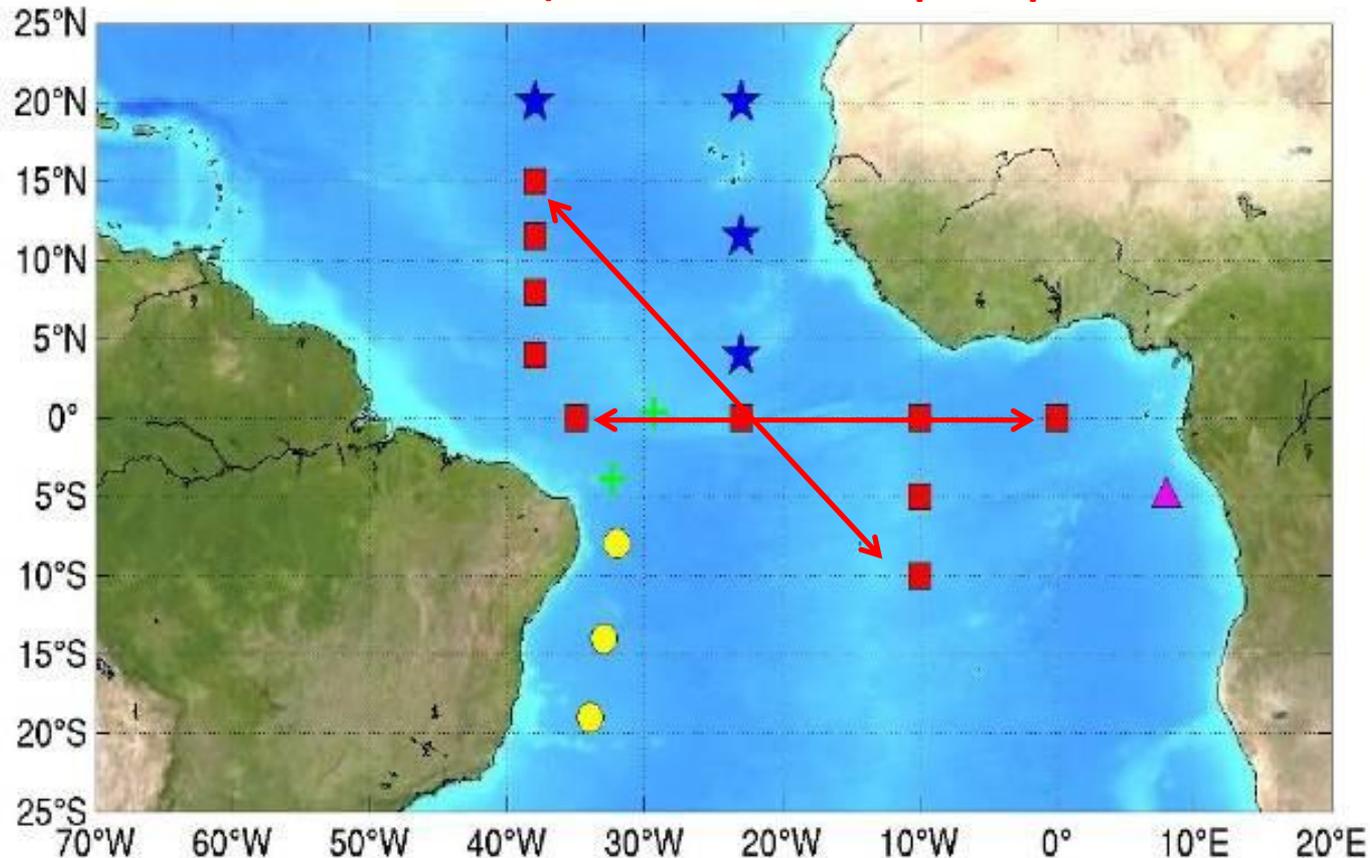


=> LE RESEAU PIRATA : pourquoi ces positions des bouées ?

2 MODES DE VARIABILITE INTERANUELLE

=> DISTRIBUTION DES BOUEES METEO-OCEANIQUES

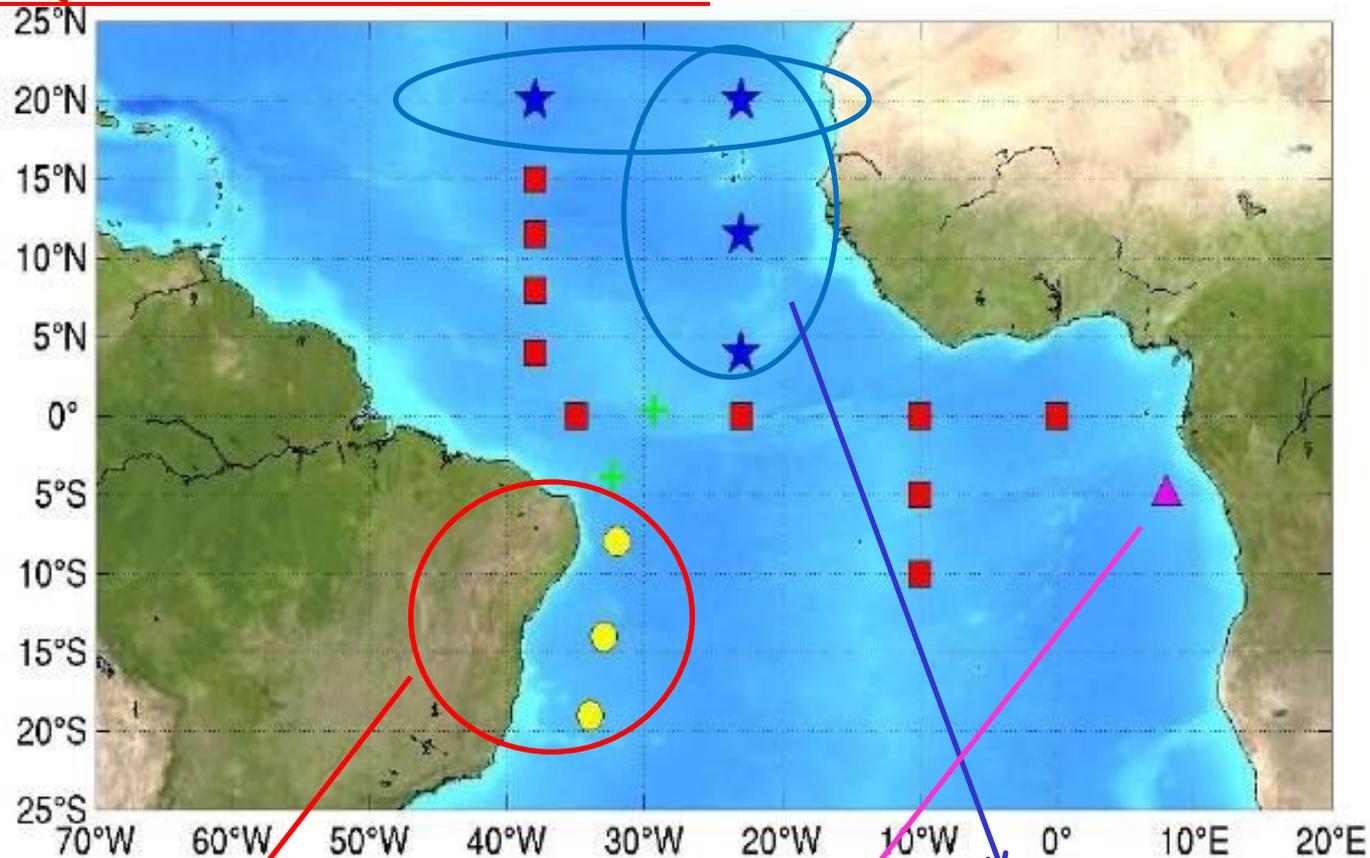
(selon leurs 2 axes principaux: E-W et NW-SE)



En rouge: réseau initial 1997-2005; En jaune: extension Sud-Ouest: 2005

En bleu: extension Nord et Nord-Est: 2005-2006; triangle: extension Sud-Est: 2006-2007 puis 2013

POURQUOI DES EXTENSIONS ?



Brésil: Zone de Convergence Atlantique Sud:
⇒ Impact sur régime des pluies au Nord-Est;
(1^{er} cyclone en 2004 en Atlantique Sud (Catarina)!

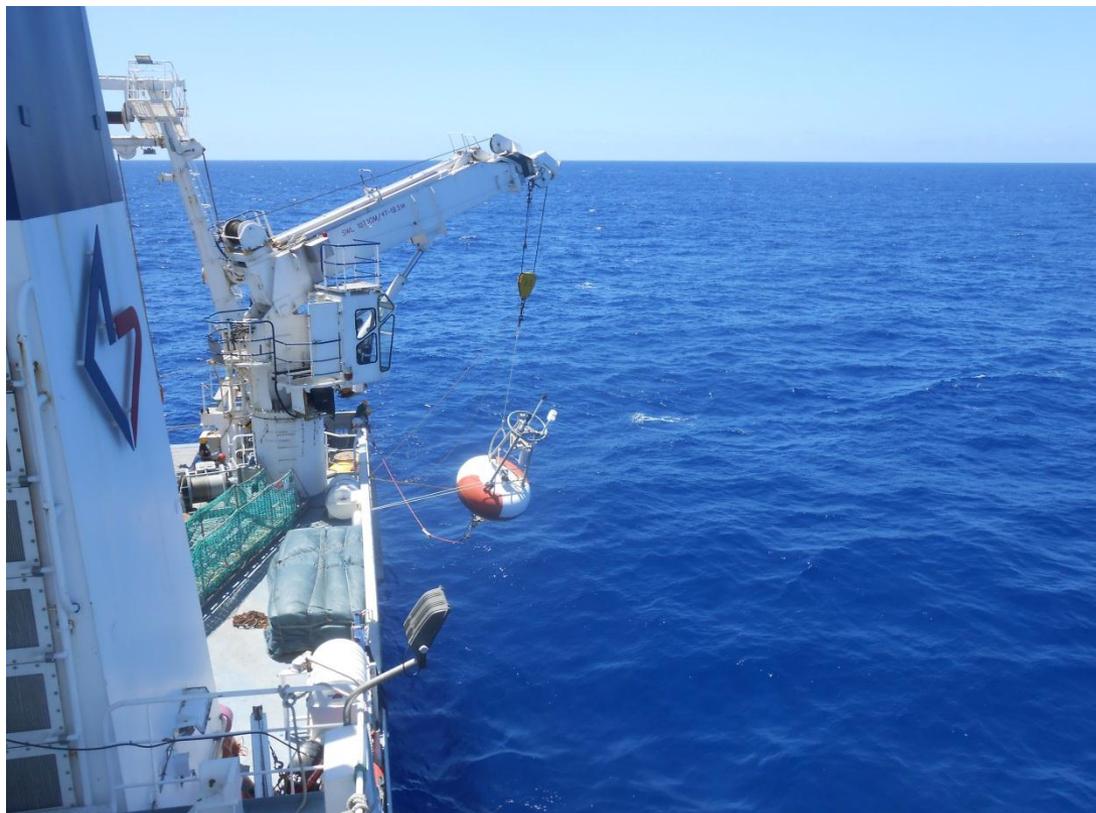
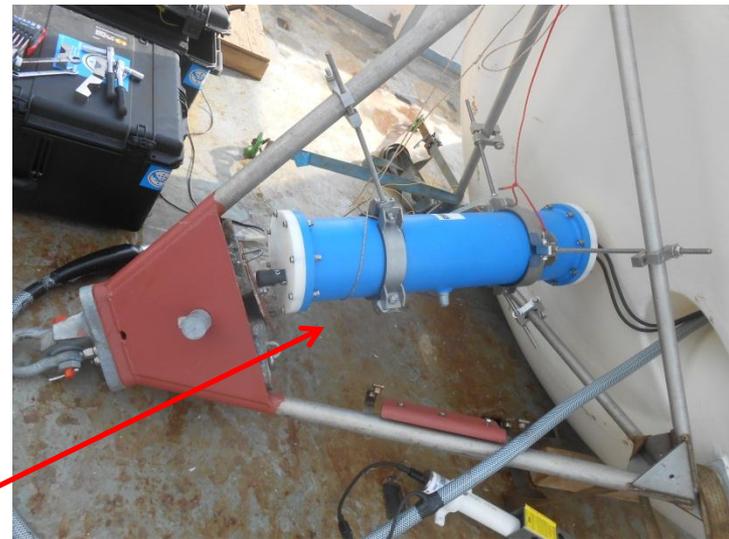
USA: Zone de formation des
cyclones tropicaux en été boréal

Afrique du Sud, France, CEE: Zone au large du Congo; échanges régions
équatoriale et côtières au Sud-Est (fronts thermiques et forte variabilité)



ATLAS / TFLEX

*Nouveau capteur CO₂
à 6S-8E*



PIRATA FR27



BILAN DES OPERATIONS DE MOUILLAGES: ~100%

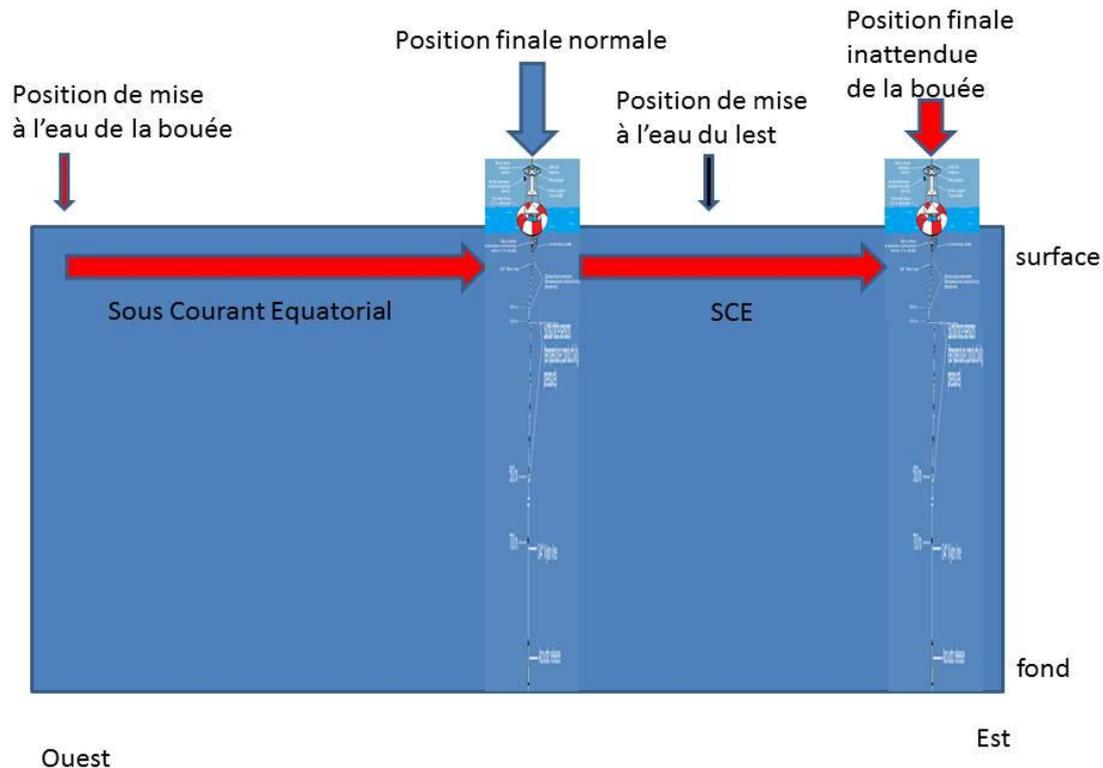
- 3 ATLAS remplacés (6S-10W, 0N-10W et 0N-0E) OK
- 2 T-Flex remplacés (0N-23W, 10S-10W) OK
- 1 ATLAS remplacé par un T-Flex (6S-8E) OK
- + remplacement 5 Xpods (21-81m) à 0N-23W et 0N-10W OK
- + remplacement OTN (200m) sur toutes les bouées OK
- + remplacement capteur CO2 à 6S-10W OK
- + ajout d'un capteur CO2 à 6S-8E OK

Seulement 2 (sur ~120) capteurs sans transmission

PIRATA FR27



L'énigme du positionnement des bouées équatoriales à 10W et 0E



Nouveaux lests? Extension nylon ? Réflexions en cours

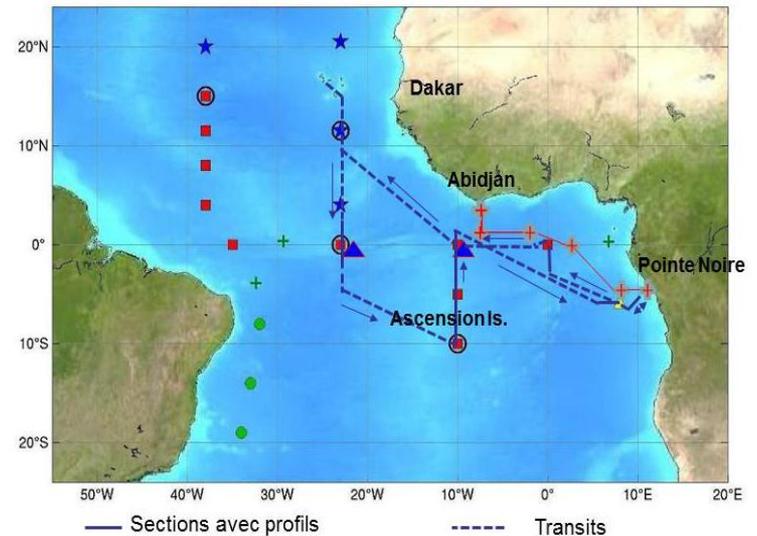
PIRATA FR27



2) Remplacement du mouillage ADCP

Pourquoi des mesures de courant par mouillages à l'équateur?

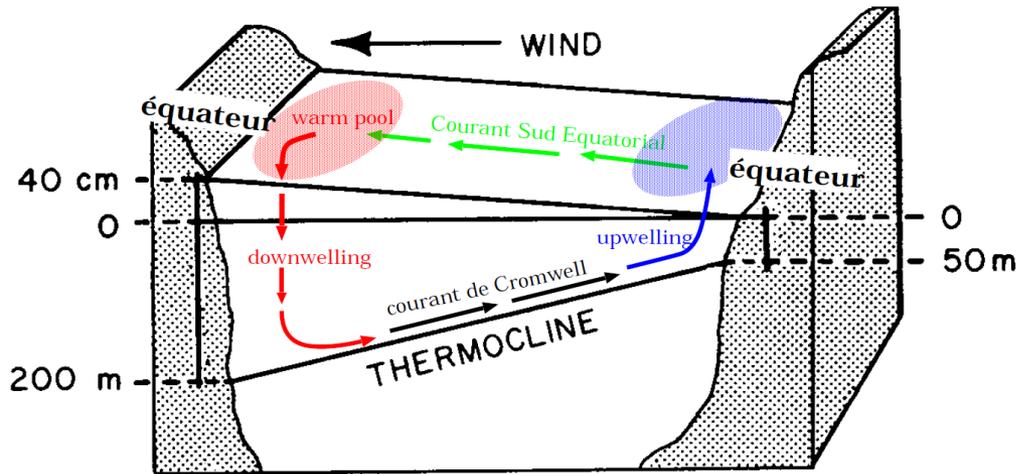
Cf: présentation d'hier de Frédéric et Gaëlle...



PIRATA FR27



Le Sous-Courant Equatorial: fort courant de subsurface vers l'Est



Pacifique:

Courant de Cromwell

Atlantique:

Courant de Lomonossov

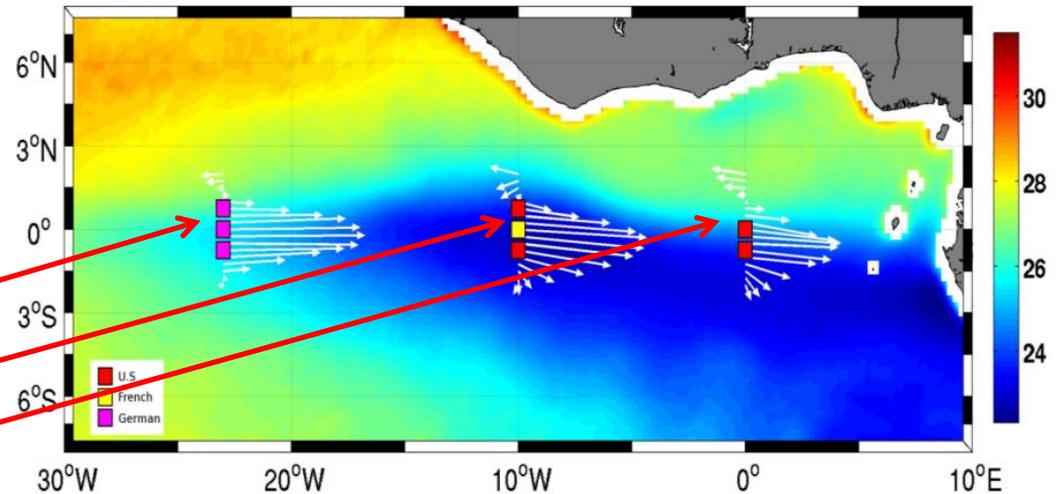
PIRATA:

3 mouillages équatoriaux

23W: depuis 2001

10W: depuis 2005

0E: depuis 2016



(TACE: Kolodziejczyk et al., 2009; Johns et al., 2014; Perez et al., 2014...)

PIRATA FR27



Mouillage ADCP à 10W-0N:

27 mars; profondeur fond = 5205m



Mooring Design and Dynamics 2016 10/ 4 12:58:24

Mooring Element	Length[m]	Height[m]
471n ORE	1.20	4862.72
BENTHOS 171n	0.51	4824.82
BENTHOS 171n	0.51	4824.31
BENTHOS 171n	0.51	4823.80
BENTHOS 171n	0.51	4823.29
BENTHOS 171n	0.51	4822.78
BENTHOS 171n	0.51	4822.27
BENTHOS 171n	0.51	4821.76
BENTHOS 171n	0.51	4821.25
BENTHOS 171n	0.51	4820.74
BENTHOS 171n	0.51	4820.23
BENTHOS 171n	0.51	4819.72
BENTHOS 171n	0.51	4819.21
BENTHOS 171n	0.51	4070.07
BENTHOS 171n	0.51	4069.56
BENTHOS 171n	0.51	4069.05
BENTHOS 171n	0.51	4068.54
BENTHOS 171n	0.51	4068.03
BENTHOS 171n	0.51	66.33
BENTHOS 171n	0.51	65.82
BENTHOS 171n	0.51	65.31
BENTHOS 171n	0.51	64.80
BENTHOS 171n	0.51	64.28
double 8242	0.95	59.15
1 Big Chain	0.50	0.50

PIRATA FR27

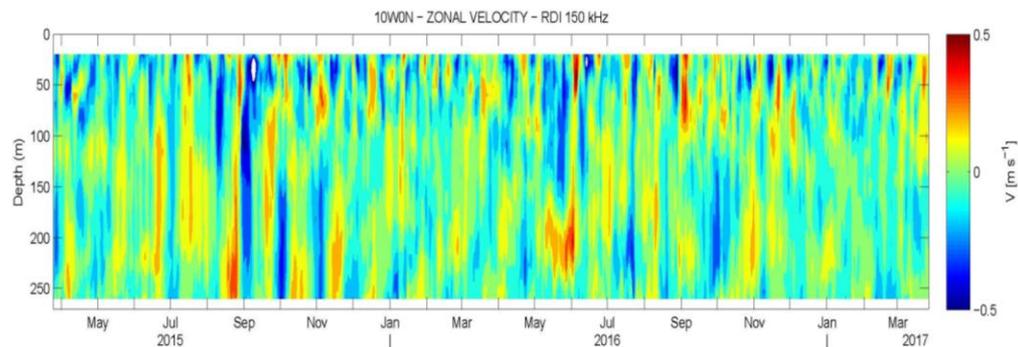
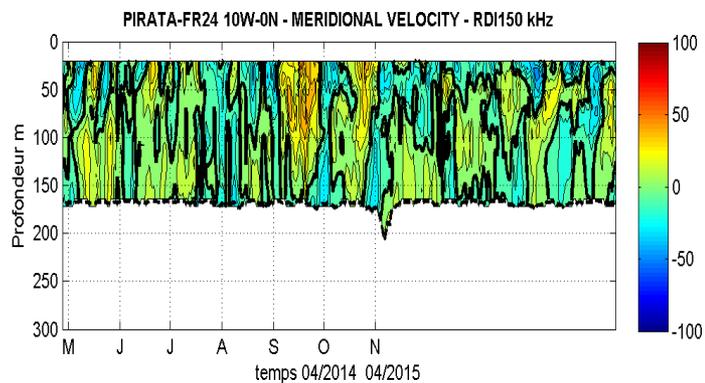
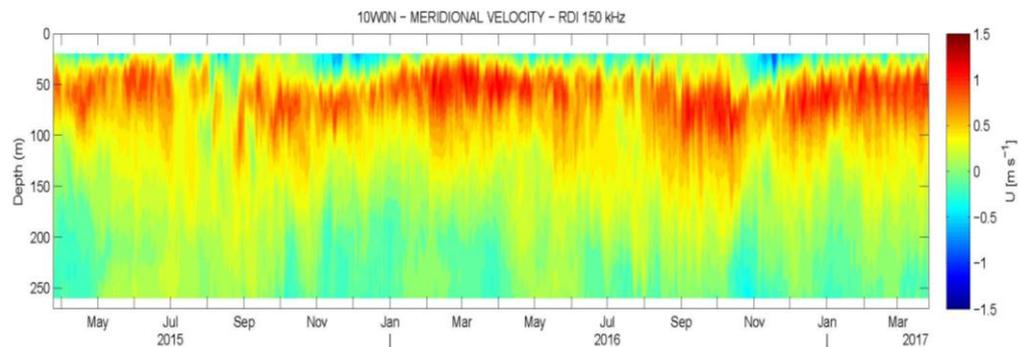
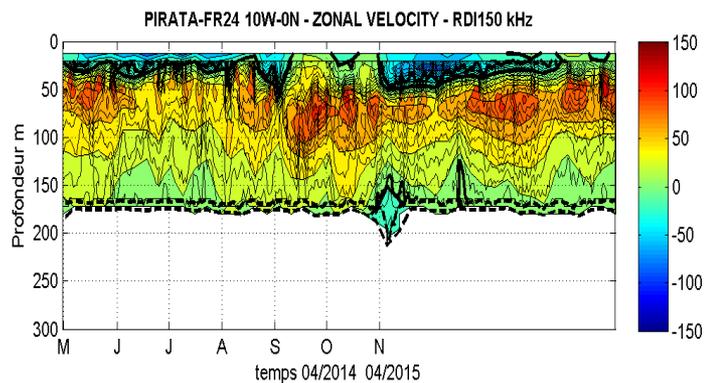


Mouillage ADCP à 10W-0N:

OK

Série précédente: 2014-2015
Pb batteries + profondeur

Série récupérée: 2015-2017
complète et de 270m

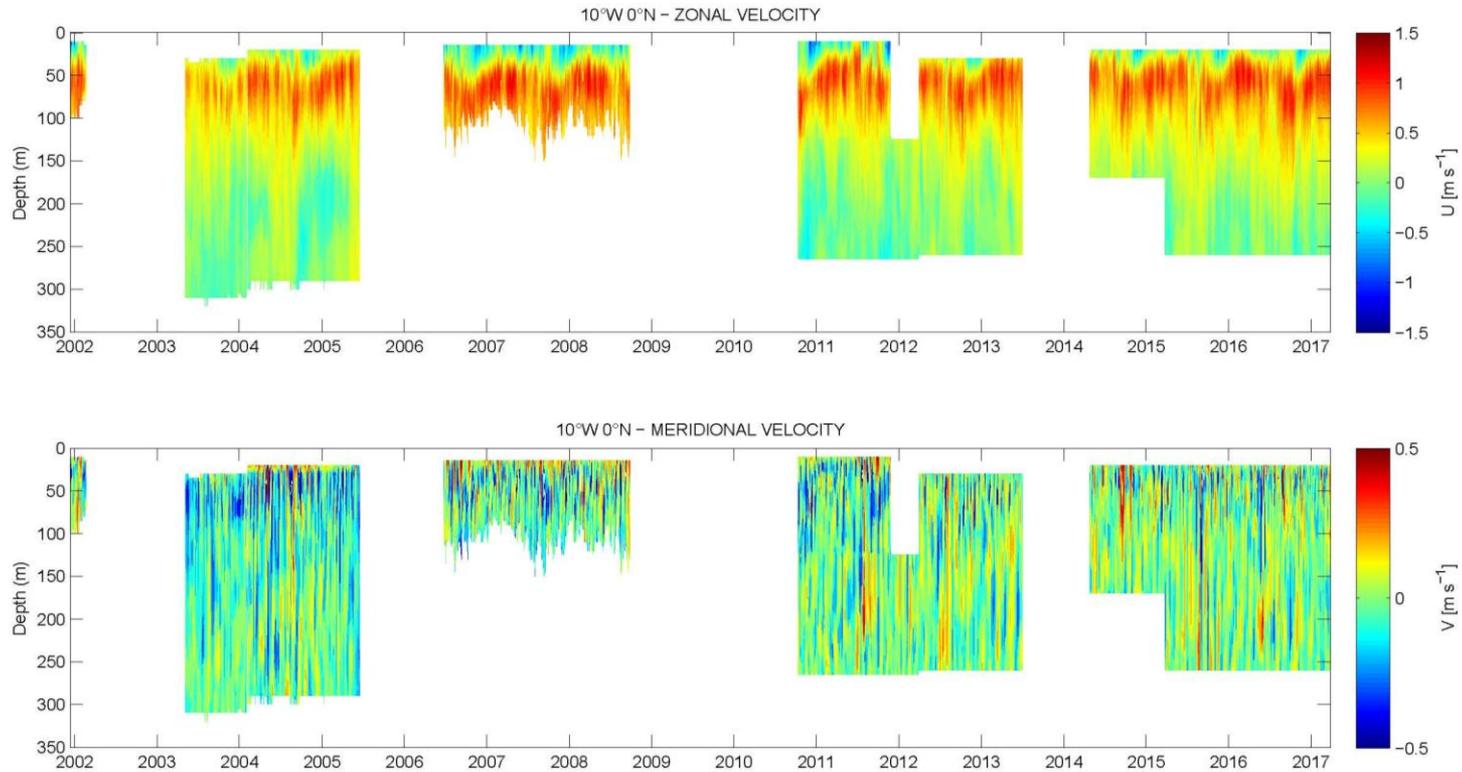


Jérémie

PIRATA FR27



Mouillage ADCP à 10W-0N: *Série totale disponible*



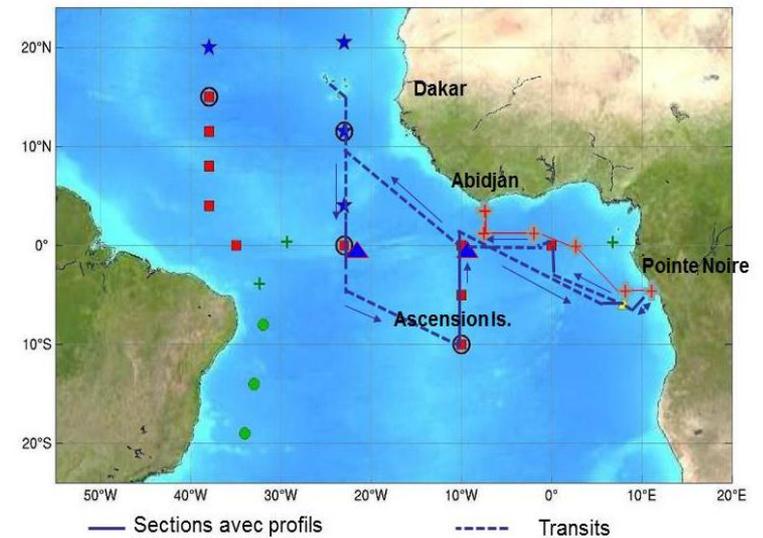
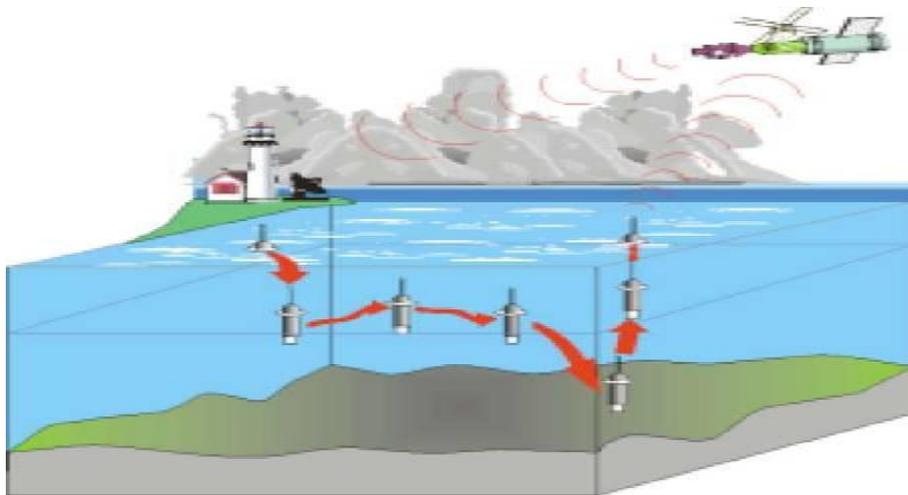
Seul problème: *interrogation du largueur impossible après le déploiement*
=> position approximative!!! *RV en 2019...;*

PIRATA FR27



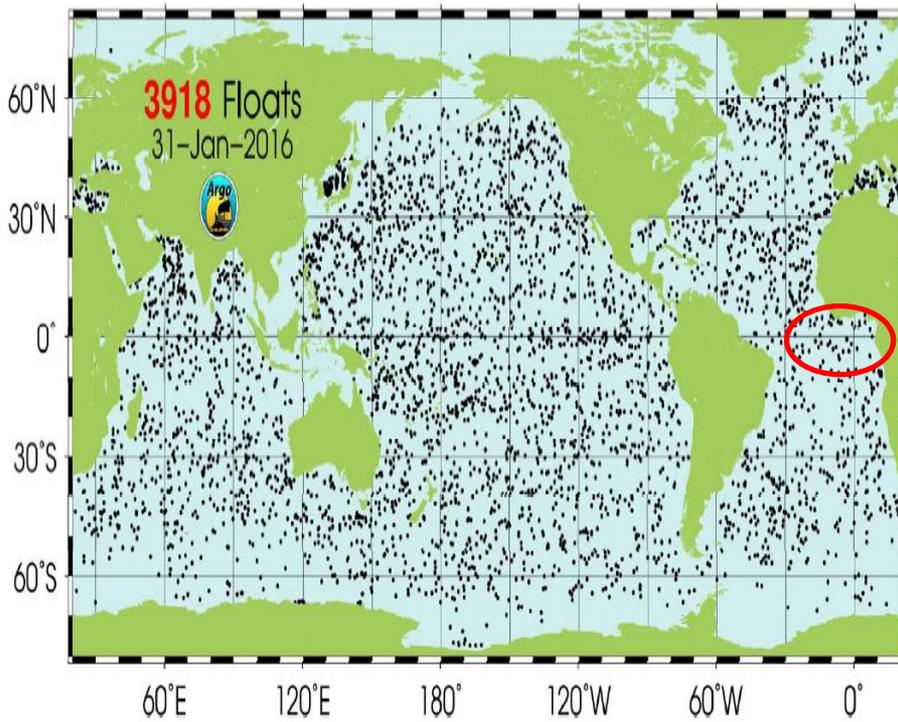
3) Profileurs ARGO

Pourquoi de telles déploiements et pour quelles mesures?



POURQUOI DES DEPLOIEMENTS DE PROFILEURS AUTONOMES ?

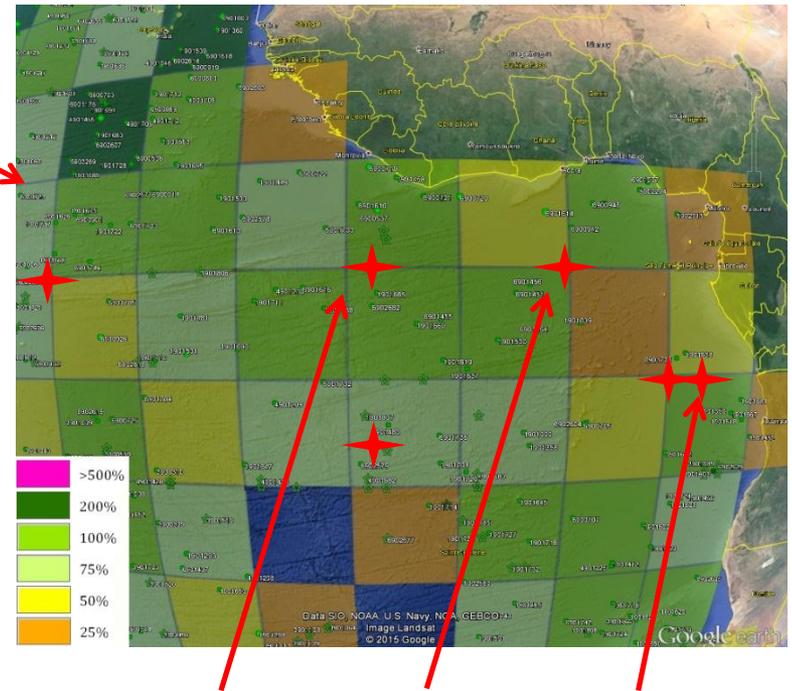
Profileurs actifs en janvier 2016



Depuis 2013, résolution 1m de la surface à 50m => meilleure résolution de la stratification verticale (couche de mélange, Salinité, thermocline...).

PIRATA FR26:

=> 6 dans des zones peu couvertes en profileurs...:



3 profileurs avec 1 profil tous les 2 jours pendant 3 mois jusqu'à 300m

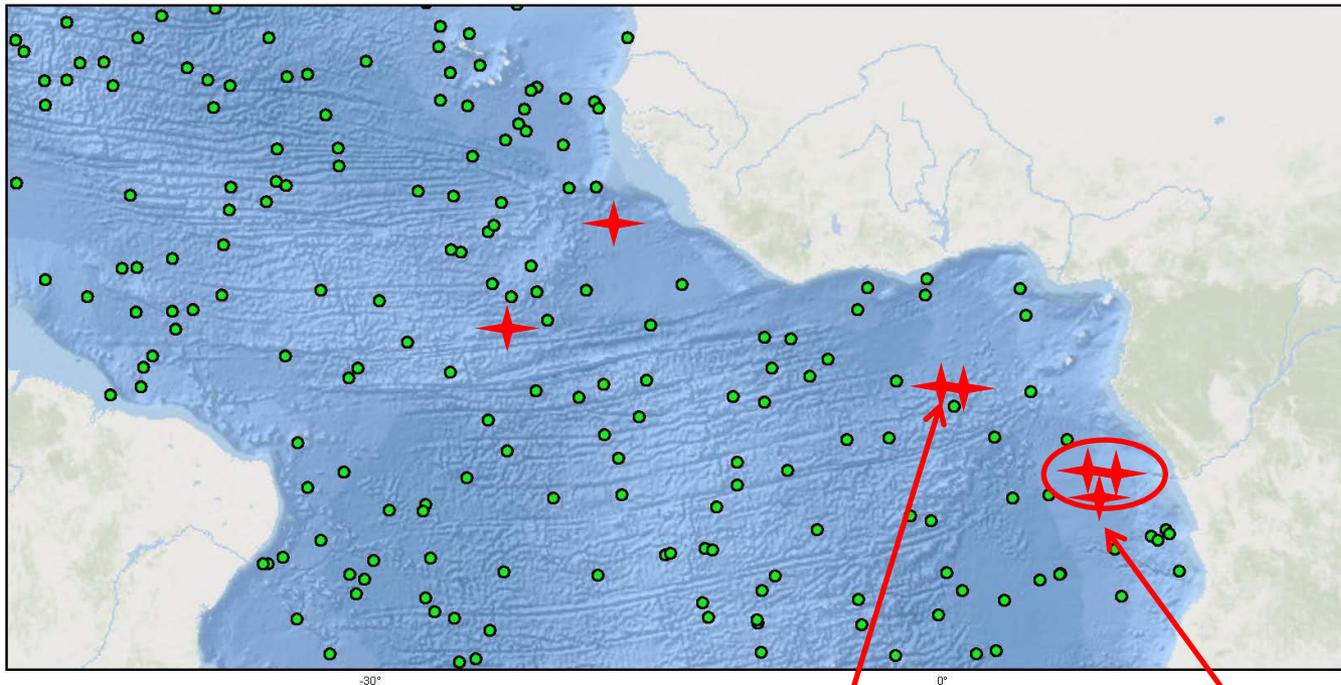
POURQUOI DES DEPLOIEMENTS DE PROFILEURS AUTONOMES ?

Profileurs actifs en février 2017
sur zone PIRATA:

PIRATA FR27:

*=> 8 dans des zones peu couvertes ...
6 avec transmission IRIDIUM*

=> Transmission rapide, restent moins en surface!



*1 profileur
défectueux;
Rapporté à Brest*

Argo

pirata fevrier 2017
flotteurs

16/02/2017

0-0: 2 profileurs avec 1 profil T/S tous les jours jusqu'à 500m (pendant 3 mois)

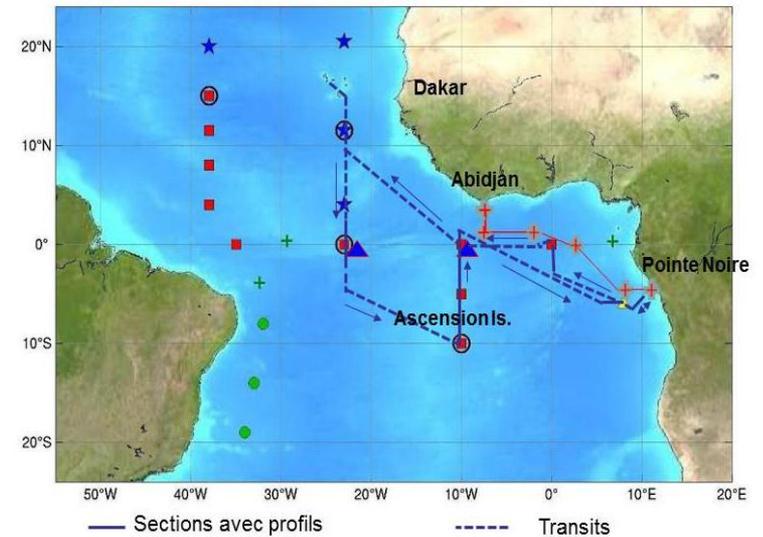
6S-8E: Nouveauté: 2 Profileurs avec mesures d'Oxygène dissous: tous les 2 jours jusqu'à 1000m
+ 1 profileurs avec 1 profil T/S tous les jours jusqu'à 1000m

PIRATA FR27

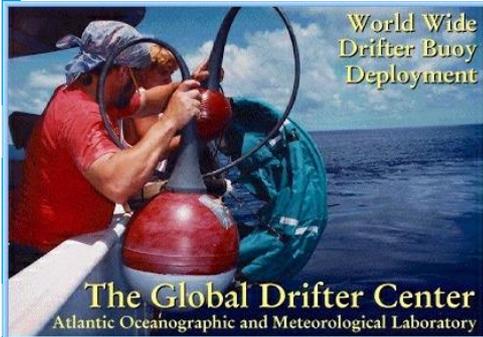


4) Bouées dérivantes de surface:

Pourquoi de telles déploiements et pour quelles mesures?

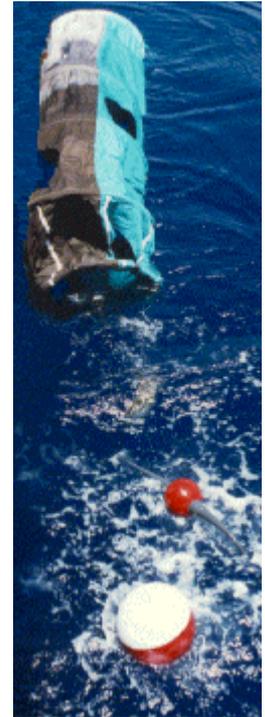


SVP-B: Surface Velocity Profiler : Température + Baromètre

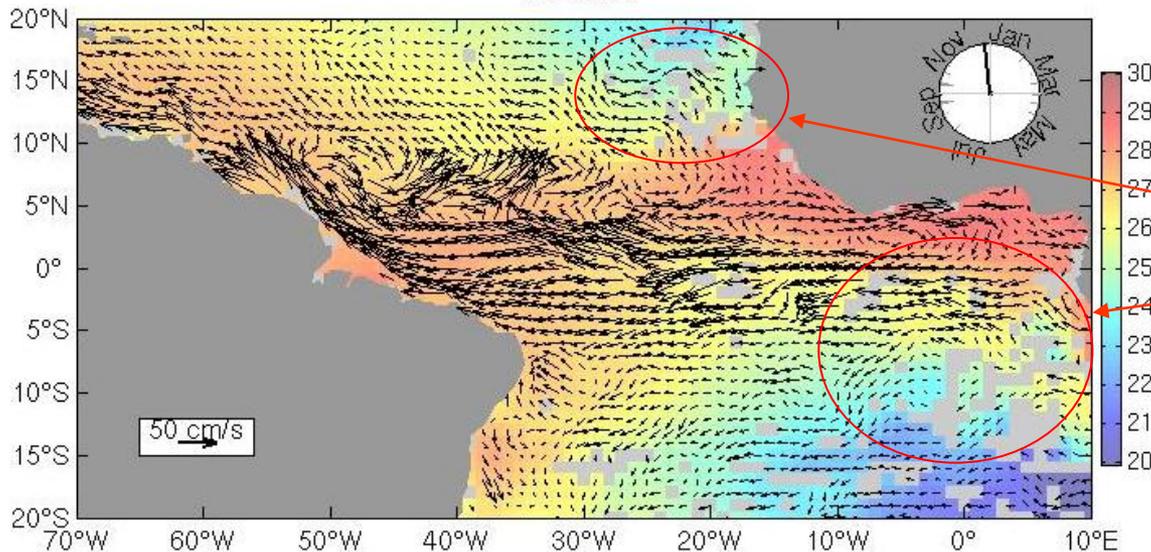


Programme GDC de la NOAA (USA)
(avec température, et certaines pression atmosphérique)
+
Contribution de Météo France (certaines
avec pression atm. et salinité)

**Transmission quotidienne de la position
et des mesures via satellite (ARGOS)**



=> courant et température de surface:
26 Dec



manque de données....

d'après Rick Lumpkin, NOAA/AOML, 2004

PIRATA FR27



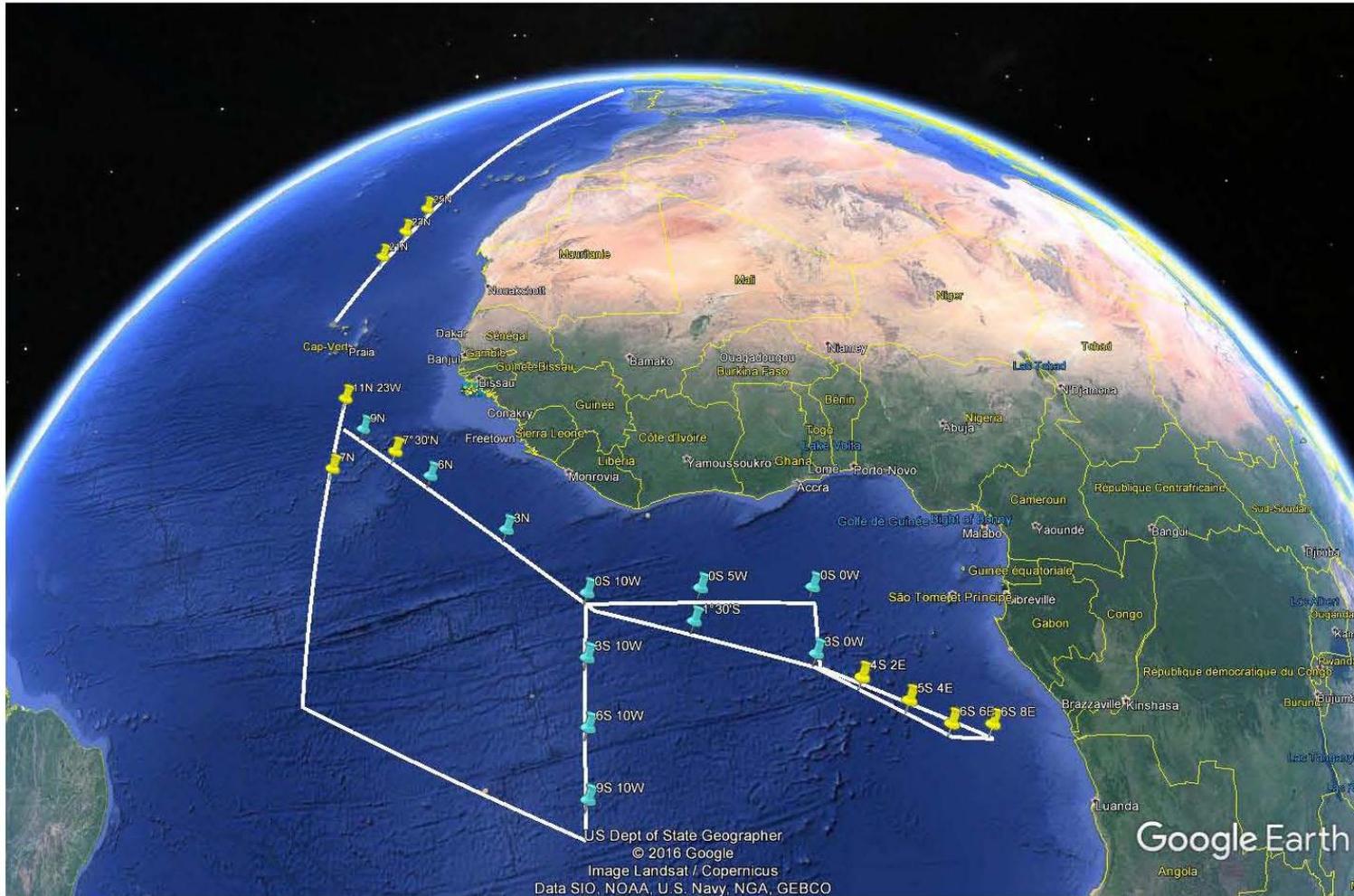
SVP-B: Surface Velocity Profiler : Température + Baromètre

En 2016: 15 SVP-B déployées pour Météo-France, dans le cadre de sa contribution à AtlantOS (programme EU).

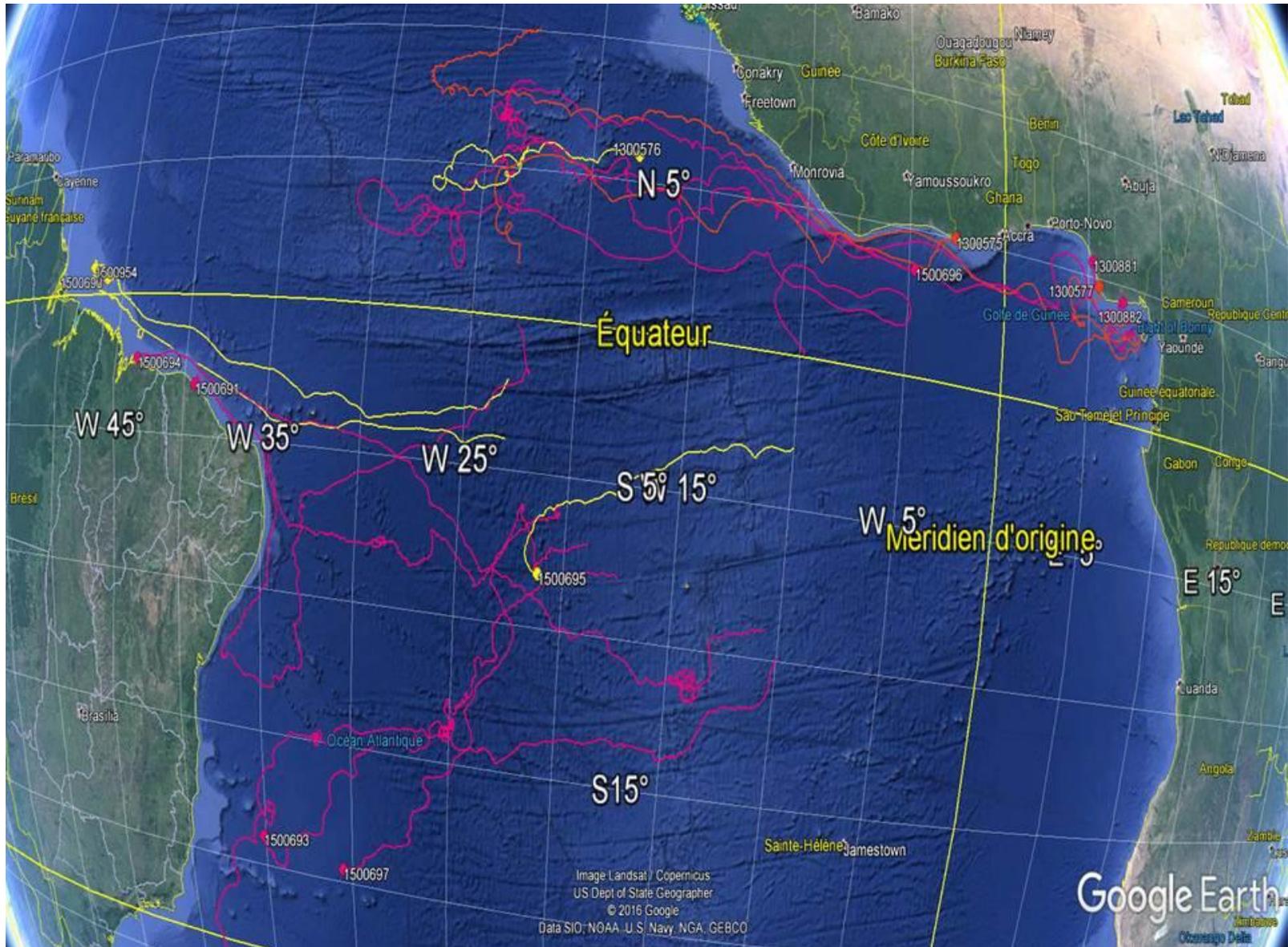
En 2017: 11 SVP-B déployées pour Météo-France, dans le cadre de sa contribution à AtlantOS (programme EU).

+ 10 SVP-B déployées pour les USA (AOML/GDC).

Plan déploiement des 21 bouées en 2017: (jaunes: USA -3 pendant transit-; bleues: France)



Trajectoires des 15 bouées déployées en 2016:

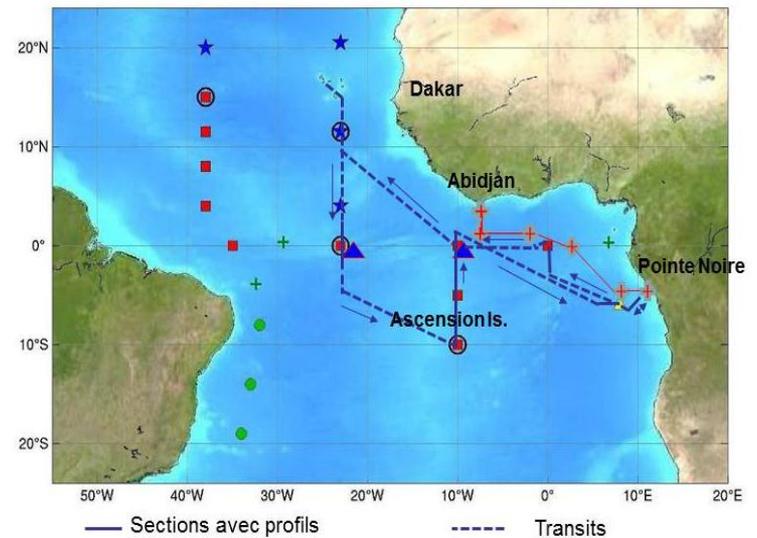


PIRATA FR27



4) Profils CTDO₂ / LADCP

Pourquoi de telles opérations et pour quelles mesures?



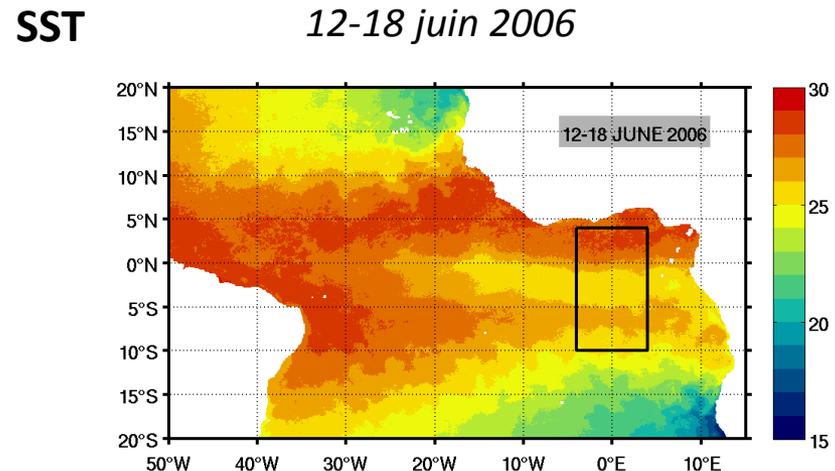
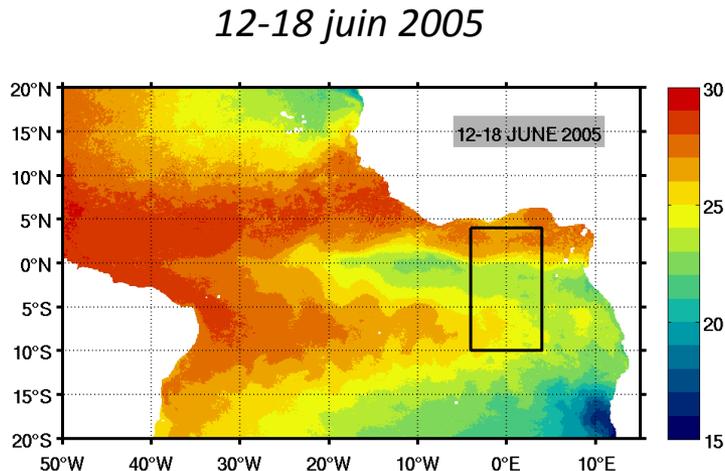
POURQUOI DES PROFILS CTD/LADCP ?

1) Aux sites des bouées ATLAS de PIRATA:

Nécessaires pour étalonner les capteurs de Température
et de Conductivité (Salinité) installés le long du câble après récupération

2) Le long de la section 10W:

- 3 bouées le long de cette radiale => parcours à faire et à valoriser, répété
- Longitude Ouest du Golfe de Guinée => arrivée des eaux venant de l'Ouest au sein des courants zonaux => suivi de ces courants et masses d'eau
- Longitude où le refroidissement équatorial est le plus intense...
- Etude des variations saisonnières à interannuelles



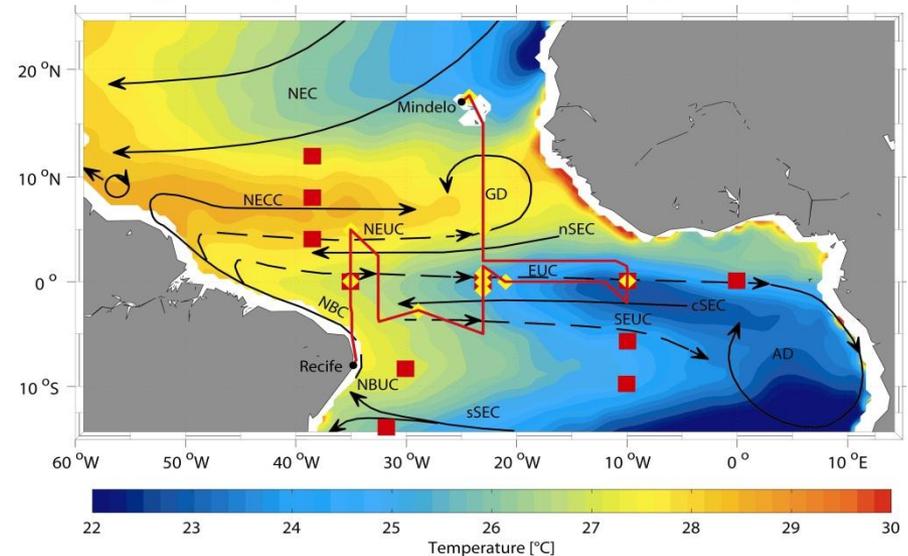
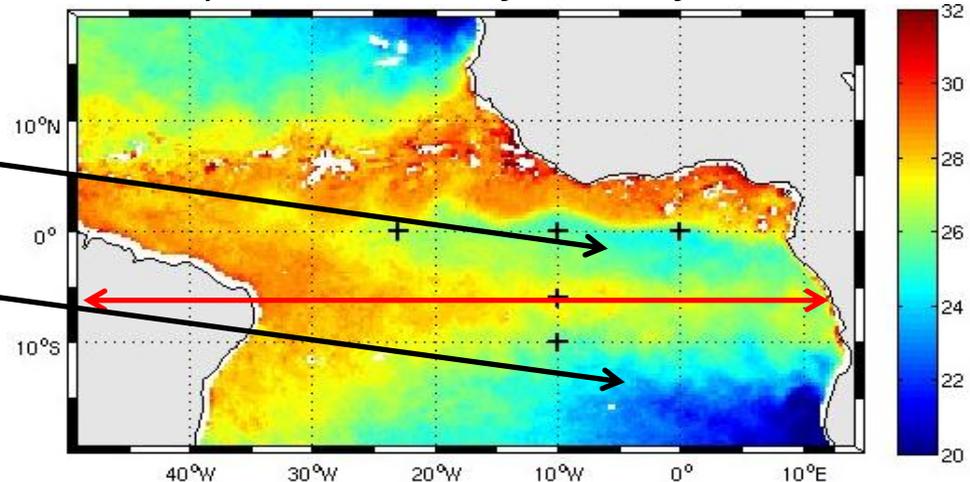
POURQUOI DES PROFILS CTD/LADCP ?

3) Pourquoi la section le long de 6S au large de Pointe Noire (hors bande équatoriale)?

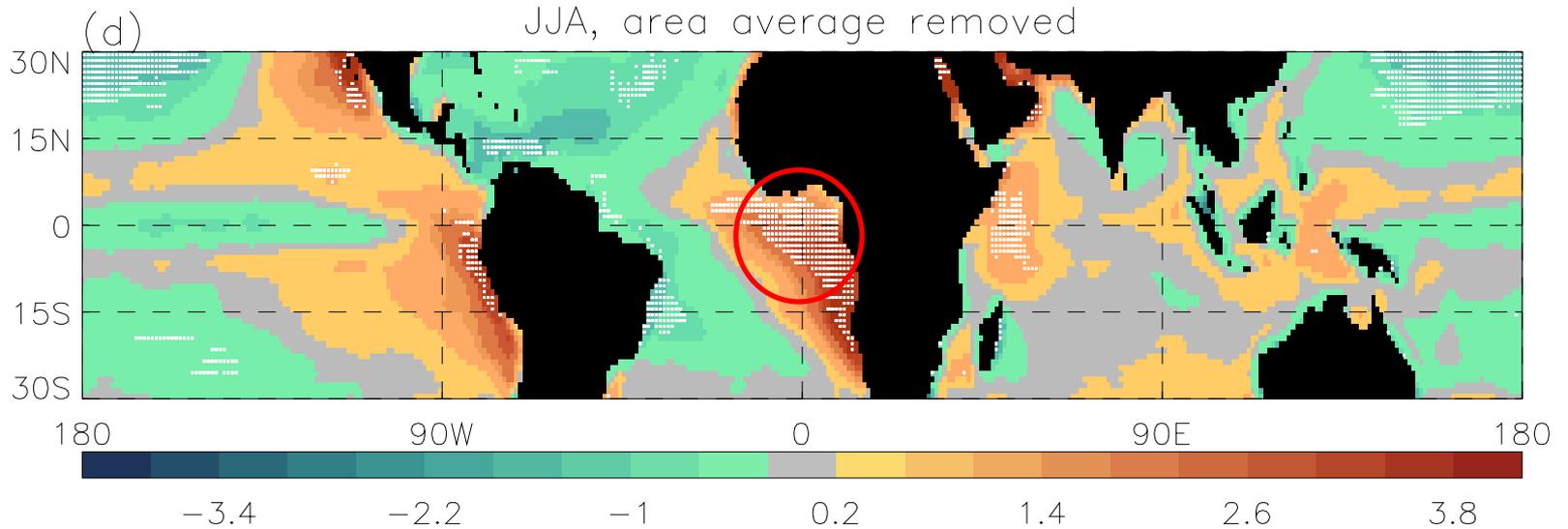
Zone intermédiaire (eaux chaudes) entre la langue d'eau froide équatoriale et eaux froides de l'Atlantique Sud-Est

Zone où une partie du Sous-Courant Equatorial, et du Sous-Courant Equatorial Sud, dévie vers le Sud.
Quelle proportion? encore peu connu...

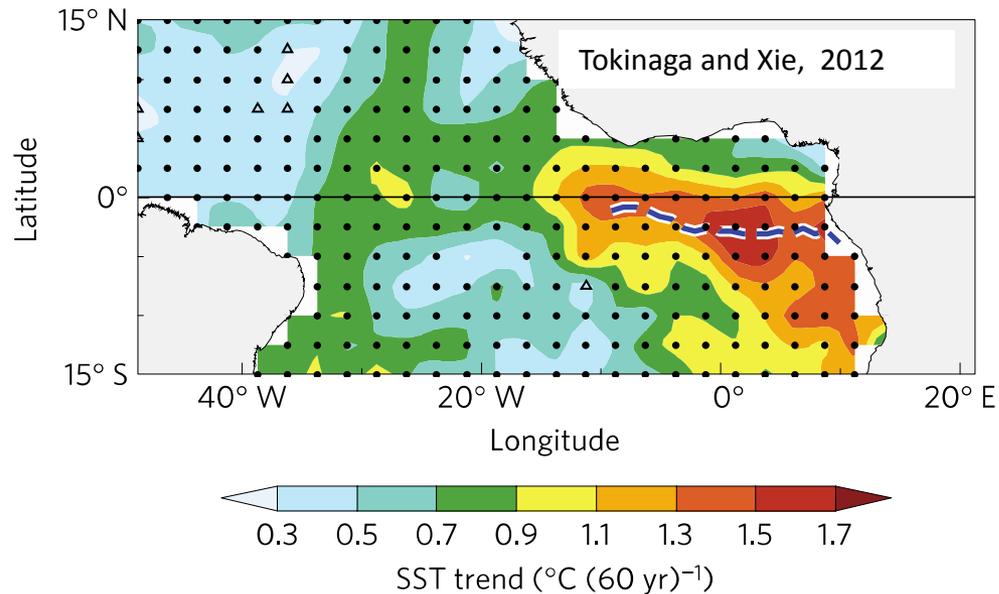
Température de surface le 2 juin 2013



- Région Sud Est la plus mal comprise et la plus mal simulée par les modèles climatiques:



- Région sujette à un net réchauffement depuis 1950 : tendance 1950-> 2010:



POURQUOI DES MESURES DE TEMPERATURE, SALINITE, OXYGENE ET SELS NUTRITIFS EN PROFONDEUR ?

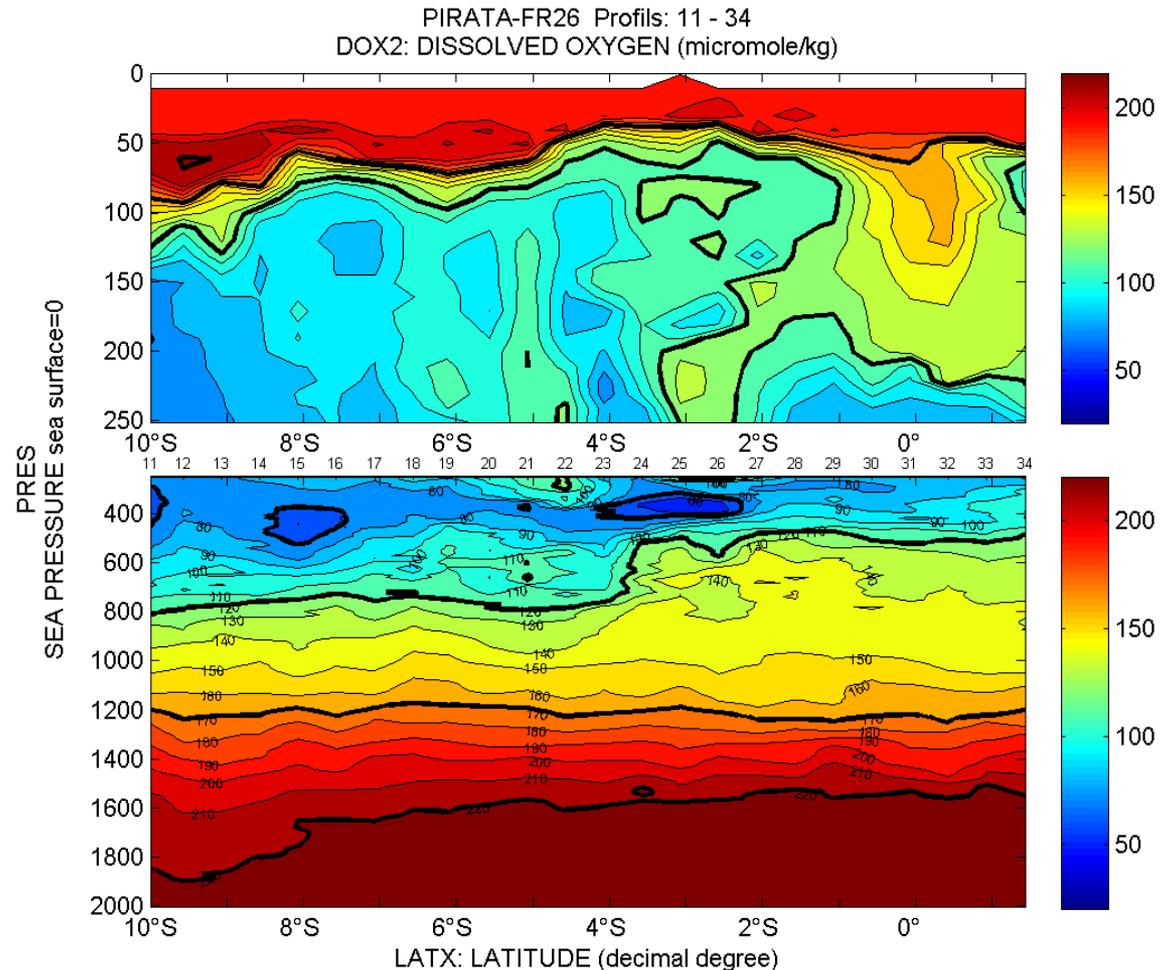
⇒ Evolution des masses d'eau et de leur mélange, associée aux courants

Exemple: l'Oxygène dissous

Eaux de surface et centrales
(riches en O₂)

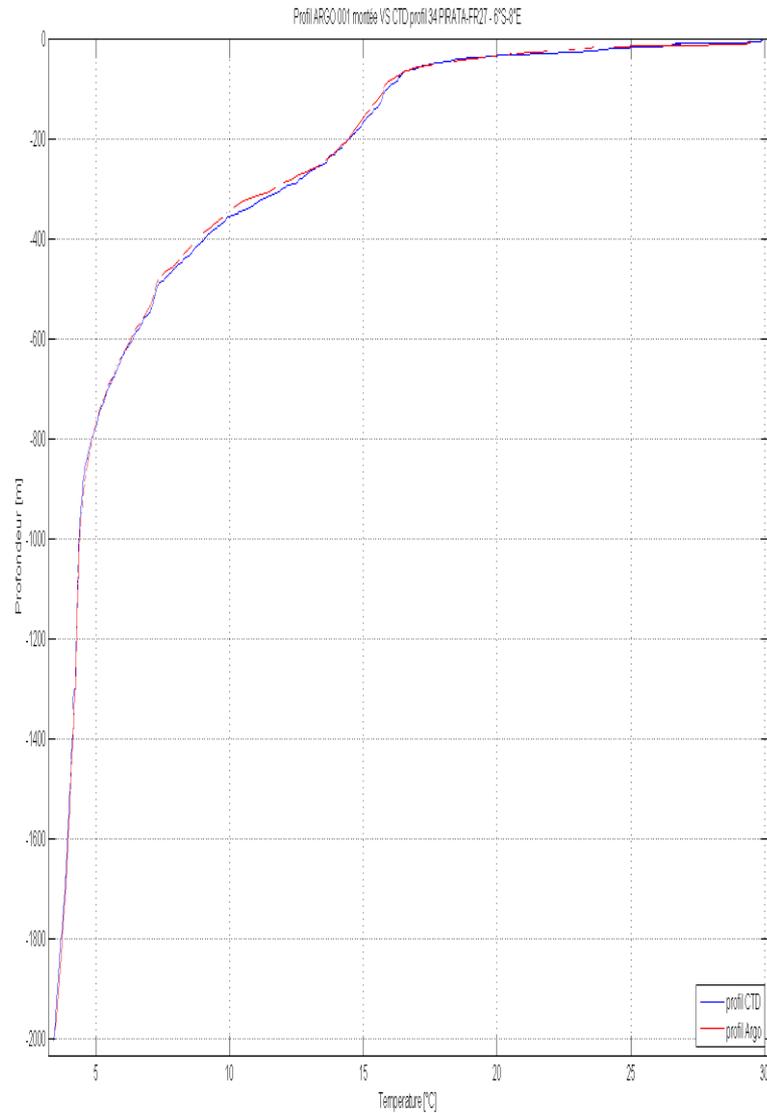
Eaux Intermédiaires
(pauvres en O₂)

Eaux profondes d'origine
Nord Atlantique
(riches en O₂)



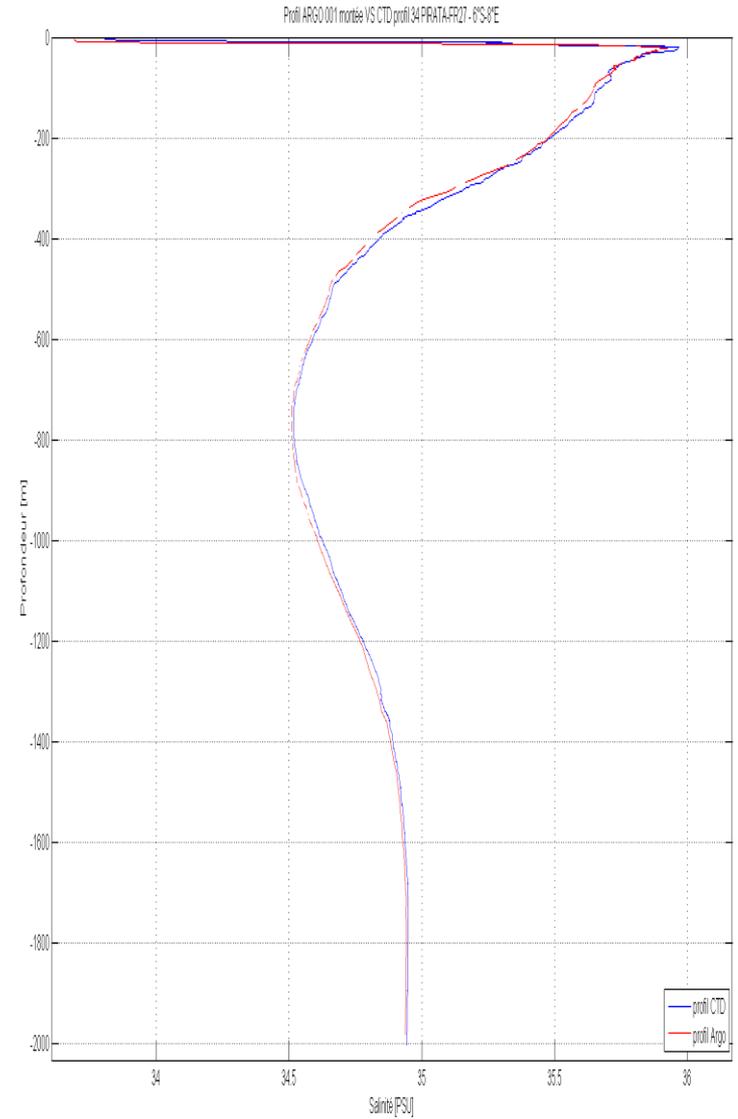
Exemple: 1^{er} profil T&S ARGO à 6S-8E comparé à la CTD

T



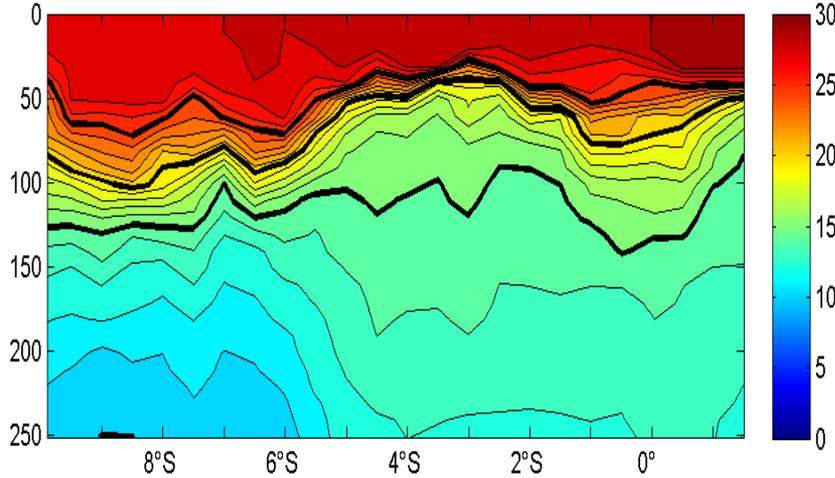
S

Pierre

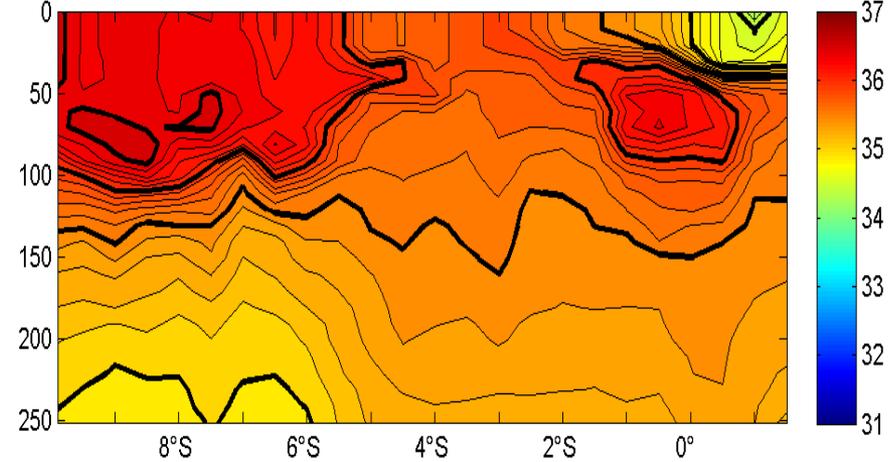


Exemple: Résultat FR27 à 10W : température et salinité

PIRATA-FR27 Profils: 6 - 29
TEMP: SEA TEMPERATURE (Celsius degree)



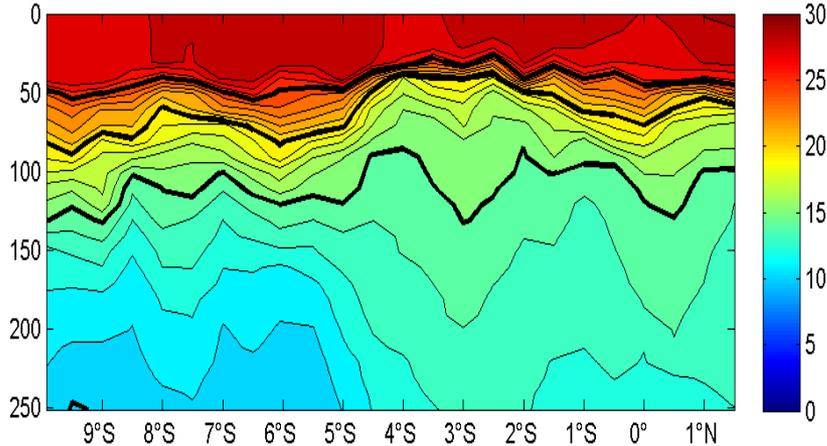
PIRATA-FR27 Profils: 6 - 29
PSAL: PRACTICAL SALINITY SCALE 1978 (P.S.S.78)



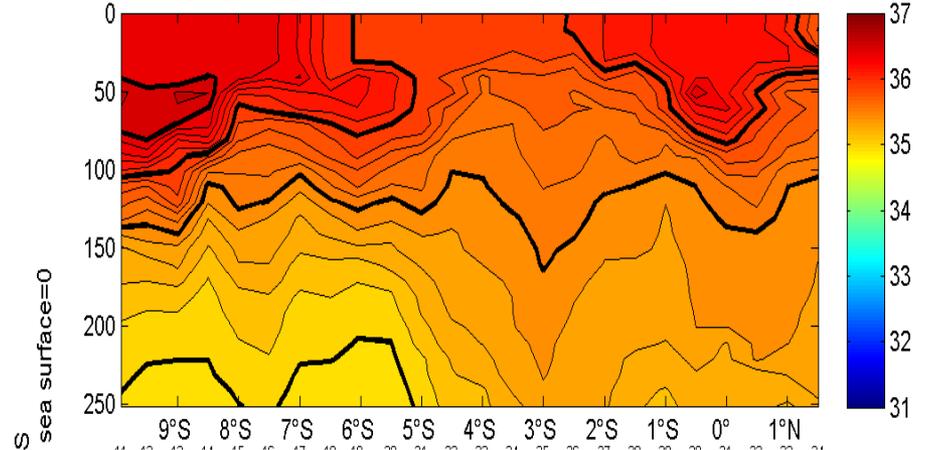
Comparaison avec 2016:

Pierre

PIRATA-FR26 Profils: 11 - 34
TEMP: SEA TEMPERATURE (Celsius degree)



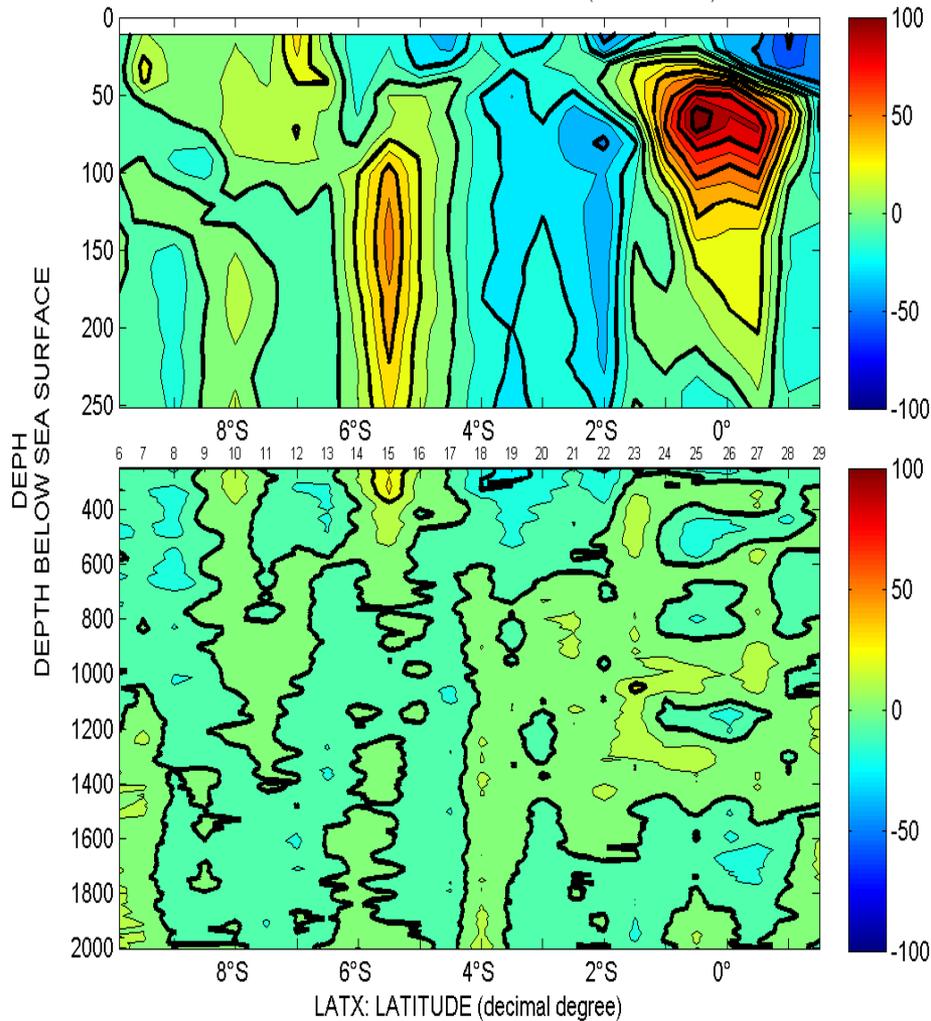
PIRATA-FR26 Profils: 11 - 34
PSAL: PRACTICAL SALINITY SCALE 1978 (P.S.S.78)



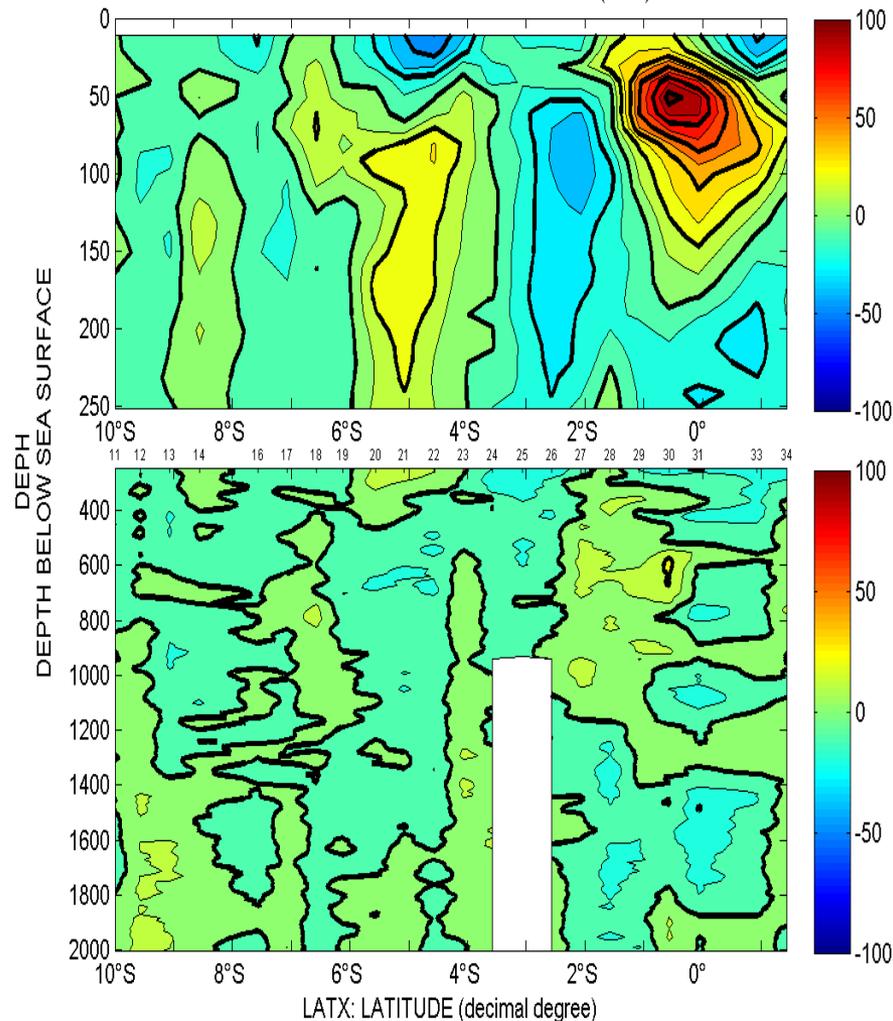
Exemple: LADCP: courant (composante Ouest-Est) à 10° W

En 2016

PIRATA-FR27 Profils: 6 - 29
EWCT: CURRENT EAST COMPONENT (meter/second)



PIRATA-FR26 Profils: 11 - 34
EWCT: CURRENT EAST COMPONENT (cm/s)



Frédéric

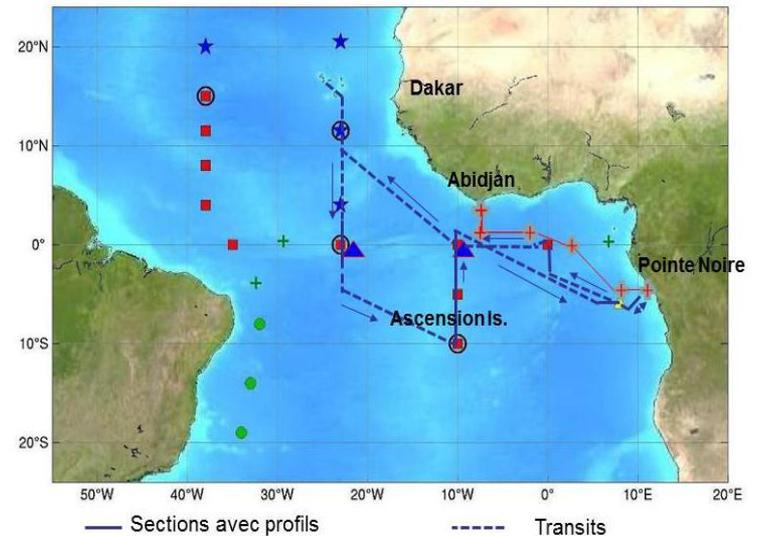
PIRATA FR27



5) Courant ADCP de coque du navire

⇒ Mesures de courant en continu!

*Cf: présentation d'hier de
Frédéric et Gaëlle...*



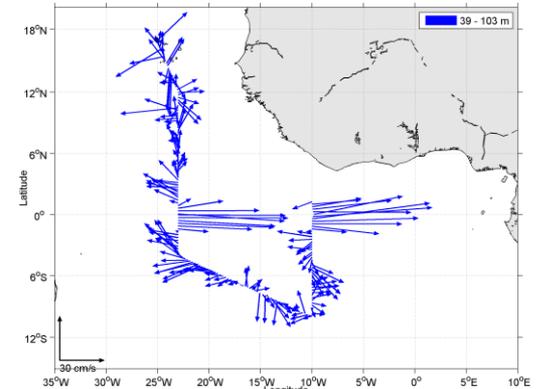
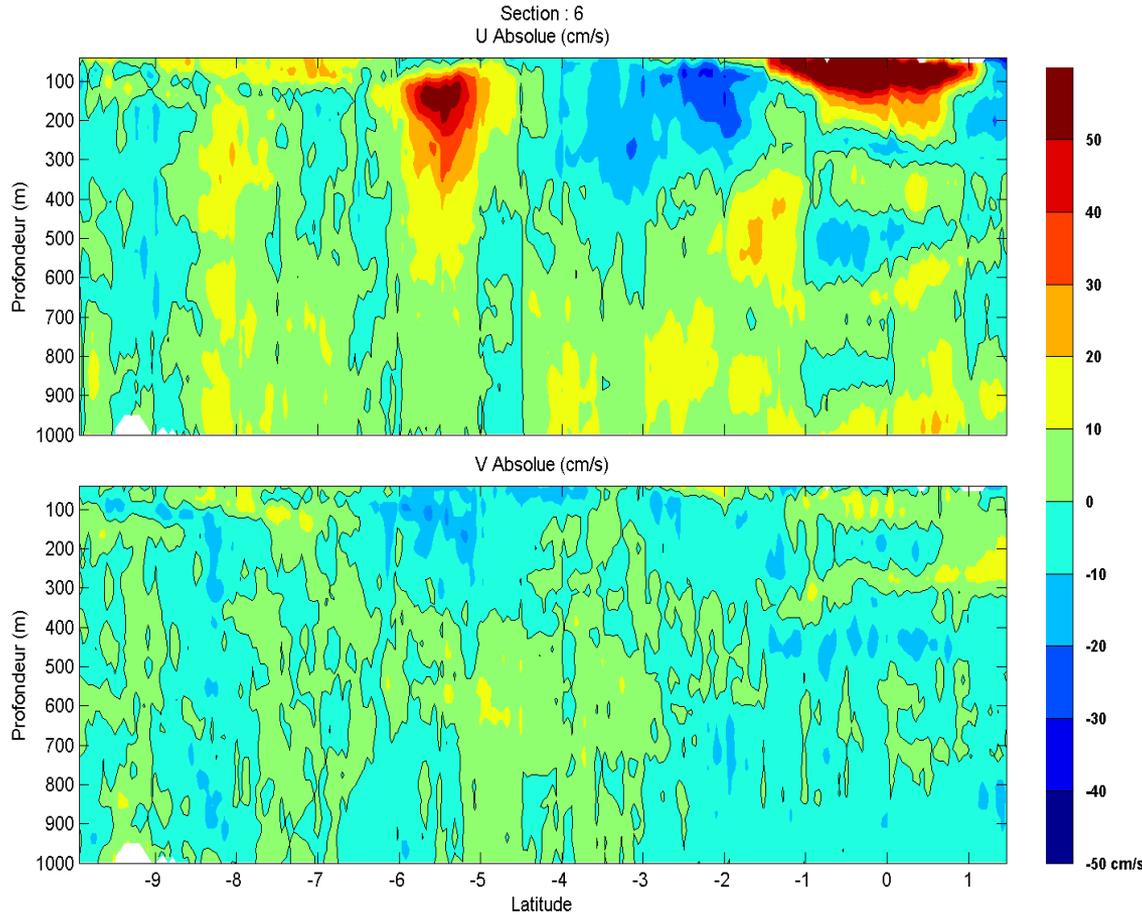
PIRATA FR27



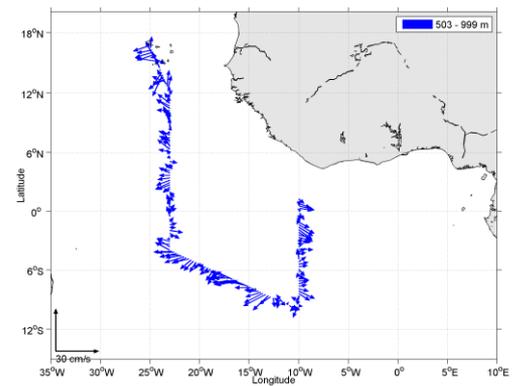
Exemples mesures ADCP pendant FR27:

Section 10W

0-100m



500-1000m



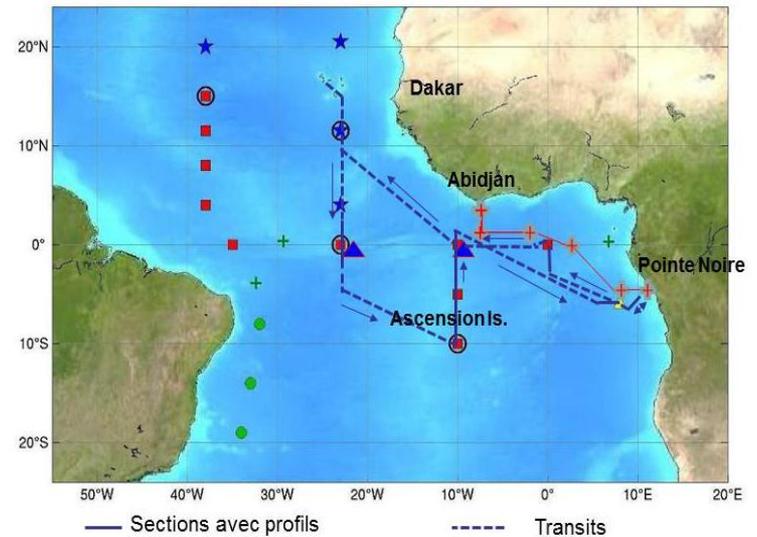
Gaëlle

PIRATA FR27



6) Profils XBT et prélèvements de surface

Pourquoi de telles opérations et pour quelles mesures?

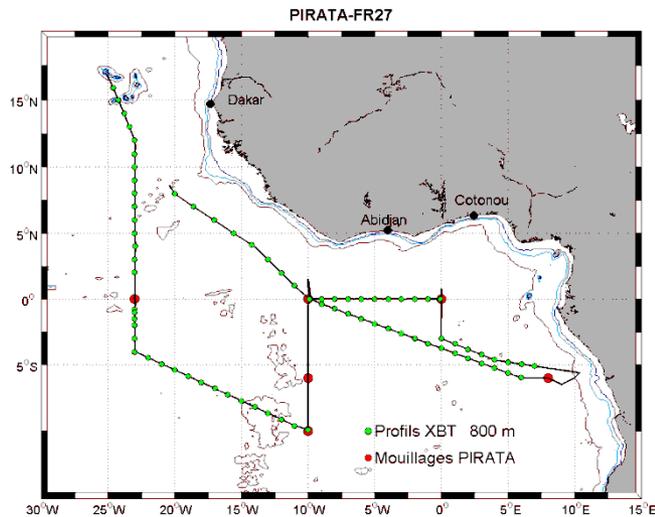


XBT => profils de température, surface -> 900m environ
navire en route.

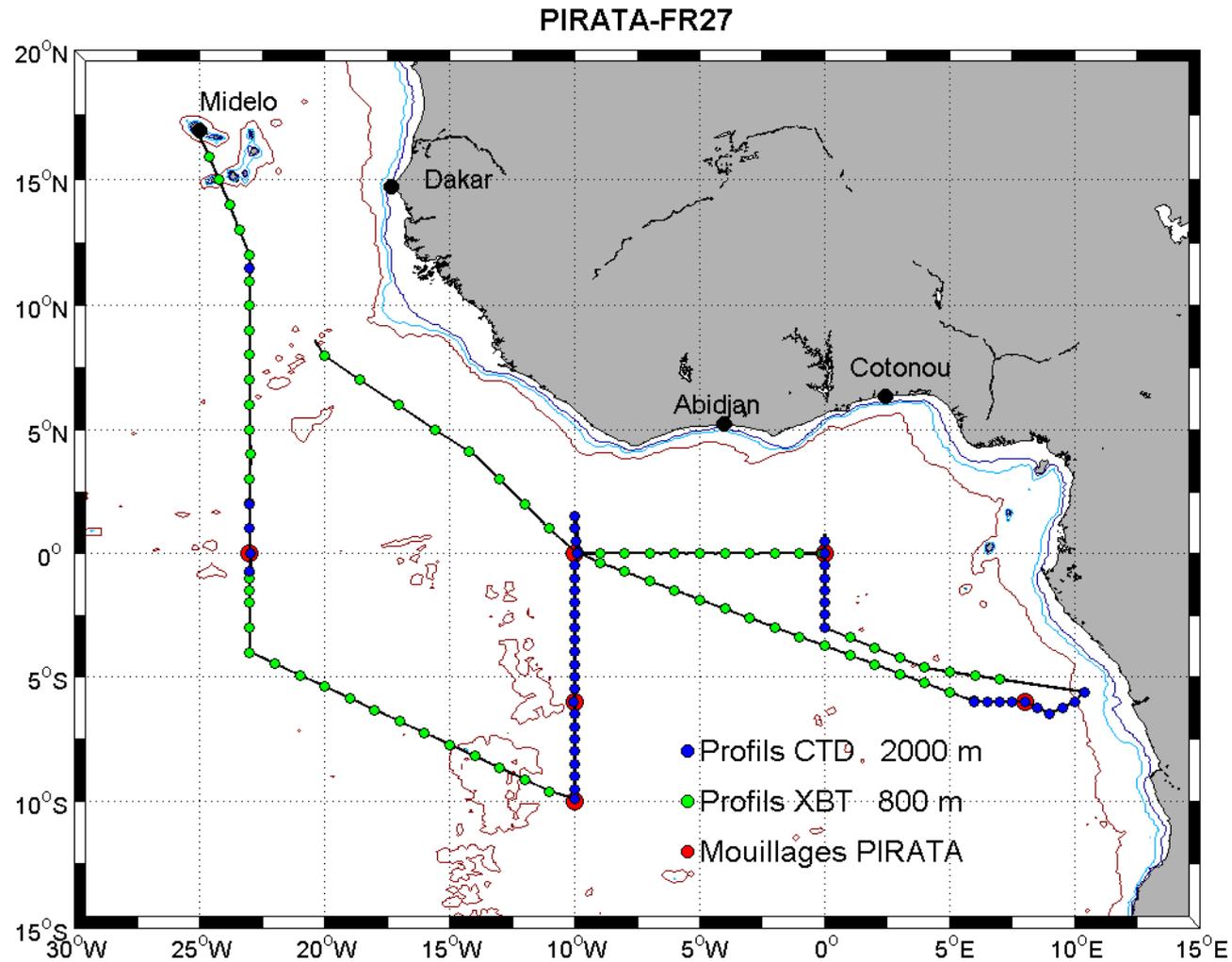


=> Transmission à CORIOLIS pour utilisation opérationnelle

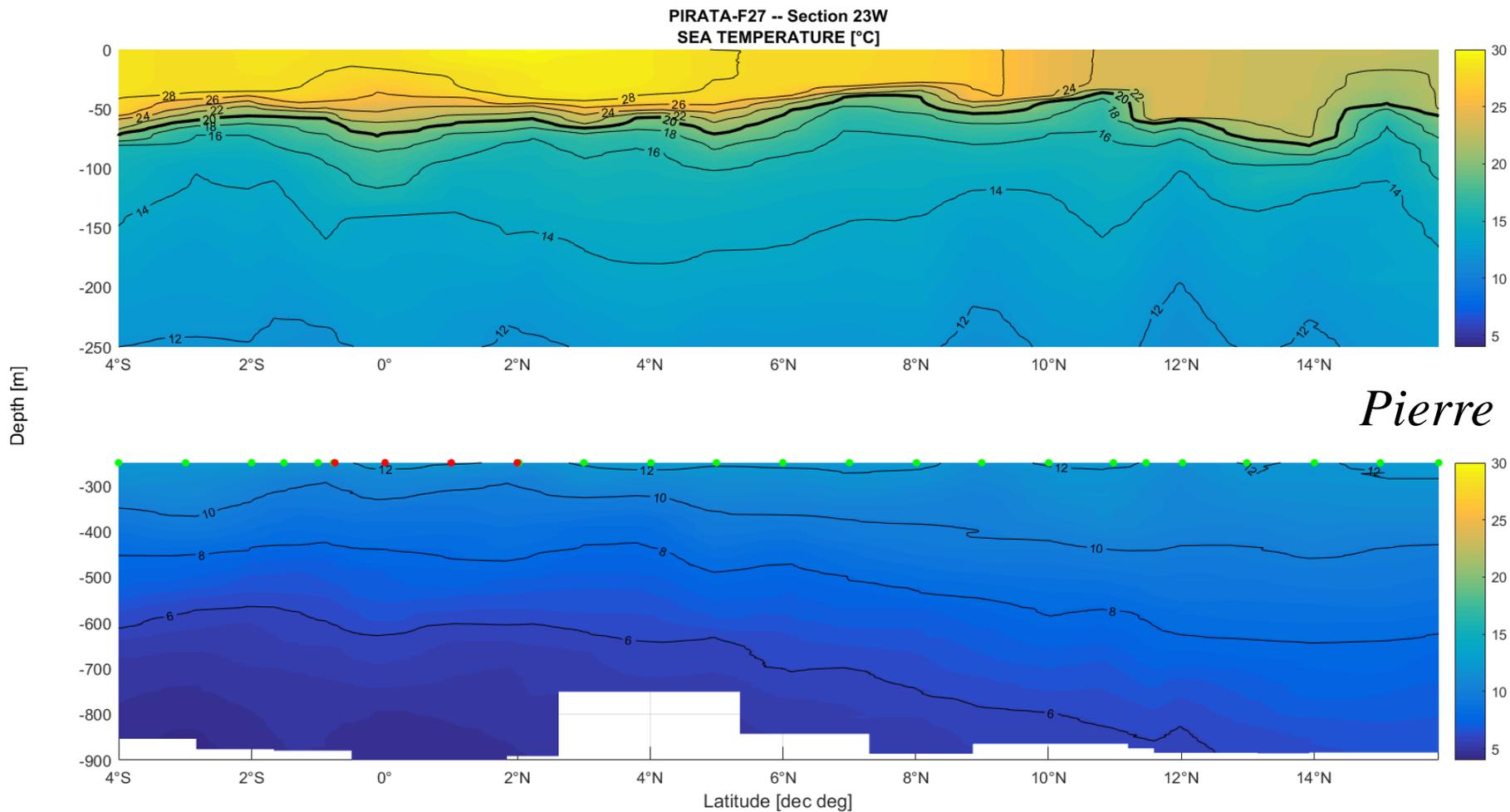
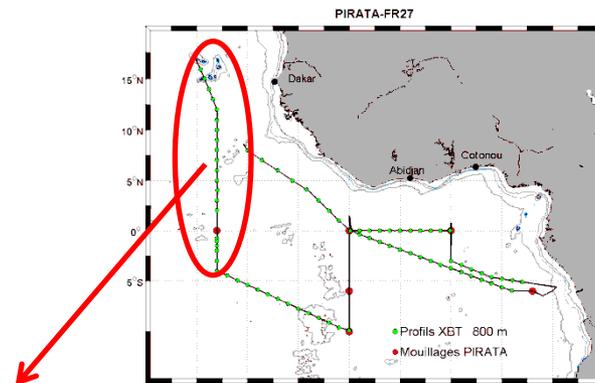
*Réalisés pendant les transits
où pas de CTD*



=> Parcours et profils T(z) via CTD+ XBT



Exemple: section 23W Mindelo => 4S.

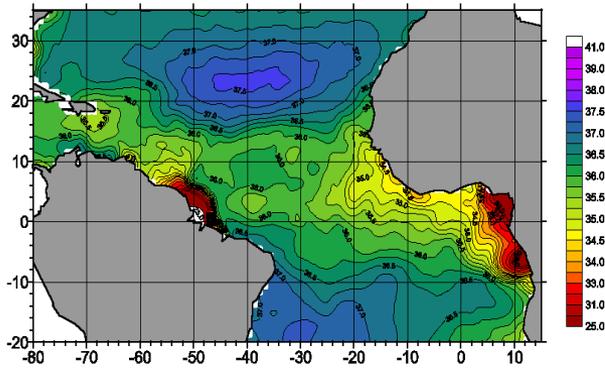


POURQUOI DES MESURES DE SALINITE PRES DE LA SURFACE ?

=> Thermosalinographe, capteurs sur bouées ATLAS, profils CTD

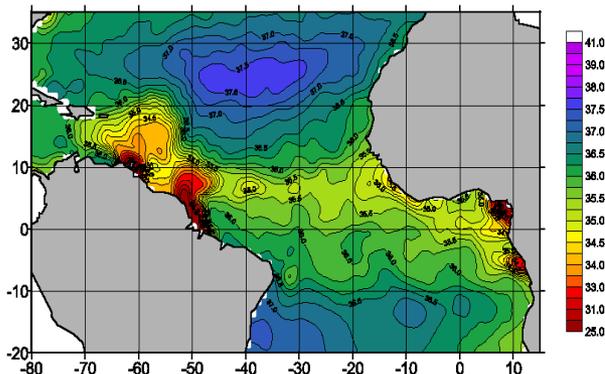
January

SSS - Climatologie janvier

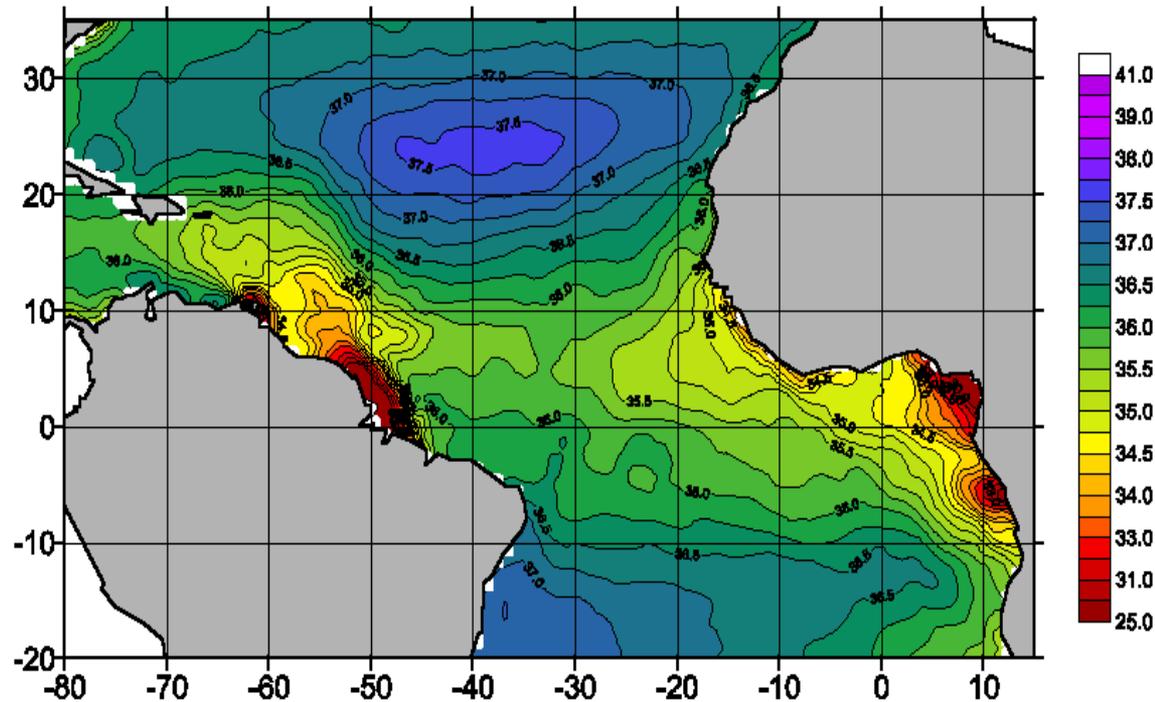


August

SSS - Climatologie août



SSS - Climatologie annuelle



Dessier & Donguy, 1994

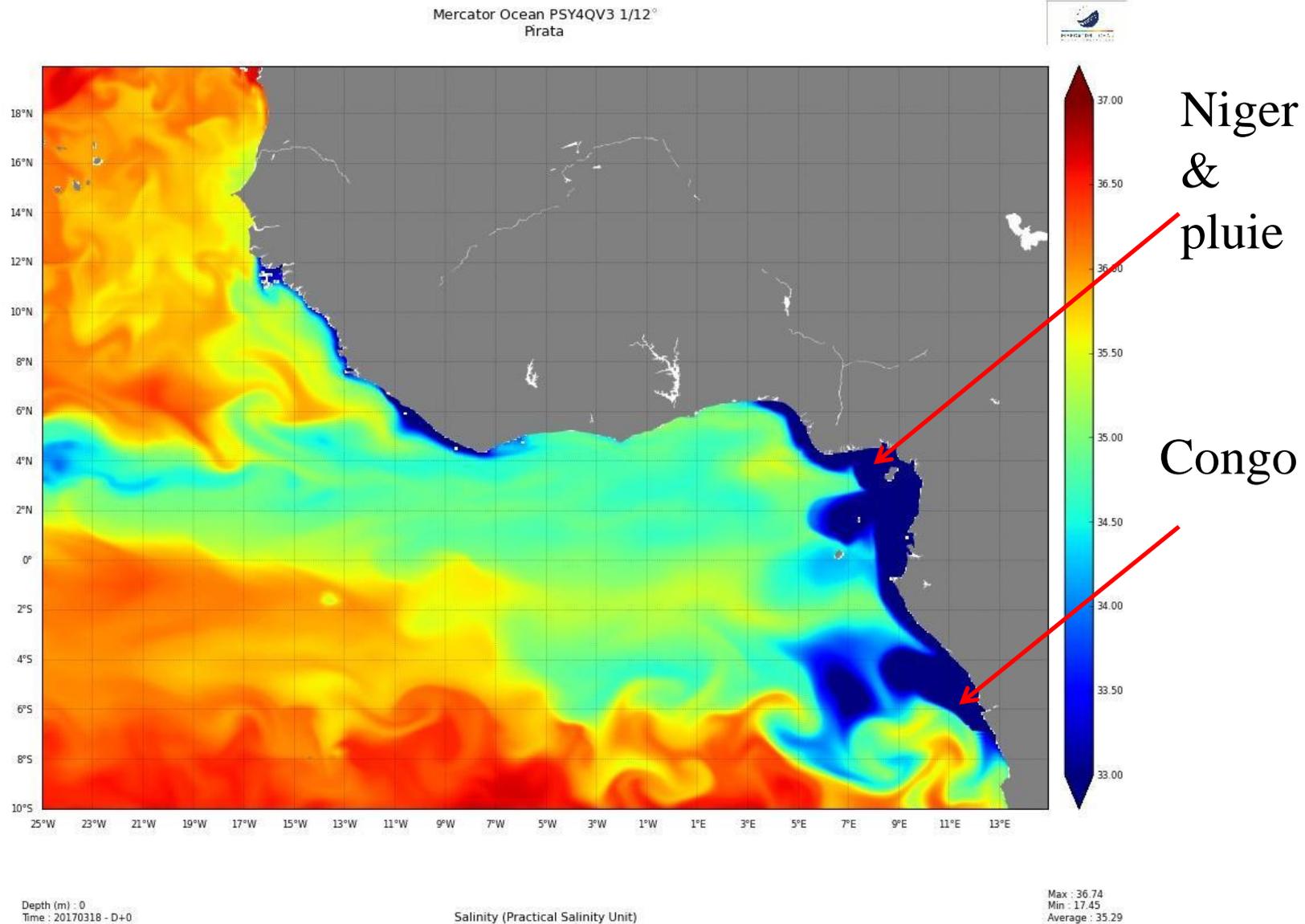
Les 2 plus grands fleuves du monde (Amazone et Congo) se jettent dans l'Atlantique

Effet des fortes précipitations sous la Zone de Convergence Tropicale

Très fortes évaporations dans les subtropiques

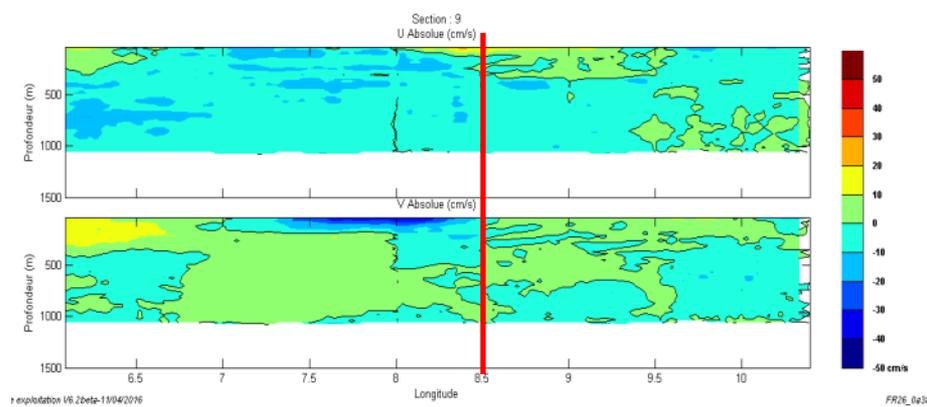
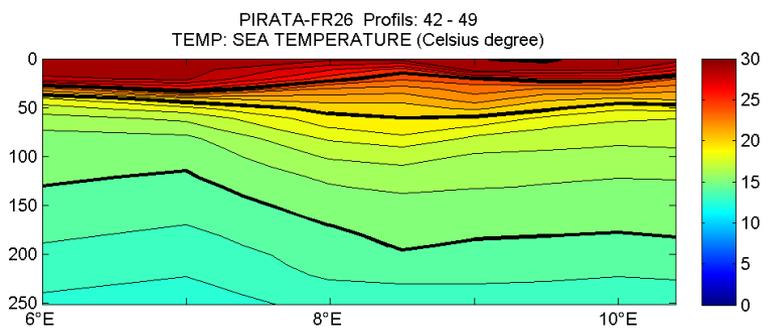
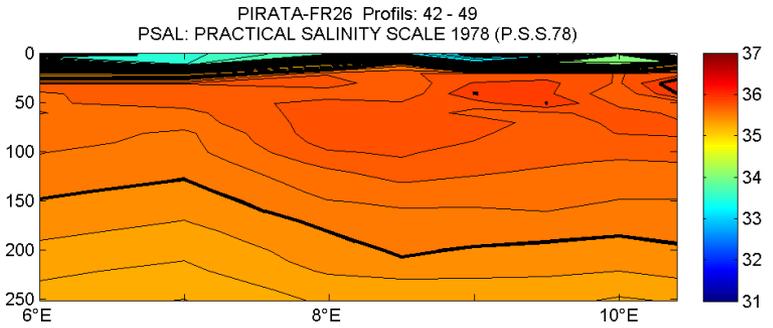
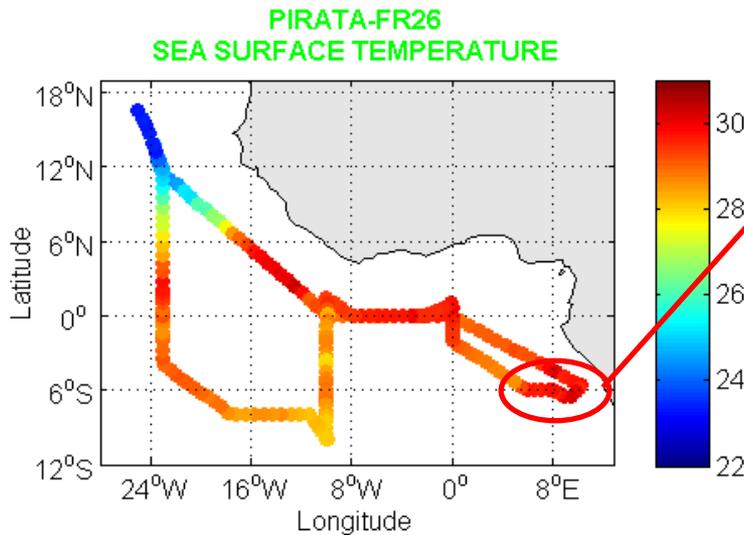
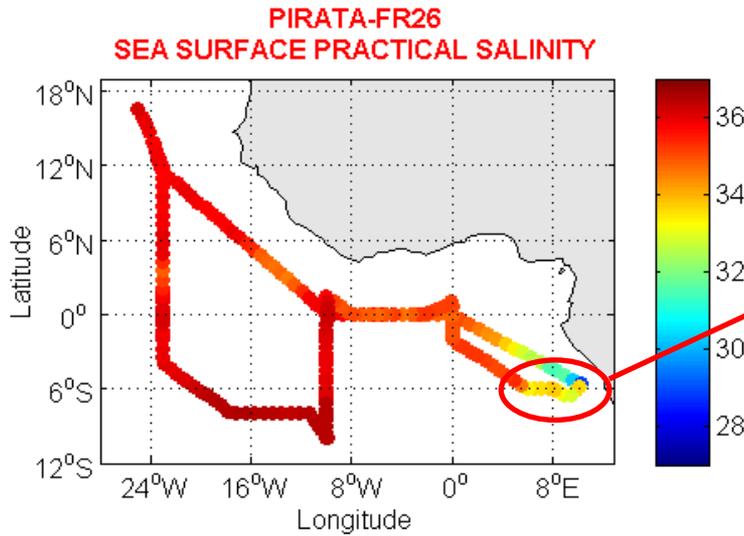
=> **Forts contrastes + la salinité joue un rôle important sur la densité (=> barrière de sel)**

Salinité de surface le 18 mars 2017 (Mercator)



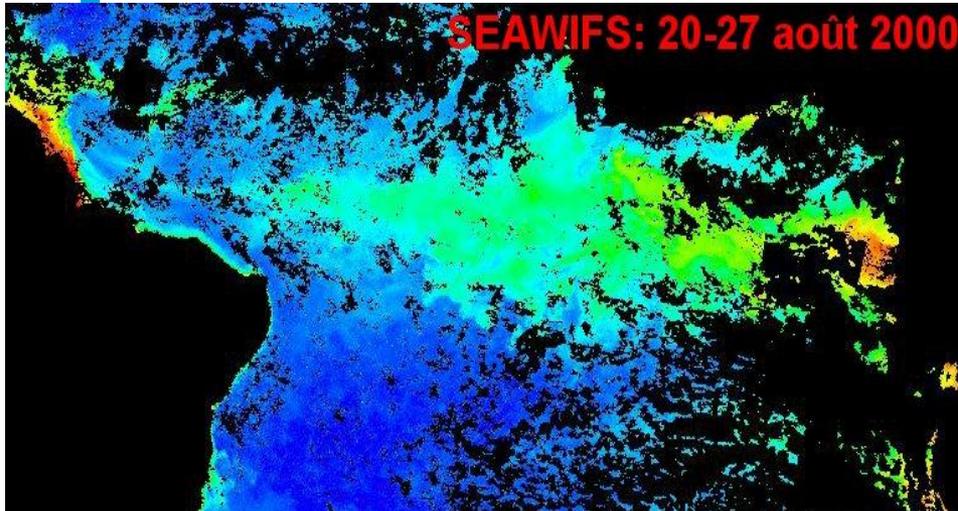
Exemple 2016:

Thermosalinographe / sections CTD & SADCP: 6S (6-10,20E)

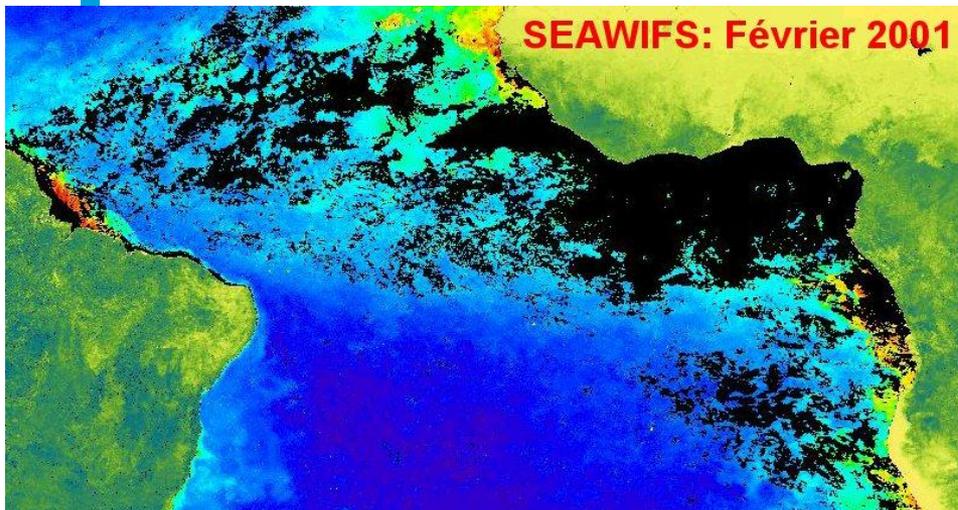


Courant vers le SO / NE de part et d'autre du front

POURQUOI DES PRELEVEMENTS POUR LES SELS NUTRITIFS ET LES PIGMENTS?



=> Couleur de la mer:
chlorophylle,
production primaire,
liens entre dynamique et
biologie & biogéochimie,
etc...



MAIS:
problème de la mesure en
surface
lié à la couverture nuageuse...

POURQUOI DES PRELEVEMENTS POUR LES PARAMETRES DU CARBONE ?



POURQUOI UN CAPTEUR CO2 SUR LA BOUEE ATLAS à 6S-10W ?

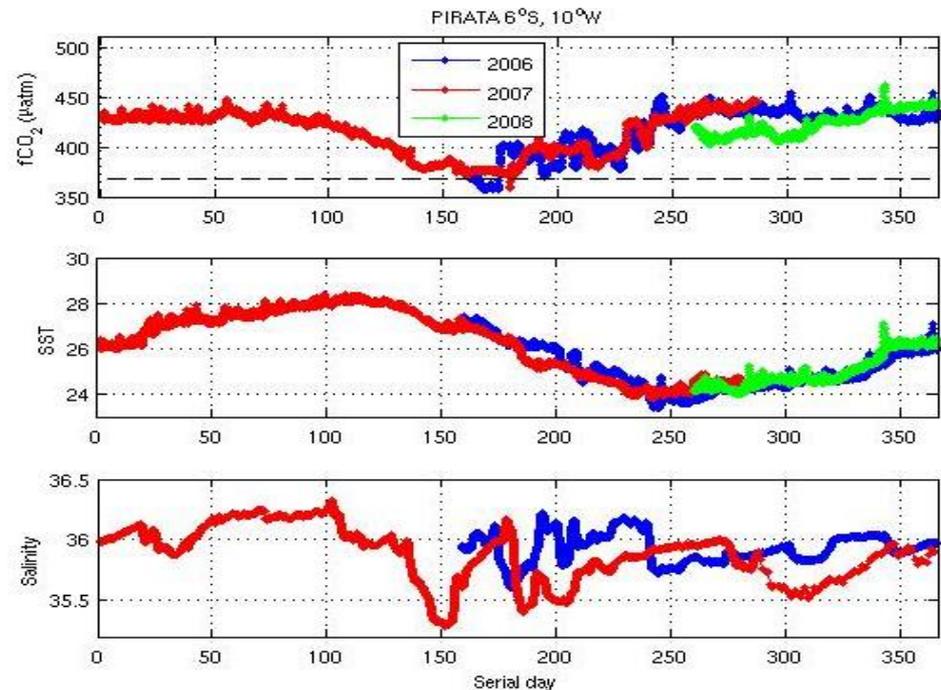
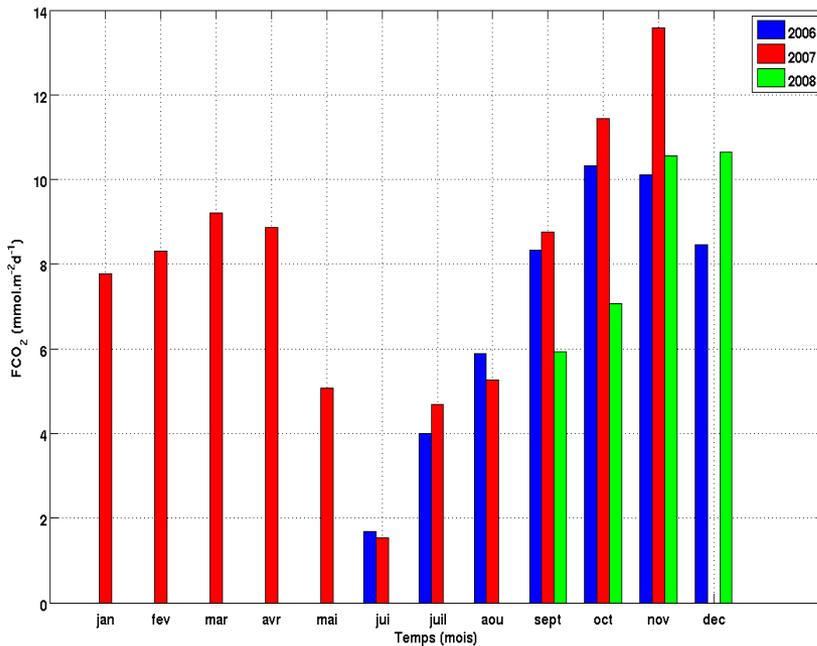
Changement climatique et effet de serre (CO2) =>

Rôle de l'océan dans le système CO2 et variations à long terme

(quelle quantité du CO2 fossile rejeté dans l'atmosphère l'océan peut il absorber ???)

Dans cette zone, l'océan rejette du CO2 dans l'atmosphère!

Variations saisonnières et interannuelles + tendances?...



=>nouveau capteur supplémentaire à 6S-8E pour influence CONGO...

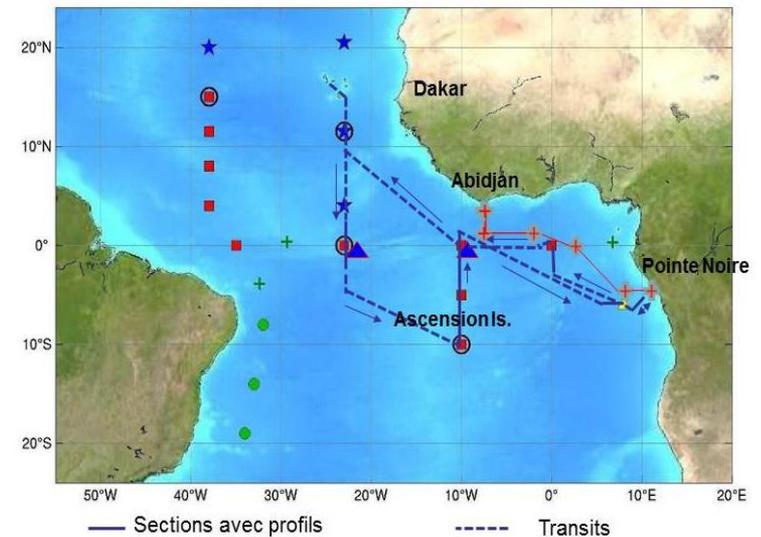
PIRATA FR27



7) Acoustique, Bongo, plancton :

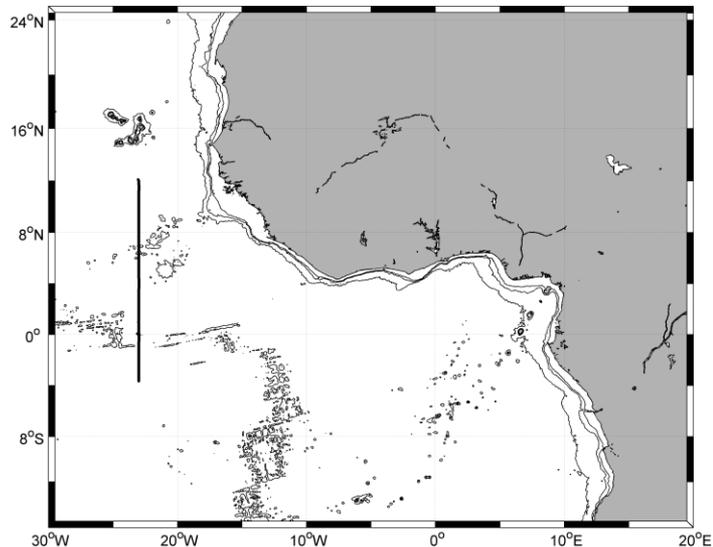
Pourquoi de telles déploiements et pour quelles mesures?

Cf: présentation Jérémie



Ex: 23W, 38kHz

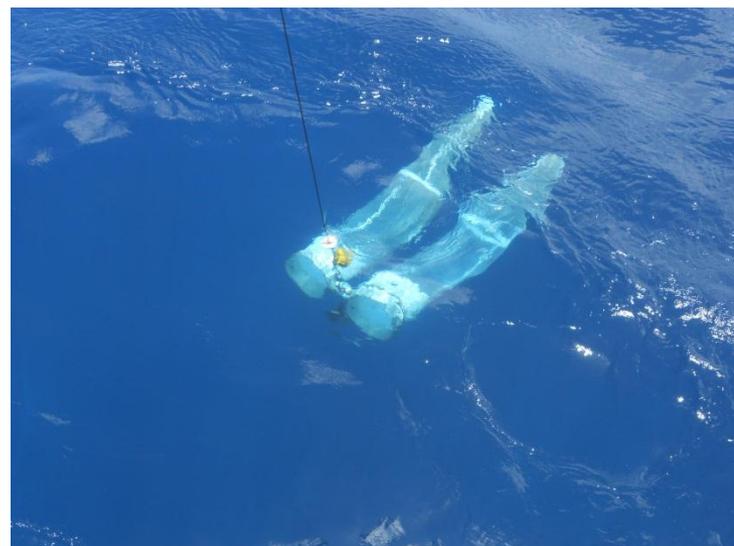
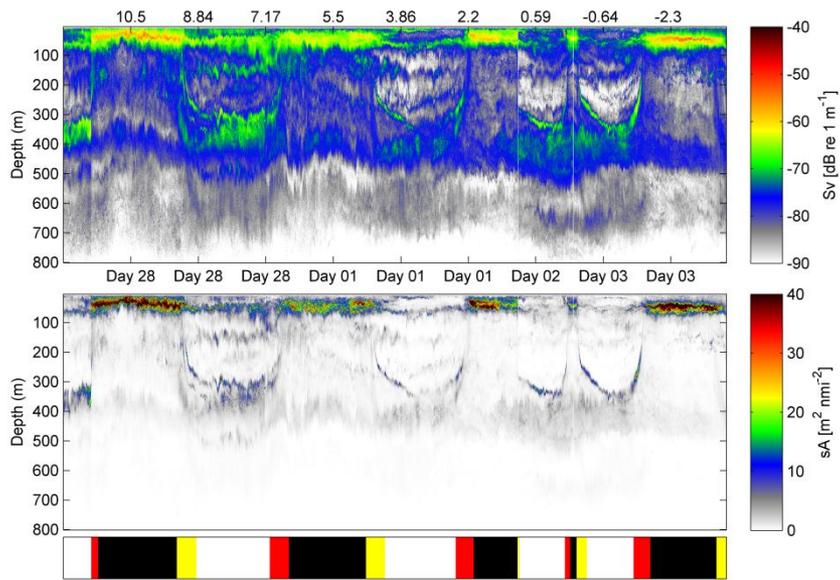
PIRATA FR27 ship track



PIRATA FR27



Line 2017-02-27 at 13:00:17.607 to the 2017-03-04 at 07:57:02.872

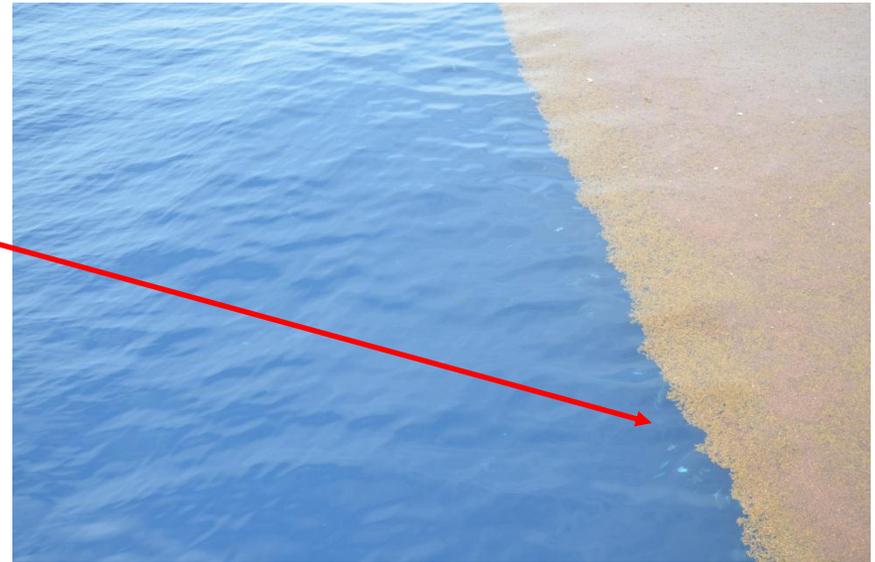


11 profils près des bouées (nuit/jour)

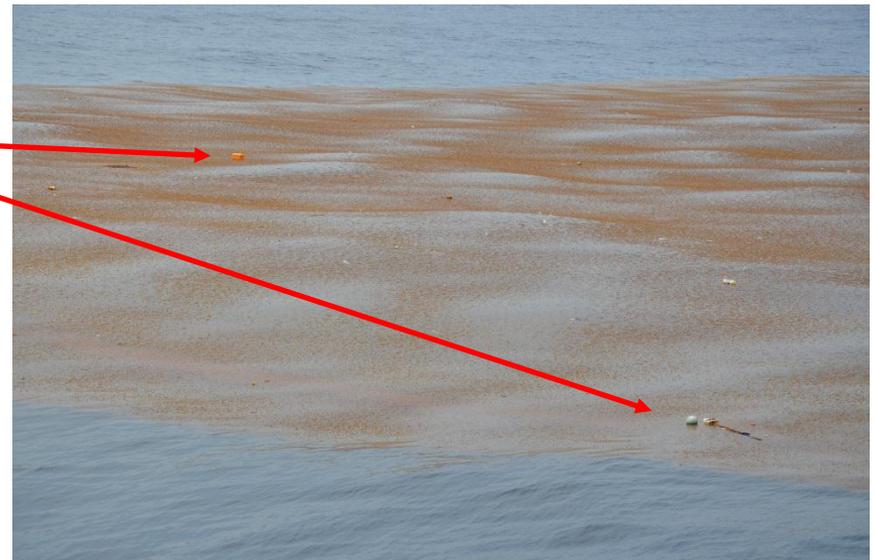
29 mars 2017: Les Sargasses....

Cf: présentation Bernard

DCP = Dispositif à Concentration
de Poissons



DCP = aussi Dispositif à
Concentration de Plastique!!!



⇒ Bongo, prélèvements au filet,
analyses, sondeur transversal...

Contexte globale de la campagne PIRATA FR27: en mars-avril

Période « très chaude » en Atlantique tropical Est et Golfe de Guinée

Comparaison des situations 2015, 2016 et 2017:

2015:

*Anomalies faibles dans le GG
froides au Nord (Cap-Vert)*

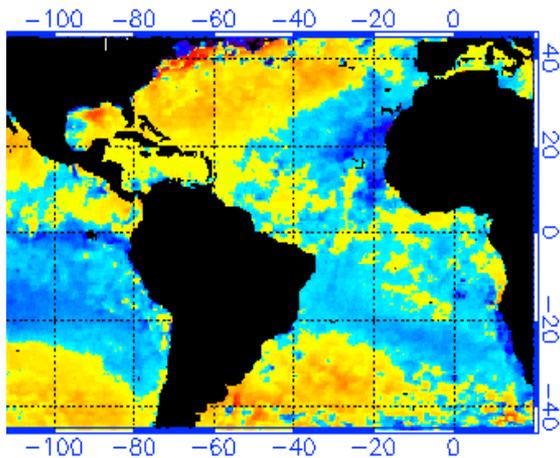
2016:

*Anomalies très chaudes ($>1^{\circ}\text{C}$)
sur l'ensemble du bassin....*

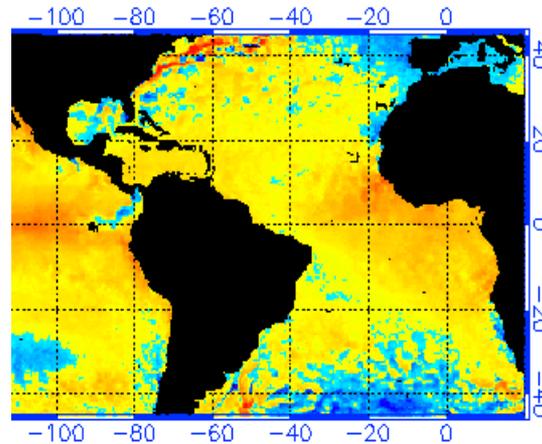
2017:

*Situation chaude
(moins qu'en 2016)*

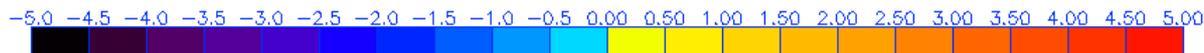
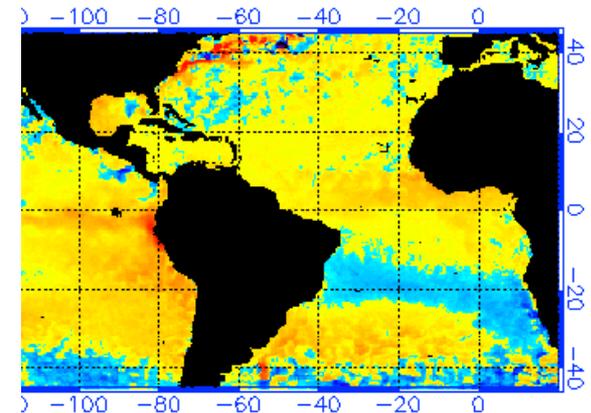
3/12/2015



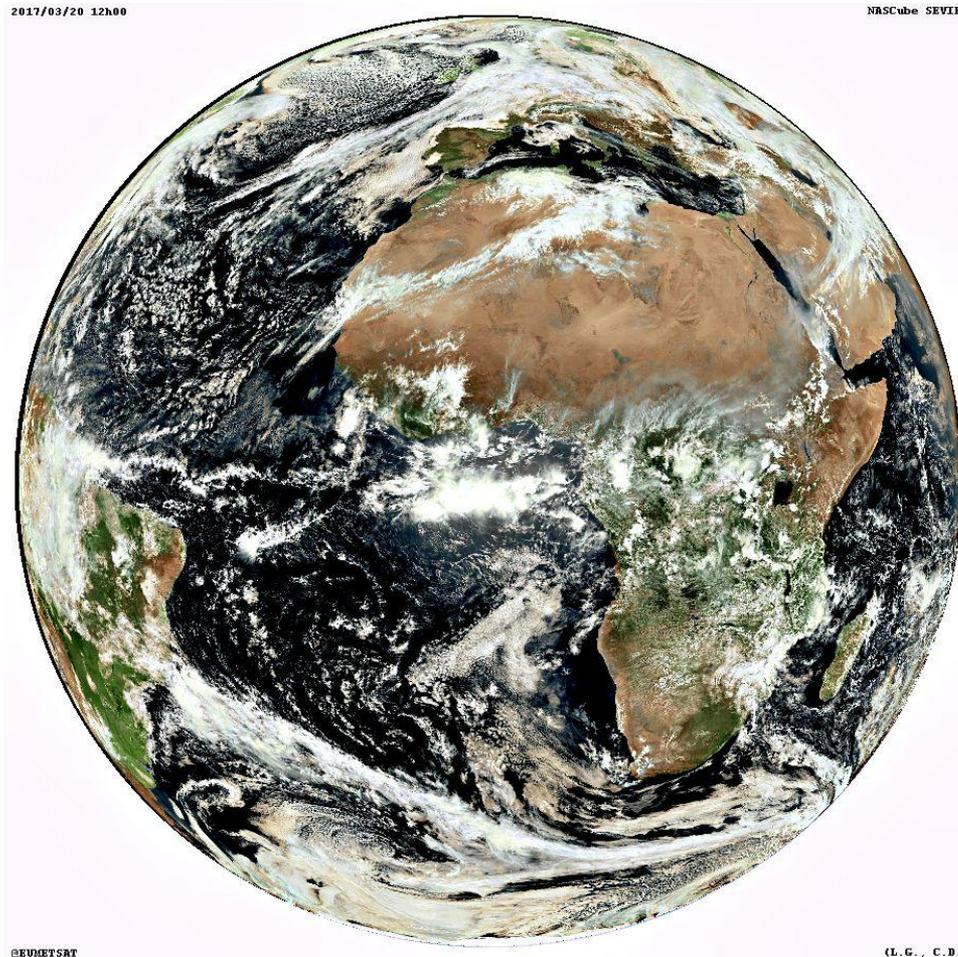
3/10/2016



3/13/2017



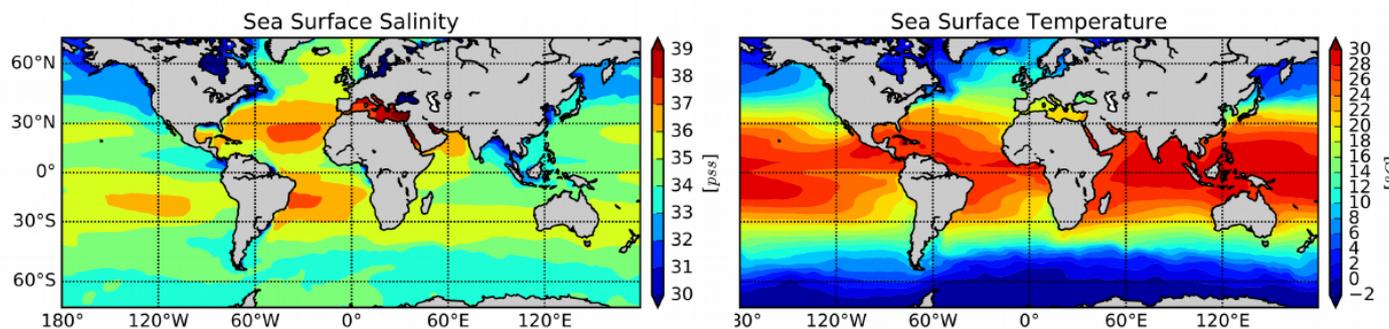
situation « curieuse » vers le 21 mars:
Forte perturbation équatoriale,
=> vents vers l'E, courants vers l'E (après 6s-8e)...



Utilisation données combinées ARGO, CTD, PIRATA, etc...

=> Analyses ISAS : initiées par Fabienne Gaillard

- Reconstruction des champs scalaires T et S à partir de mesures in-situ
- Interpolation Optimal : outil ISAS V6 (Bretherton, 1976)
- Configuration:
 - Océan global
 - Résolution: dx= 0.5° / Mercator ; dz: 5 à 20 m (152 niveaux entre 0 et 2000m), niveaux indépendants ;
 - Réanalyses mensuelles



ISAS13 SSS/SST climatologique (2002-2012)

Utilisations multiples: évolution niveau de la mer, couche de mélange, validation mesures satellites, etc...



Merci beaucoup à tou(te)s pour la réussite de cette campagne
Un beau 20^{ème} anniversaire pour PIRATA!