

Intercomparaison des mesures de courant dans l'Atlantique tropical

Jérémie HABASQUE, Gaëlle HERBERT

Rapport Coriolis - Janvier 2018

jeremie.habasque@ird.fr

gaelle.herbert@ecomail.fr

Table des matières

I.	Introduction	1
II.	Données	2
III.	Analyse de la distribution spatio-temporelle des données	4
A.	ANDRO	4
1.	De surface	4
2.	De profondeur.....	5
B.	Mouillages ADCP	6
1.	10°W.....	6
2.	23°W.....	8
3.	23°W GEOMAR.....	9
C.	Capteurs des bouées PIRATA.....	10
1.	Courantomètre bouée PIRATA 23°W.....	10
2.	Anémomètres bouées PIRATA.....	11
3.	Sondes bouées PIRATA	12
D.	S-ADCP	13
E.	L-ADCP.....	19
F.	Dérive des bouées de surface	20
G.	Sélection de zones et périodes d'intérêt	22
1.	Section 10°W.....	22
2.	Section 23°W.....	23
IV.	Qualification et inter-comparaison des données	24
A.	Courantomètre bouée 10m vs mouillage ADCP 23W.....	24
B.	Mouillage ADCP 23°W à 15m (2008-2016) vs ANDRO surface.....	26
C.	Mouillage ADCP GEOMAR 23°W vs ANDRO deep	28
D.	ANDRO vs S-ADCP	30
1.	Deep vs données S-ADCP 38 kHz (2015-2017).....	30
E.	Bouées dérivantes vs mouillages ADCP	33
V.	Cycle saisonnier.....	36
A.	De la température de surface	36
B.	Du vent.....	37
C.	Courant de surface.....	38
D.	Courant à 15m	45
E.	Cisaillement de courant de surface-subsurface.....	48
F.	Courant de 15 à 350m.....	52
G.	Courant de profondeur 950-1150m.....	53

VI.	Variabilité interannuelle	57
VII.	Conclusion/Discussion	59
A.	Lacunes et complémentarité des capteurs.....	59
B.	Etude du cycle saisonnier en surface	59
C.	Etude du cycle saisonnier en profondeur	60
VIII.	Bibliographie	60

I. Introduction

Cette étude a pour objectif de comparer les mesures de courant réalisées par différents capteurs dans l'Atlantique Tropical (Figure 1) afin d'estimer leur complémentarité et leur apport sur l'étude des courants de surface et de fond dans l'Atlantique tropical.

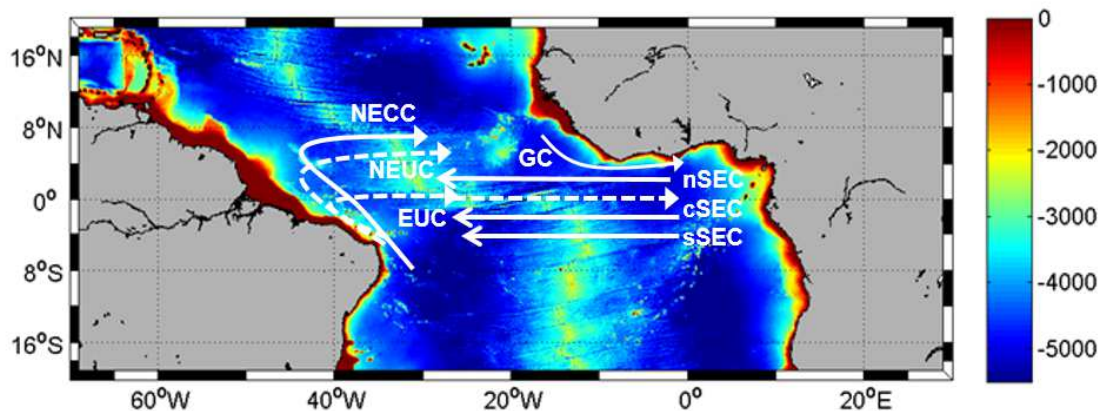


Figure 1. Site d'étude, bathymétrie et courants principaux (EUC = Equatorial Under Current, GC = Guinea Current, NEUC = North Equatorial Under Current, NECC = North Equatorial Center Current, nSEC = northern branch of South Equatorial Current, cSEC = central branch of South Equatorial Current, sSEC = southern branch of South Equatorial Current).

Les données disponibles dans la région ont été extraites des différentes bases de données de courant :

- S-ADCP des campagnes PIRATA,
- ADCP des mouillages PIRATA 10°W et 23°W,
- courants des flotteurs ARGO,
- dérives des bouées de surface,
- courantmètres et anémomètres des bouées du réseau PIRATA.

La distribution spatio-temporelle des données a ensuite été analysée afin de préciser les périodes d'étude les mieux appropriées. Ces données ont alors été qualifiées en les intercomparant en surface, autour de 15m et à 1000m. Le cycle saisonnier moyen des courants a ainsi été analysé dans les différents jeux de données. La variabilité spatiale et temporelle des courants, ainsi que la variabilité interannuelle a pu être mise en évidence. Enfin, la complémentarité des jeux de données et leurs lacunes ont été illustrées sur des périodes sélectionnées.

II. Données

Les données utilisées pour cette étude sont stockées à cette adresse : <ftp://ftp.ifremer.fr/ifremer/ird/jhabasqu/CORIOLIS/Data/>

Capteur	Base de données	Source
ADCP de coque	SISMER	http://www.seanoe.org/data/00335/44635/
Flotteurs ARGO	Base Andro (Ollitrault and Rannou, 2013) Climatologie GDAC (09/2015)	http://www.seanoe.org/data/00360/47077/ (Rosell-Fieschi et al., 2015)
Bouées de surface	GlobCurrent (produit Copernicus) Climatologie	http://www.seanoe.org/data/00302/41334/
Mouillages ADCP PIRATA	IRD GEOMAR	http://www.seanoe.org/data/00404/51557/ Robert Kopte
Courantomètre bouée PIRATA	PMEL	https://www.pmel.noaa.gov/tao/drupal/disdel/
Anémomètre bouée PIRATA	PMEL	https://www.pmel.noaa.gov/tao/drupal/disdel/
Sonde bouée PIRATA	PMEL	https://www.pmel.noaa.gov/tao/drupal/disdel/

Tableau 1. Capteur, base de données et source des données de courant.

Capteur	Période	Profondeurs	Fichiers
ADCP de coque PIRATA	2001-2017 2015-2017	300m for the 150 kHz 650m for the 75 kHz 40-1100m for the 38 kHz	frXX_fhv1_XXkHz.nc
Flotteurs ARGO	08/1997 – 09/2016	Surface et 1000m	androPTS_dep_final_all_dep_20170119T120600.dat ARGO Ustats SURF 4H6 1.mat ¹
Bouées de surface	1985-2016 1985-09/2015	0-15m 15m	INSITU_GLO_UV_L2_REP_OBSERVATIONS_013_044 Drifters MF Ustats 4H6 1.mat
Mouillage ADCP PIRATA 10°W	2001-2017	15-300m	ADCP_10W0N_2001_2017_1d.nc
Mouillage ADCP PIRATA 23°W	2001-2016	15-300m	ADCP_23W0N_2001_2016_1d.nc
Mouillage ADCP GEOMAR 23°W	2001-2016	15-1000m	velocity_23w_equ_5day_5m.mat

¹ 4H6_1 : résolution de 110km et lissage spatial avec le premier voisin

Courantomètre bouée PIRATA 23°W	2005-2017	10;12;20m	cur0n23w_dy.nc
Anémomètre bouée PIRATA 10°W	1997-2017	Surface	w0n10w_dy.nc
Anémomètre bouée PIRATA 23°W	1999-2017	Surface	w0n23w_dy.nc
Sonde bouée PIRATA 10°W	1997-2017	Surface	sst0n10w_dy.nc
Sonde bouée PIRATA 23°W	1999-2017	Surface	sst0n23w_dy.nc

Tableau 2. Capteur, période, profondeurs et fichiers utilisés

Les programmes Matlab, Python et R développés pour traiter et analyser les données sont placés à cette adresse:

<ftp://ftp.ifremer.fr/ifremer/ird/jhabasqu/CORIOLIS/Programmes/>

III. Analyse de la distribution spatio-temporelle des données

Afin de préciser les meilleures périodes et zones d'étude, cette section présente la disponibilité des données.

A ANDRO

1. De surface²

Scripts :

- `\Matlab\ARGO\ANDRO\ANDRO_surface_data_selection.m`
- `\Matlab\ARGO\ANDRO\carto_Andro_surface.m`
- `\Python\ANDRO\read_andro_surf.py`
- `\Python\ANDRO\read_plot_andro_stat_surf.py`
- `\Python\ANDRO\read_plot_andro_stat_surface_month.py`

Seules les données du Data Assembly Center (DAC) CORIOLIS ont été traitées à partir de 2010 (Figure 2), il manque les données du DAC AOML en Atlantique à partir de 2010.

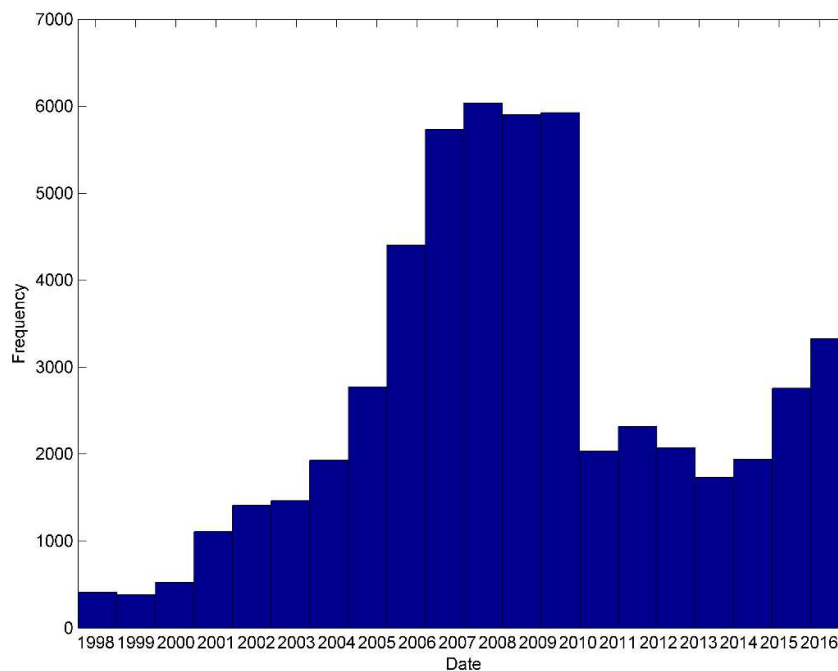


Figure 2. Nombre de données ANDRO à la surface par année.

² Dans ANDRO, il y a 2 vitesses de surfaces calculées pour chaque cycle: la première est calculée sur les 6 premières heures passées en surface, et la deuxième sur les 6 dernières heures. Il faut récupérer les colonnes 14,15 et 21,22 du fichier ANDRO.

La densité de données est la plus forte sur la bande latitudinale 6°N-7°N tandis que la partie Sud Est de la zone d'étude est sous-échantillonnée (Figure 3). La concentration des données dans le Golfe de Guinée est correcte. D'un point de vue spatial, le réseau est complet à partir de 2007, la meilleure période d'étude est 2007-2009. Sur la période 2011-2015, grâce aux déploiements effectués lors des campagnes PIRATA, la couverture proche de l'Equateur est également bonne.

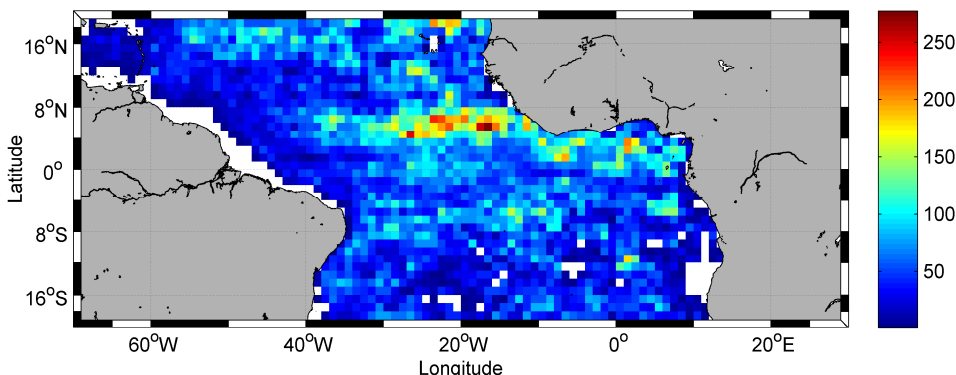


Figure 3. Nombre de données de vitesse de surface estimée des dérives de flotteurs ARGO par cellule de 1° entre juillet 1997 et octobre 2016.

Les courants principaux (SEC et NECC) sont mis en évidence par les vitesses zonales moyennes de surface obtenues par la dérive des flotteurs ARGO (Figure 4).

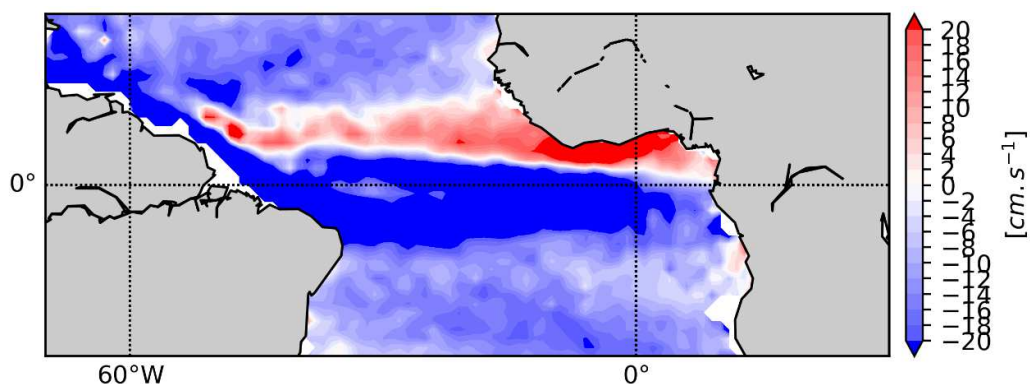


Figure 4. Vitesses zonales moyennes annuelles de surface estimées des dérives de flotteurs ARGO.

2. De profondeur

Scripts :

- `\Matlab\ARGO\ANDRO\ANDRO_deep_data_selection.m`
- `\Matlab\ARGO\ANDRO\carto_ANDRO_deep.m`
- `\Python\ANDRO\read_andro_deep.py`
- `\Python\ANDRO\plot_ANDRO_stat_deep.py`
- `\Python\ANDRO\plot_ANDRO_stat_deep_month.py`

La plupart des flotteurs (63%) ont une profondeur de stationnement autour de 1000 m (Tableau 3). Cependant, certains flotteurs ont des profondeurs de stationnement plus profondes : 10% dérivent autour de 1500 m, 12% autour de 2000 m.

Intervalle de profondeur (m)	Nombre	%
Inf 0	411	0.8

0-50	387	0.7
50-550	5520	10.2
550-950	1611	3.0
950-1150	34208	63.4
1150-1450	231	0.4
1450-1550	4897	9.1
1550-1850	123	0.2
1850-2250	6543	12.1
TOTAL	53931	100.0

Tableau 3. Distribution du nombre de flotteurs par profondeur de parking dans la zone d'étude.

Dans cette étude, nous considérons les flotteurs ARGO qui dérivent à des profondeurs comprises entre 950 et 1150 m avec un cycle de 4 à 17 jours. Les données ANDRO fournissent une dérive moyenne sur la durée du cycle.

La densité de données est la plus forte sur la bande latitudinale 6°N-7°N tandis que la partie Sud Est de la zone d'étude est sous-échantillonnée (Figure 5).

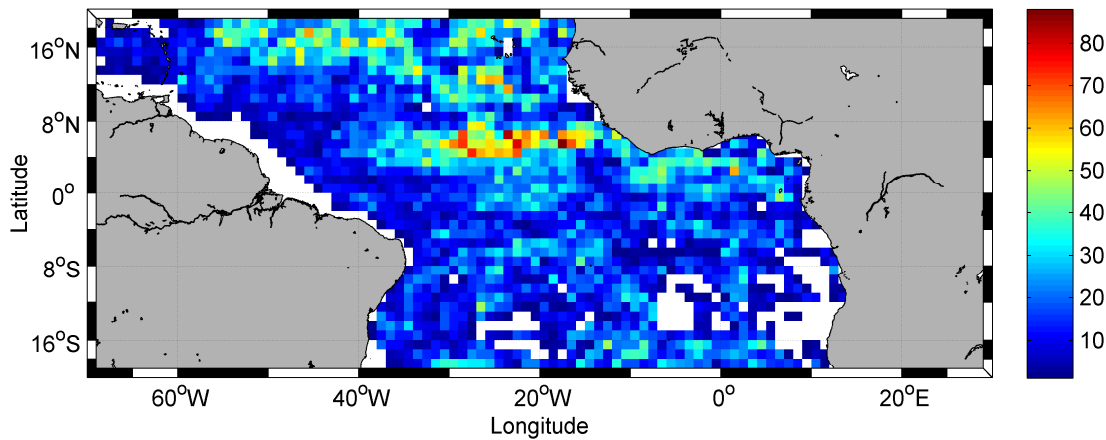


Figure 5. Nombre de données de vitesse de courant estimées par les flotteurs ARGO dérivant entre 950m et 1150m par cellule de 1° entre juillet 1997 et octobre 2016.

La vitesse zonale moyenne met en évidence la présence alternée de jets, particulièrement visibles entre 4°S et 4°N (Figure 6).

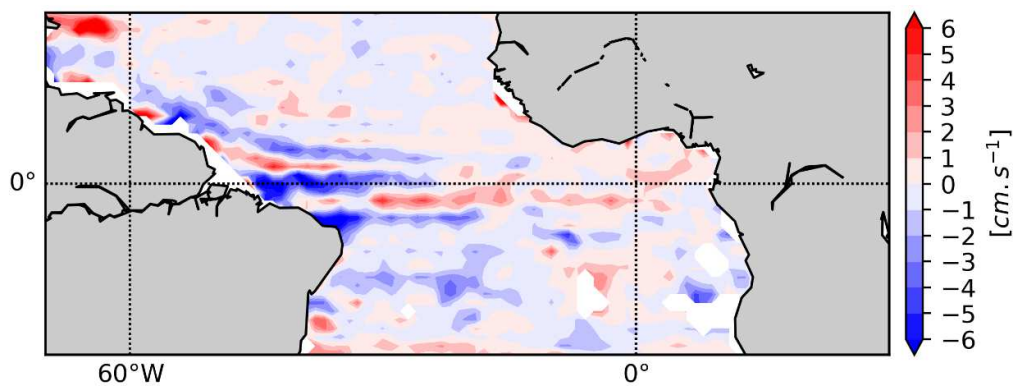


Figure 6. Vitesses zonales moyennes estimées des dérives de flotteurs ARGO entre 950 et 1150m.

B Mouillages ADCP

3. 10°W

Scripts:

- `\MATLAB\ADCP_Mooring\plot_mooring_ADCP_data_10W.m`

Les mesures du mouillage ADCP 10°W-0°N sont trop discontinues et éloignées de la surface (Figure 7) pour étudier correctement les courants de surface.

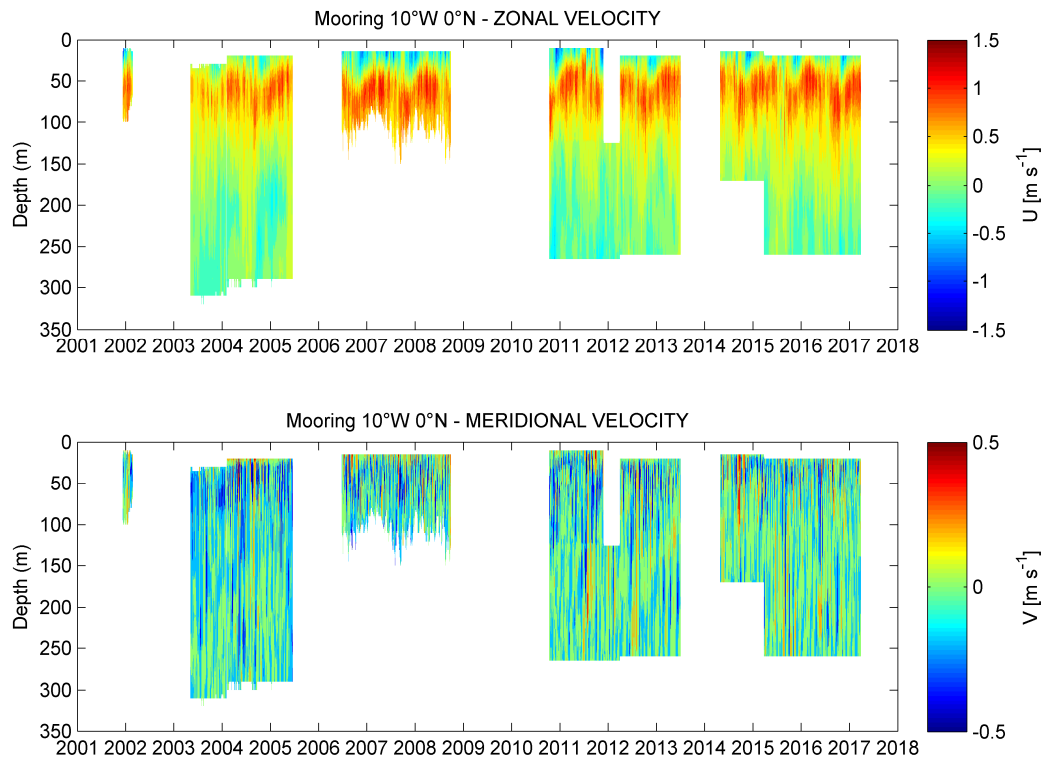


Figure 7. Vitesses zonales et méridiennes du mouillage ADCP 10°W 0°N entre 2001 et 2017.

La distribution du nombre de données par profondeur (Figure 8) montre que statistiquement il est préférable d'étudier les courants de subsurface avec les données mesurées à 20 m. Le courantomètre installé à 10 mètres sur la ligne de mouillage de l'ADCP n'est exploitable qu'à partir de mars 2017.

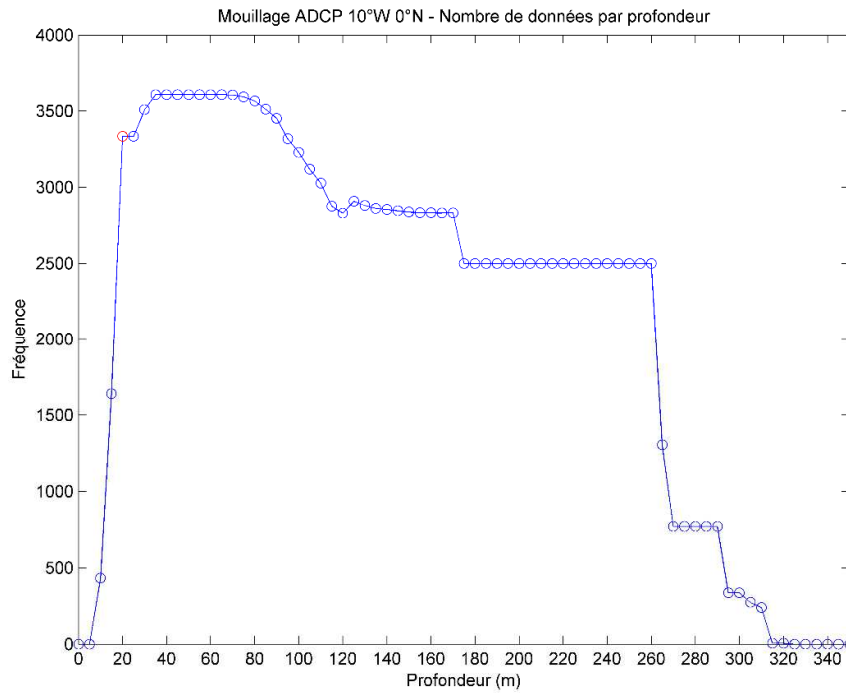


Figure 8. Distribution du nombre de données par profondeur pour le mouillage 10°W-0°N.

4. 23°W

Scripts:

- `\MATLAB\ADCP_Mooring\plot_mooring_ADCP_data_23W.m`

Pour étudier les courants de surface, les mesures du mouillage ADCP 23°W-0°N sont suffisamment proches de la surface en 2002 et à partir de mars 2008 (Cf. Figure 9).

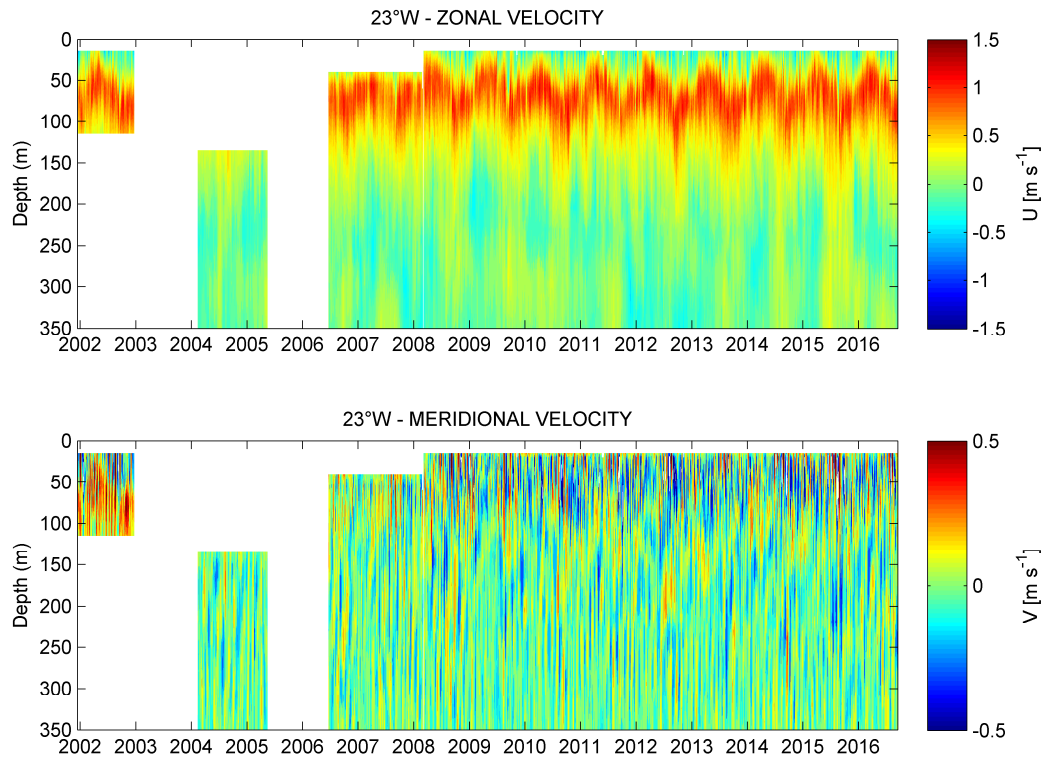


Figure 9. Vitesses zonales et méridiennes du mouillage ADCP 23°W-0°N.

En surface, la zone « blank » est importante (Figure 10) : la première mesure commence à 15 m (jeu de données interpolé sur une grille régulière par pas de 5 m entre 0 et 350 m). La distribution du nombre de données par profondeur montre que statistiquement il est préférable d'étudier les courants de subsurface à 23°W avec les données mesurées à 15 m.

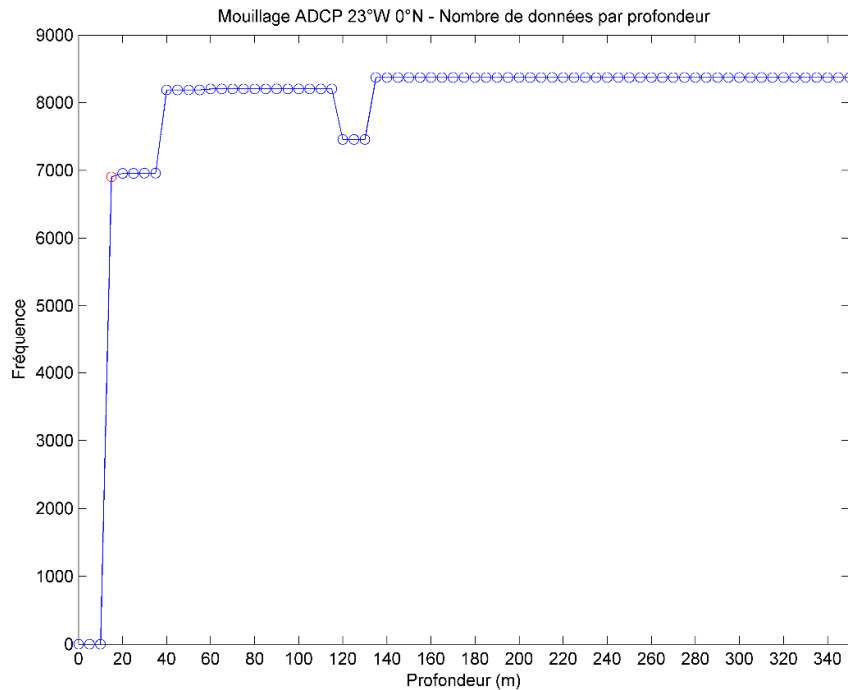


Figure 10. Distribution du nombre de données par profondeur pour le mouillage 23°W-0°N.

Les données des courantomètres installés entre 10 et 20 m sur la ligne de mouillage de la bouée PIRATA complètent les mesures du mouillage ADCP.

5. 23°W GEOMAR

Scripts:

- `\MATLAB\ADCP_mooring\plot_mooring_ADCP_data_23W_GEOMAR.m`

La couverture des données ADCP autour de 1000 m est très discontinue (Figure 11). Pour l'étude des courants de profondeur, les vitesses zonales et méridiennes seront moyennées sur l'intervalle de profondeur 950 m-1150 m.

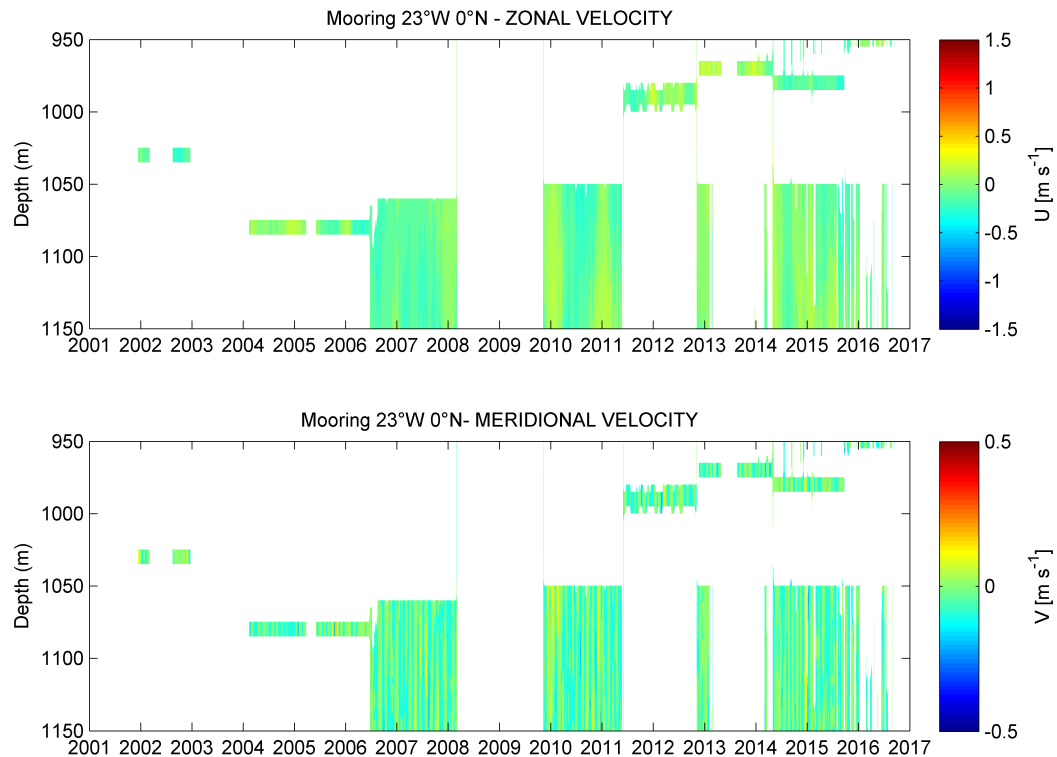


Figure 11. Vitesses zonales et méridiennes au mouillage ADCP 23°W-0°N entre 950 et 1150m.

B. Capteurs des bouées PIRATA

1. Courantomètre bouée PIRATA 23°W

Scripts:

- `\Matlab\Capteurs_Bouee\read_current_data_PIRATA_buoy.m`
- `\Matlab\Capteurs_Bouee\disponibility_buoy_sensor.m`

La profondeur du (ou des) courantomètre(s) installé(s) sur la ligne de mouillage varie en fonction des années (Figure 12).

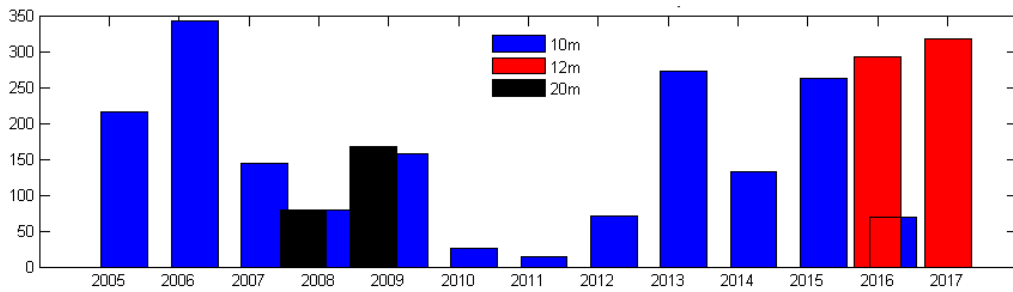


Figure 12. Distribution des mesures des courantomètres de la bouée 23°W par profondeur et par année.

Les vitesses zonales et méridiennes journalières mesurées par les courantomètres installés sur la ligne de mouillage de la bouée 23°W-0°N sont présentées en Figure 13.

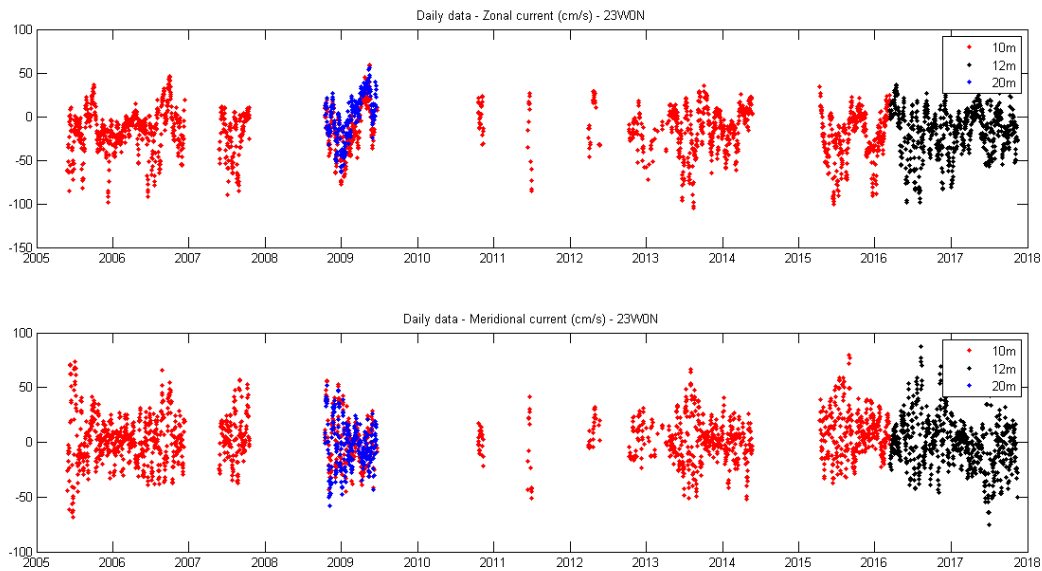


Figure 13. Vitesses zonales et méridiennes (cm/s) journalières mesurées par les courantomètres installés sur la ligne de mouillage de la bouée 23°W-0°N.

2. Anémomètres bouées PIRATA

Scripts:

- `\Matlab\Capteurs_Bouee\read_wind_data_PIRATA_buoy.m`

Les données enregistrées par les anémomètres installés sur les bouées PIRATA 10°W-0°N (Figure 14) et 23°W-0°N (Figure 15) fournissent des informations utiles sur l'intensité et la direction du vent. Ces données permettent d'étudier le lien potentiel entre le vent et le cisaillement de courant en surface.

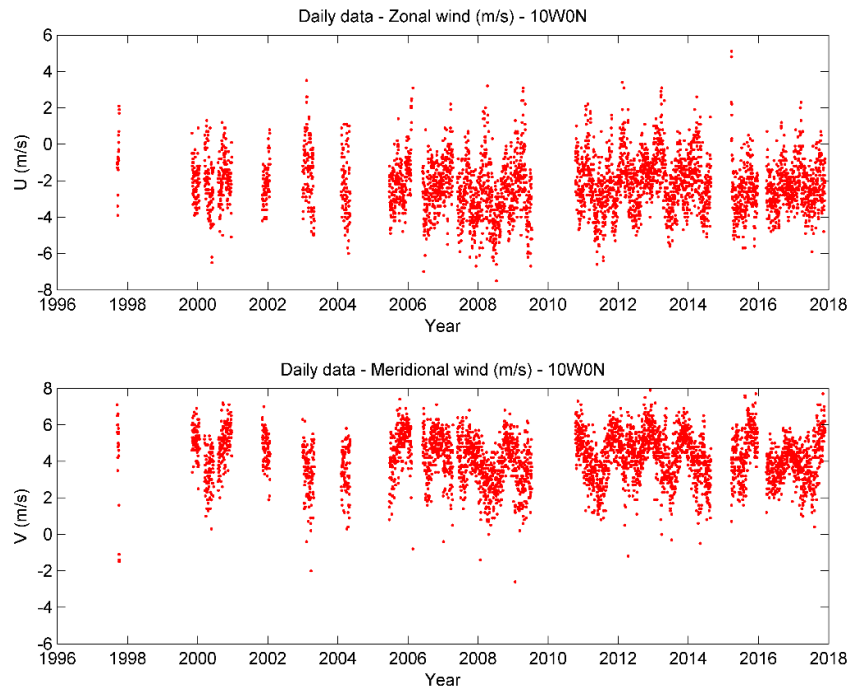


Figure 14. Vitesses zonales et méridiennes journalières enregistrées à 10°W-0°N.

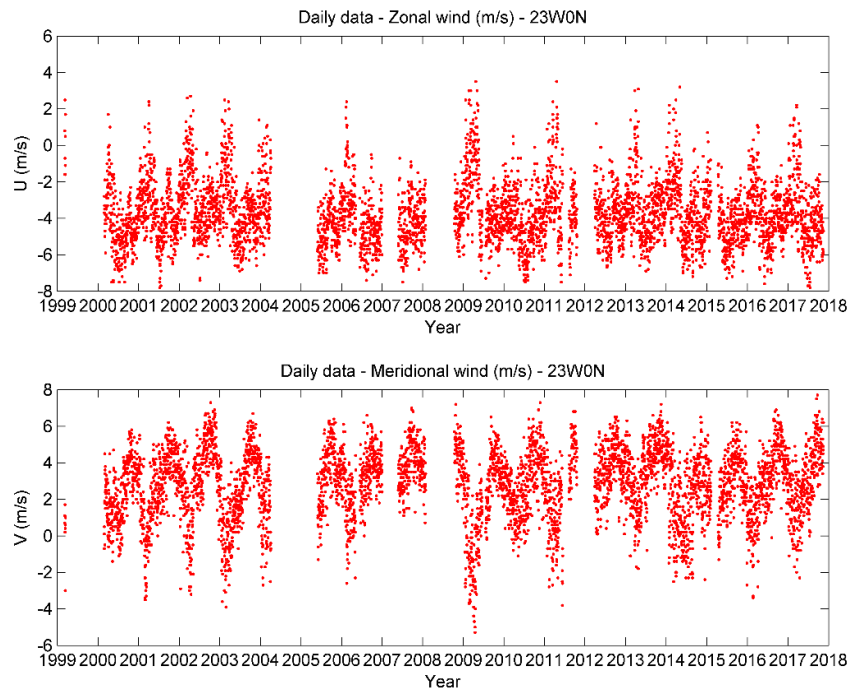


Figure 15. Vitesses zonales et méridiennes journalières enregistrées à 23°W-0°N.

3. Sondes bouées PIRATA

Scripts:

- `\Matlab\Capteurs_Bouee\read_sst_data_PIRATA_buoy.m`

Les relevés de température de surface aux bouées PIRATA 10°W et 23°W (Figure 16Figure) montrent une amplitude et des valeurs minimales plus fortes à 10°W, région de la langue d'eau froide équatoriale.

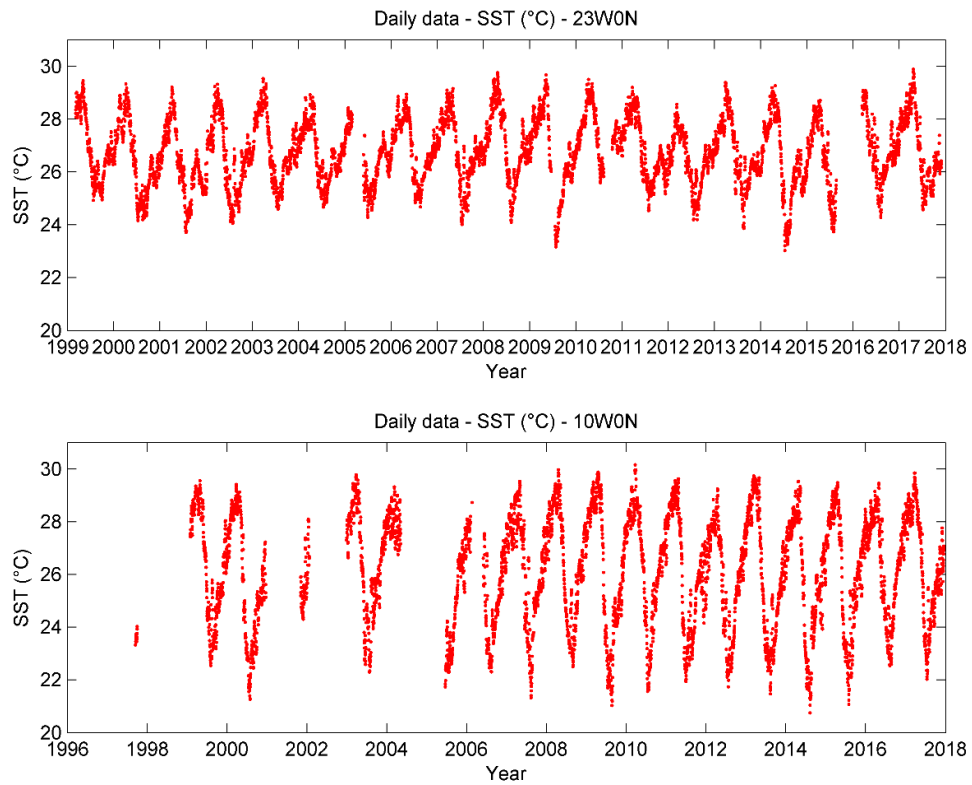


Figure 16. Températures de surface de la mer journalières enregistrées à 23°W-0°N et 10°W-0°N

C S-ADCP

Scripts:

- `\Matlab\SADCP\traces_pirata.m`

Les principales mesures S-ADCP sont réalisées dans le cadre du programme PIRATA depuis 1997 (Figure 17).

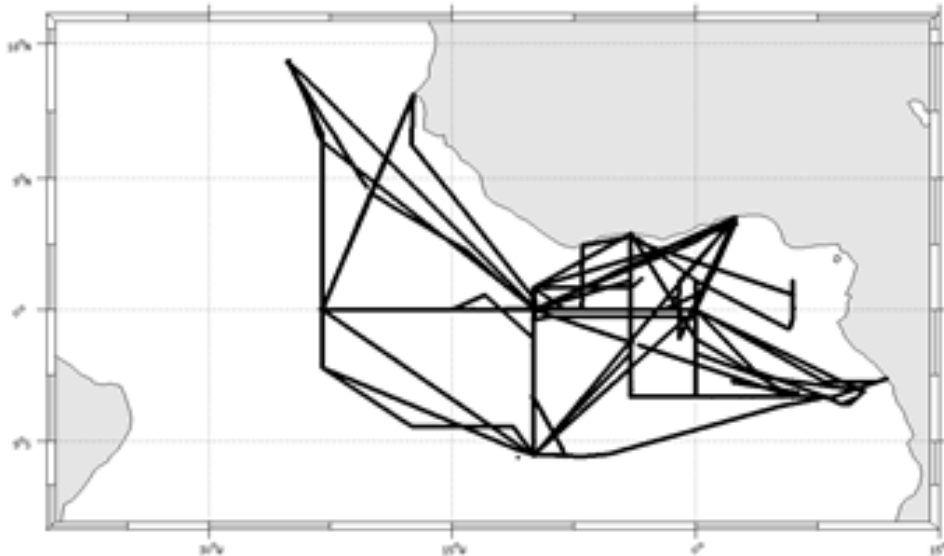


Figure 17.. Traces des campagnes PIRATA FR16 à FR27

Seules les données S-ADCP 38kHz peuvent fournir des indications jusqu'à 1000 m. Elles sont disponibles pour les campagnes PIRATAFR25-26-27 soit pour les années (2015-16-17).

D'autres campagnes ont eu lieu dans la région. Les tableaux ci-dessous en font l'inventaire et indiquent les principales sections qui se répètent d'une campagne à l'autre. Les nombres indiqués dans le tableau indiquent les mois. Les fichiers des campagnes sont stockés ici : <ftp://ftp.ifremer.fr/ifremer/coriolis/adcp/>

Campagne/ Année	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
PIRATAFR09	11																
PIRATAFR10	12																
PIRATAFR11			12-01														
PIRATAFR12				01-02													
PIRATAFR16							05-06										
PIRATAFR17							06-07										
PIRATAFR18								09-10									
PIRATAFR20									09-10								
PIRATAFR21											05-06						
PIRATAFR22												03-04					
PIRATAFR23													05-06				
PIRATAFR24														05-06			
PIRATAFR25																02-03	

PIRATAFR26																		02-03	
PIRATAFR27																			02-03
EGEE1					05														
EGEE2					09														
EGEE3						05-07													
EGEE5						06													
EGEE6																			
BIOZAIRE	01																		
NERIS			01																
BIOZRECUP					X														
OPTIC_CONGO			X																
TV_DAKARPORTGENTIL			X																
TVPIEZO_BB150			X																
TDURNOU						X													
TV_CAPDAK								X											
TR_DURMIN																			X
TV_MINDELO_DAKAR													X						
TV_DAKAR_LASPALMAS													X						
TR_ABIPDA														X					
TR_ABICON												X							
TR_ABISEY												X							
TV_ABIBR								X											
TRCOTON						X													
TRCODK					X														
TRCOLS					X														
TRDKCO					X														
TR_DAKPDA										X									
TR_FDFRC													X						
TR_CAYPDA													X						

Tableau 4. Dates des campagnes réalisées dans la zone d'étude (60°W – 15°E ; -20°S-20°N).

Sections/ Année	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
23°W														X	X	X	X
10°W	X				X		X	X			X	X	X	X	X	X	X
0°W												X	X			X	X
A l'Est (2-3-6°E)						X	X					X					
Le long de l'équateur	X		X	X		X	X	X		X	X	X		X	X	X	X
Le long de la côte nord Afr.					X	X		X			X	X	X	X			
Le long de la côte Amer.													X				
Autres	X		X		X	X		X									X

Tableau 5. Sections qui se répètent.

La répétition d'une même section d'une année à l'autre permet d'analyser la variabilité interannuelle des courants. En tenant compte cependant des variabilités saisonnière et intrasaisonnière puisque les sections ne sont pas réalisées le même jour du même mois. Ci-dessous des exemples pour certaines de ces sections.

Section 10°W :

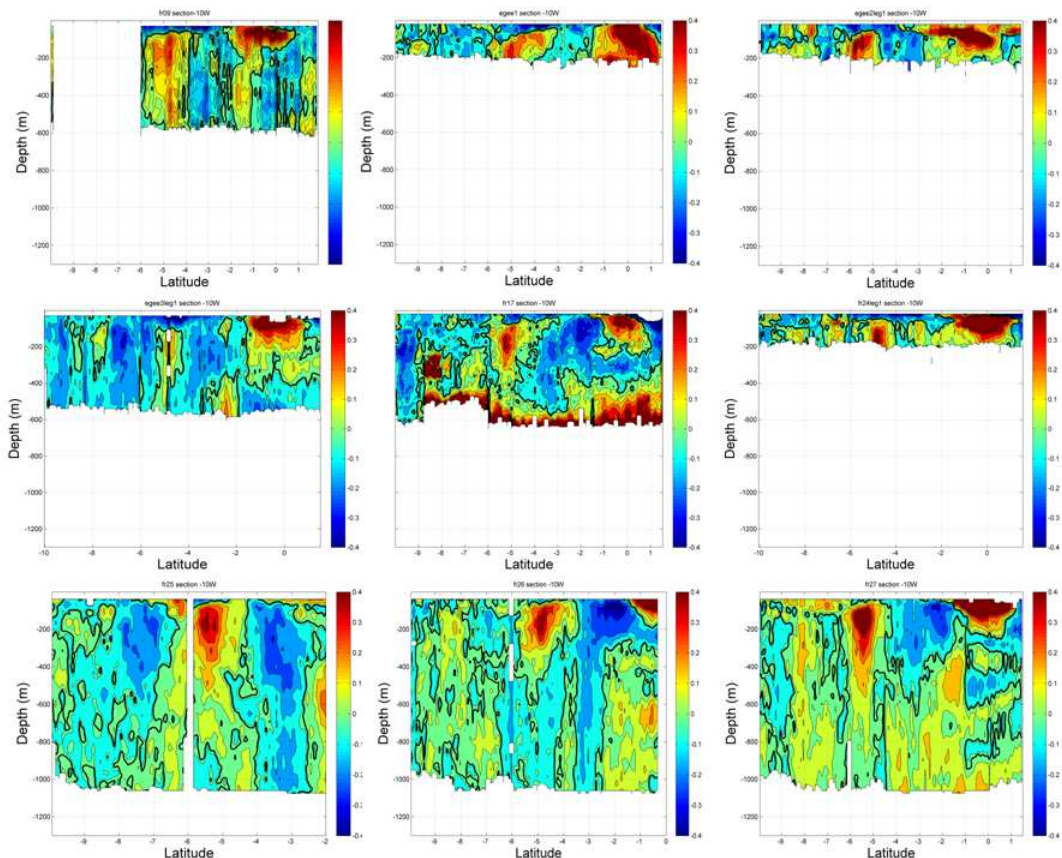


Figure 18. Distribution verticale des vitesses zonales du courant à 10°W ($m.s^{-1}$) pour différentes campagnes (de gauche à droite et de haut en bas : PIRATAFR9, EGEE1, EGEE2, EGEE3, PIRATAFR17-24-25-26-27).

Section 23°W :

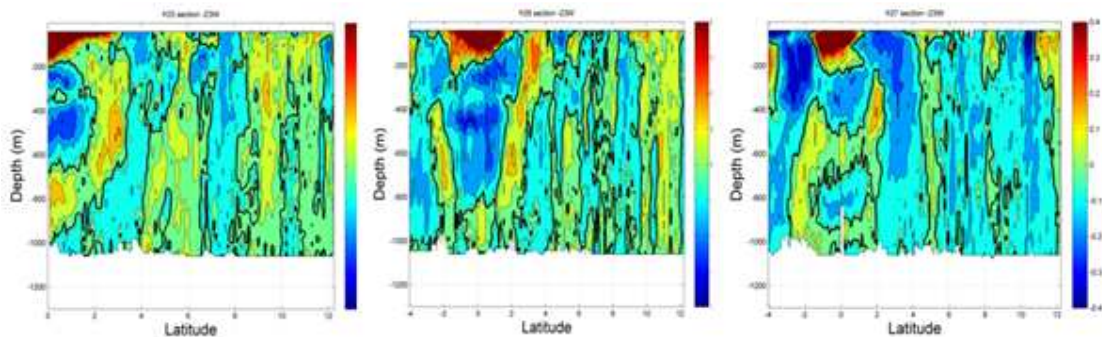


Figure 19. Distribution verticale des vitesses zonales du courant à 23°W ($m.s^{-1}$) pour différentes campagnes (PIRATA-25-26-27).

Section 2, 3 et 6^E :

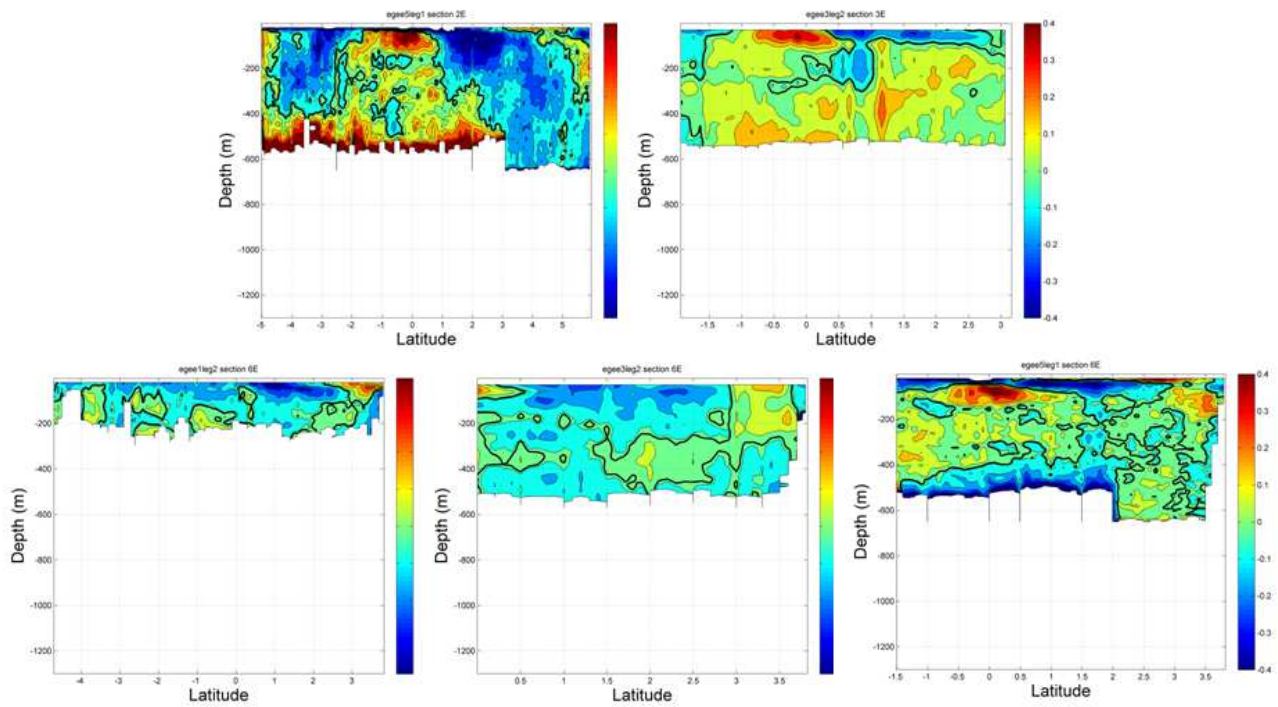


Figure 20. Distribution verticale des vitesses zonales du courant ($m.s^{-1}$) pour différentes campagnes (de gauche à droite et de haut en bas : EGEE5 à 2°E; EGEE3 à 3°E; EGEE1 à 6°E; EGEE3 à 6°E; EGEE5 à 6°E).

Sections le long de l'équateur :

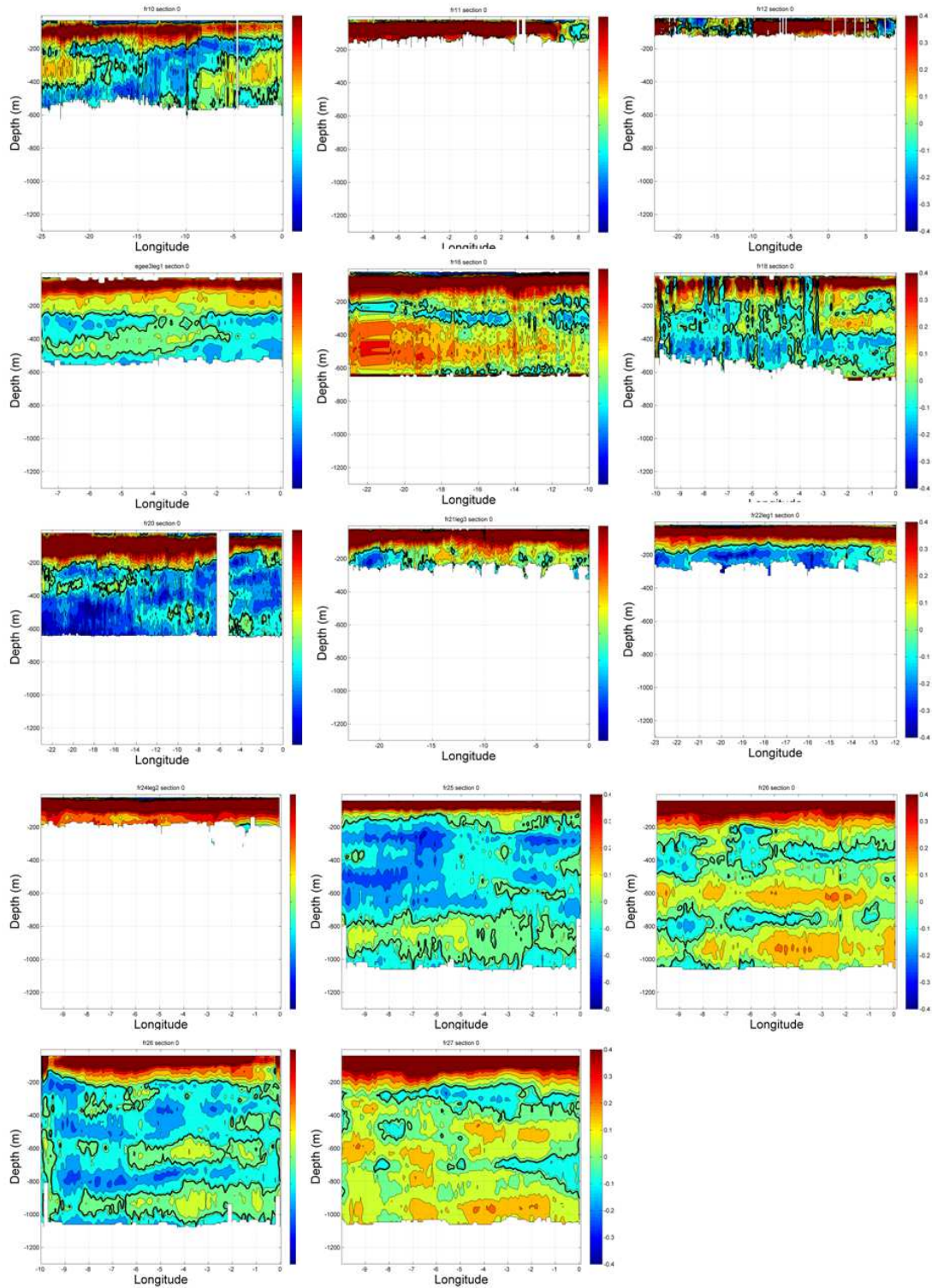


Figure 21. Distribution verticale des vitesses zonales du courant ($m.s^{-1}$) le long de l'équateur pour différentes campagnes (de gauche à droite et de haut en bas : PIRATAFR10-11-12, EGEE3, PIRATAFR 16 - 18 -20-21-22-24-25-26-27).

En combinant l'ensemble des mesures disponibles pour une même section on peut ainsi réaliser des moyennes. La Figure 22 montre ce que l'on obtient pour la section à 0°N de 10°W à 0°W.

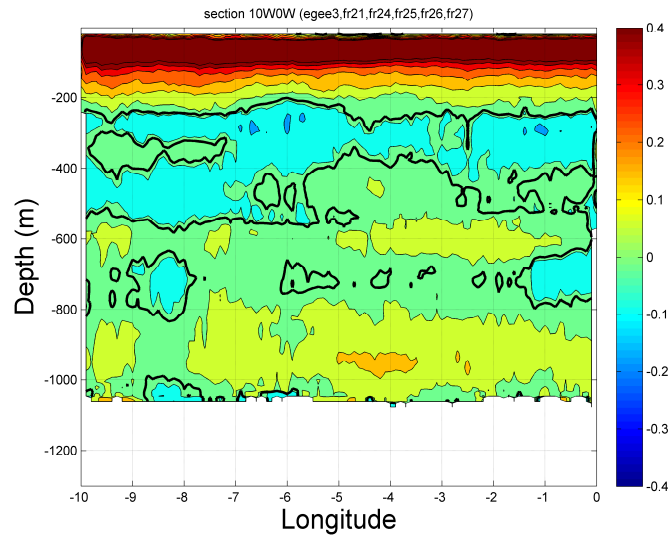


Figure 22. Moyenne des vitesses zonales du courant ($m.s^{-1}$) à $0^{\circ}N$ de $10^{\circ}W$ à $0^{\circ}W$. Campagnes concernées : EGEE3, PIRATAFR21- 24-26-27. Mois concernés : 03-04-05-06.

Le fort courant vers l'est qui s'étend jusque ~ 200 m correspond à l'EUC.

Le même calcul est effectué pour la section à $10^{\circ}W$ (Figure 23).

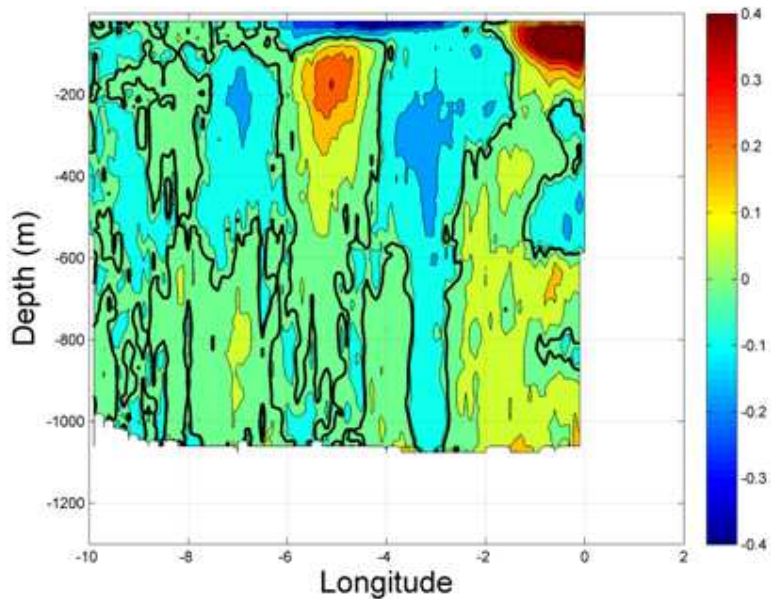


Figure 23. Moyenne des vitesses zonales du courant ($m.s^{-1}$) à $10^{\circ}W$ de $10^{\circ}S$ à $0^{\circ}N$. Campagnes concernées : EGEE1, EGEE2, EGEE3, PIRATAFR09, PIRATAFR21- 23-24-25-26-27. Mois concernés : 03-04-05-06-09-10.

On retrouve l'EUC à l'équateur, ainsi qu'une autre veine de courant vers l'est située entre ~ 150 m et 500m qui correspond au SEUC (South Equatorial Under-Current).

D L-ADCP

La série de données LADCP est plus longue que la série de données S-ADCP et l'échantillonnage se fait jusqu'à 2000 m, mais il reste du travail sur les données L-ADCP avant de produire un jeu de données final (F. Marin, com. Personnelle.)

E Dérive des bouées de surface

Scripts :

- `\Matlab\Drifters\drifters_selection.m`
- `\Matlab\Drifters\carto_drifters_drogue_on.m`

Les données ont été extraites du produit GlobCurrent. Seules les dérives provenant de bouées avec drogue ont été étudiées. La profondeur de la mesure du courant est à 15m. L'effort d'échantillonnage de la zone tropicale commence en 1997 (Figure 24).

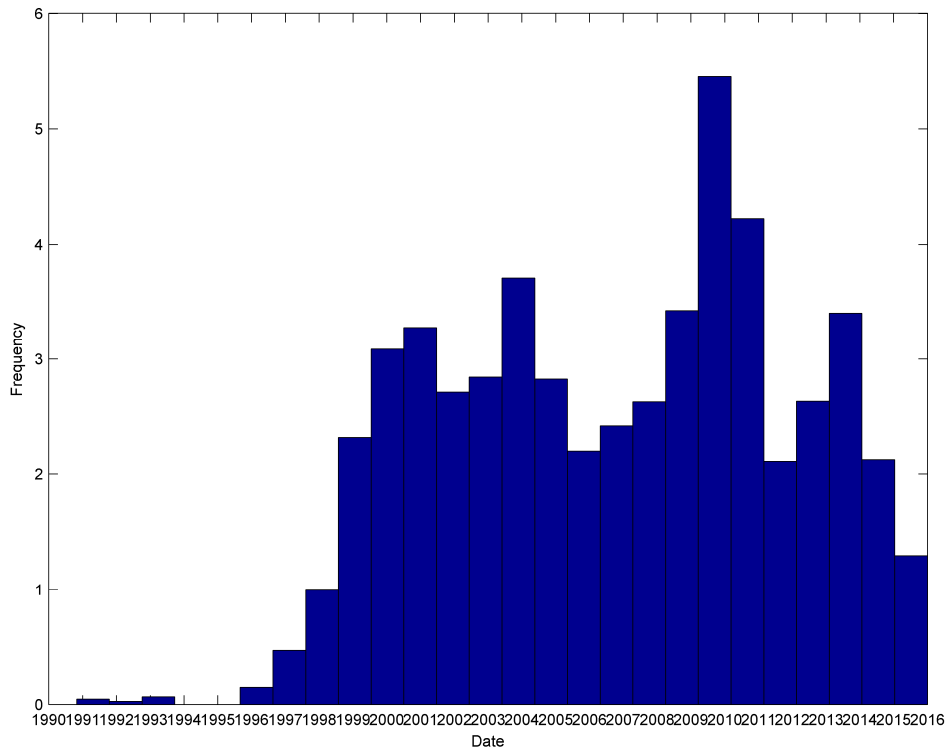


Figure 24. Nombre de données drifters à 15m par année

La bande équatoriale et la partie Sud-Est de la zone d'étude apparaissent sous-échantillonnées (Figure 25).

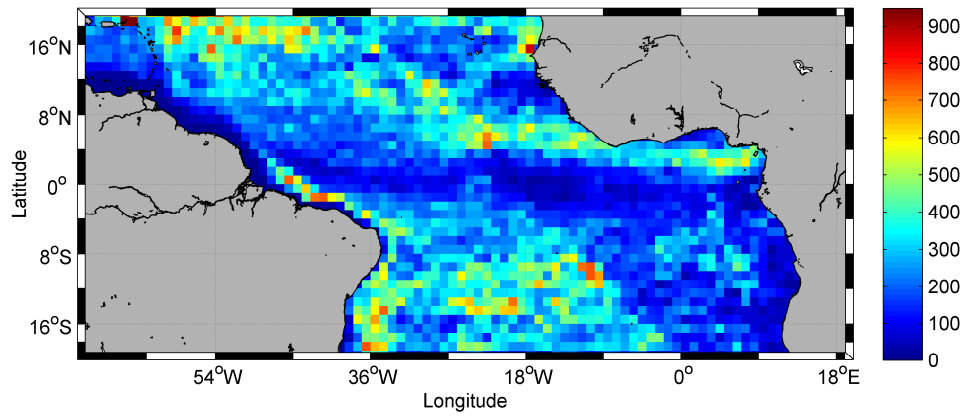


Figure 25. Nombre de données de vitesse de courant à 15m estimée de la dérive des bouées de surface par cellule de 1°

Les patterns (Figure 26) sont en accord avec ceux obtenus à partir des vitesses de surface estimées par les dérives des flotteurs ARGO.

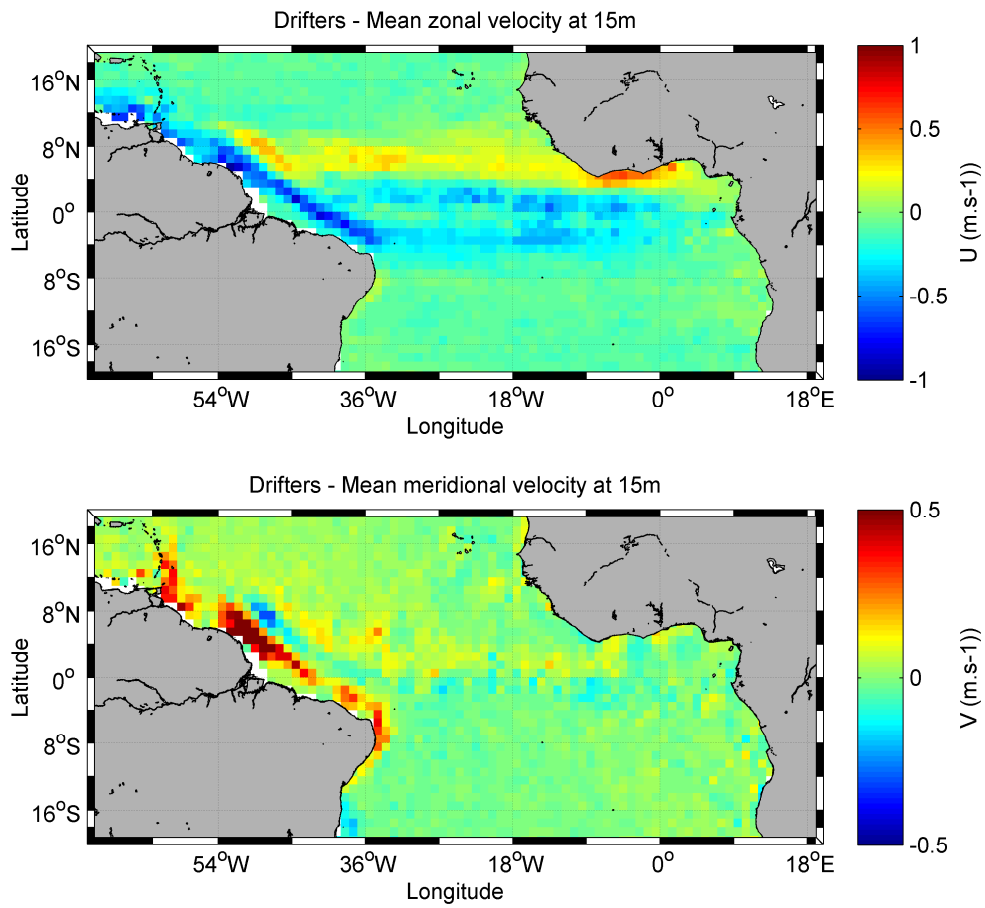


Figure 26. Vitesses moyennes annuelles estimées à 15m par la dérive des bouées de surface.

F Sélection de zones et périodes d'intérêt

Les sites 10°W et 23°W étant équipés de mouillages ADCP et de bouées PIRATA, notre étude s'est focalisée sur ces deux sites.

4. Section 10°W

a) Surface

Capteur / Année	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
ANDRO	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Drifters	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Anémomètre bouée	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Sonde de température	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Tableau 6. Disponibilité des données de courant en surface sur la section 10°W par capteur et année.

b) 15m

Capteur / Année	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
S-ADCP											X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Drifters	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Mouillage ADCP					X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X

Tableau 7. Disponibilité des données de courant autour de 15m sur la section 10°W par capteur et année

c) Profondeur (950-1150) m

Capteur / Année	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
S-ADCP 38 kHz																			X	X	X
ANDRO	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	

Tableau 8. Disponibilité des données de courant autour de 1000m sur la section 10°W par capteur et année

5. Section 23°W

a) Surface

Capteur / Année	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
ANDRO	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Drifters	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Anémomètre bouée			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Sonde température			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Tableau 9. Disponibilité des données de courant en surface sur la section 23°W par capteur et année

b) 15m

Capteur / Année	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
S-ADCP											X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Drifters	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Mouillage ADCP					X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Courantomètre bouée									X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Tableau 10. Disponibilité des données de courant autour de 15m sur la section 23°W par capteur et année

c) Profondeur (950-1150) m

Capteur / Année	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
S-ADCP 38 kHz																			X	X	X
ANDRO	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Mouillage ADCP GEOMAR						X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Tableau 11. Disponibilité des données de courant autour de 1000m sur la section 23°W par capteur et année

IV. Qualification et inter-comparaison des données

L'objectif est de comparer les mesures de courant réalisées à différents niveaux sur la verticale par différents capteurs. Il s'agit alors de savoir quelle est la fenêtre spatio-temporelle qui réduit le plus l'écart-type des différences.

A Courantomètre bouée 10m vs mouillage ADCP 23W

Scripts :

- `\MATLAB\Intercomparaison\comparaison_mouillage_23W_bouee_23W.m`
- `\R\comparaison_capteur_bouee_vs_mouillage10m_23W.R`

La comparaison des données courantomètres et ADCP permet d'étudier la complémentarité et/ou la cohérence entre les deux sources de données (Figure 27).

Les données postérieures au 01/03/2008 ont été sélectionnées. Soient 1089 observations pour les données courantomètres à 10m et 186 observations à 12m.

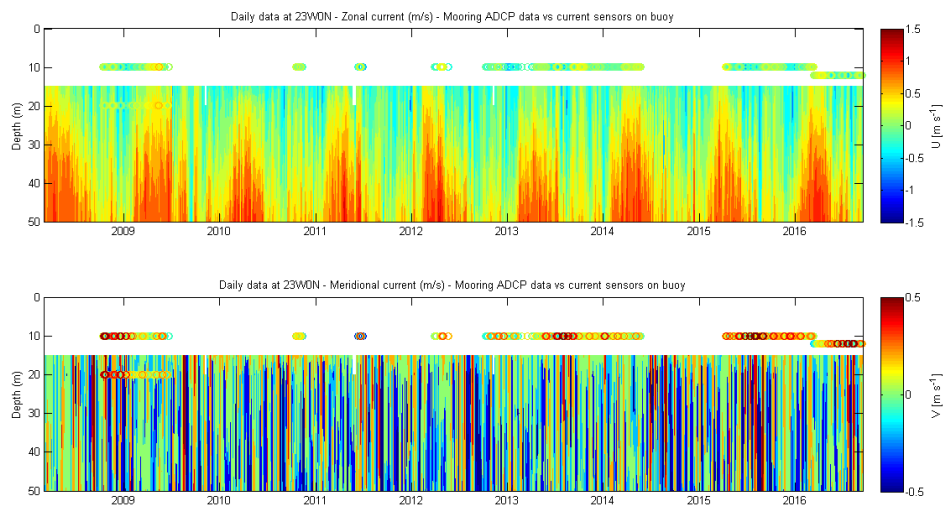


Figure 27. Courant zonal enregistré au mouillage ADCP 23°W 0°N et par le courantomètre de la bouée PIRATA 23°W 0°N

Les corrélations entre les courants zonaux, méridiens et la vitesse du courant enregistrés par l'ADCP à 15m et le courantomètre à 10m (Figure 28) sont satisfaisantes ($R^2 > 0.75$).

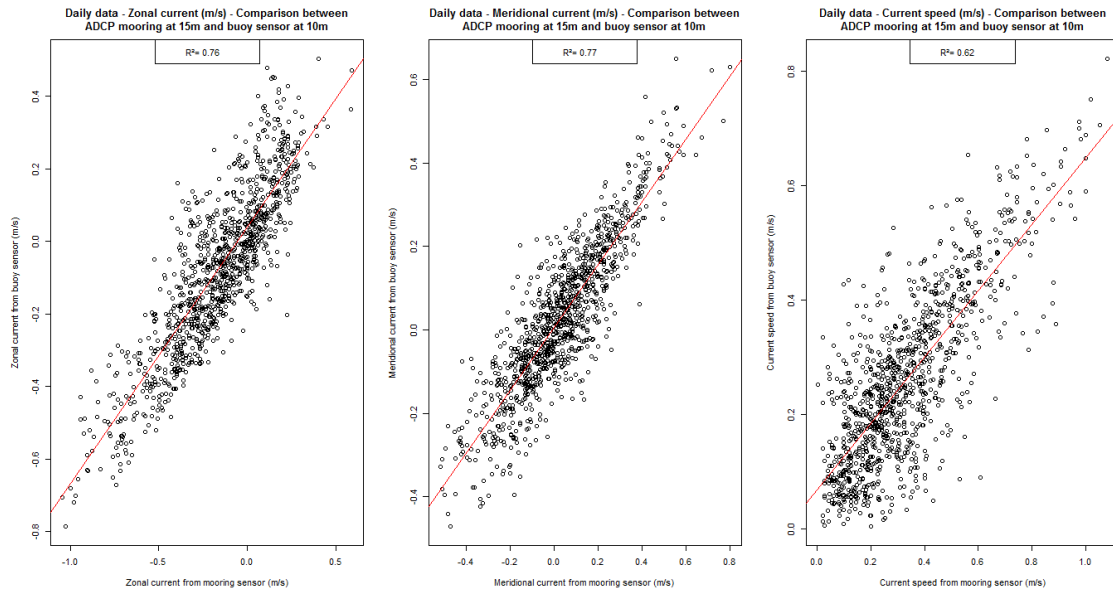


Figure 28. Corrélation entre les mesures journalières du mouillage ADCP à 15m et le courantomètre à 10m, pour la composante zonale, méridienne, et la vitesse du courant à 23°W-0°N.

Les plus faibles corrélations sont observées en février/mars (Figure 29), ce qui traduit un cisaillement plus marqué à cette période. L'analyse des vents mesurés à la bouée 23°W n'a pas permis de faire un lien direct avec la direction du vent.

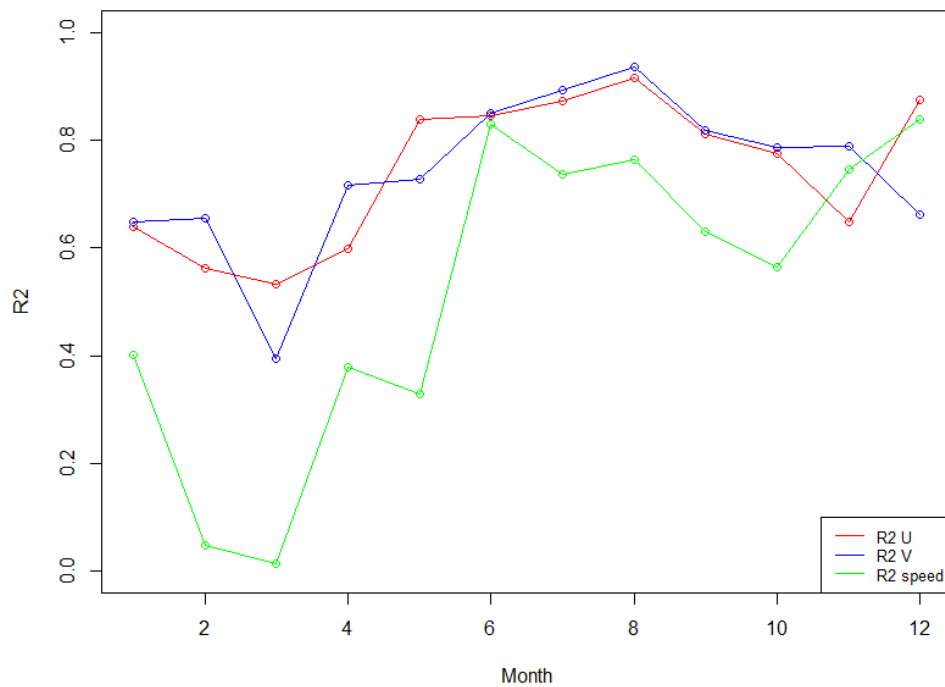


Figure 29. Corrélation mensuelle entre le courant zonale, méridien et la vitesse du courant mesurés par le courantomètre à 10m et l'ADCP à 15m

B Mouillage ADCP 23°W à 15m (2008-2016) vs ANDRO surface

Scripts :

- `\Matlab\Intercomparaison\comparaison_mouillage_23W_ANDRO_surface.m`
- `\R\mouillage_23W0N_vs_ANDRO_surface.R`

Pour comparer les mesures du mouillage ADCP 23°W-0°N avec les dérives de surface des flotteurs ARGO, les données ADCP postérieures à mars 2008 ont été sélectionnées car elles ont une mesure suffisamment proche de la surface. Cette période concorde également avec la période où le réseau ARGO est complet (> 2007). Du fait de la présence de jets zonaux, la bande de latitude étudiée pour les flotteurs ARGO a été réduite à 1°S-1°N avec un rayon maximal de 200 km autour de la position du mouillage soit 246 valeurs de dérive sur la période 2008-2016 (Figure 30).

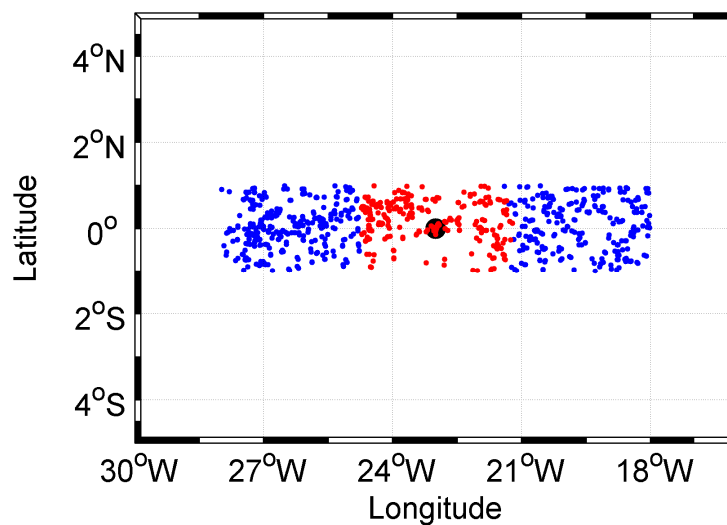


Figure 30. Positions des flotteurs ARGO sélectionnées sur la période 2008-2016 autour du point de mouillage 23°W 0°N dans un rayon de 200 kms.

Pour chaque position ARGO, la différence de temps avec la mesure ADCP la plus proche temporellement est inférieure à 12h (Figure 31).

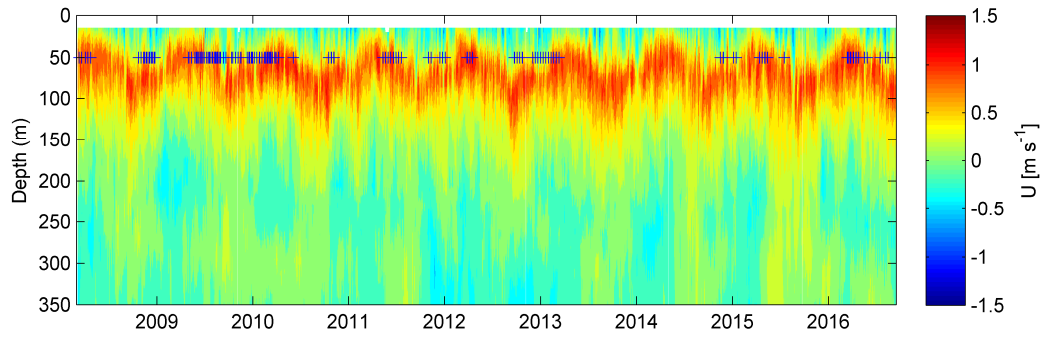


Figure 31. Courant zonal du mouillage ADCP 23°W 0°N entre 2008 et 2016. Les positions des flotteurs ARGO détectés en surface dans la bande de latitude 1°S 1°N et un rayon de 200 km sont superposés.

Pour quantifier les différences de mesures entre les ARGO et le mouillage ADCP, la corrélation entre les vecteurs U et V des deux sources de données a été évaluée en fonction du rayon de sélection des données ARGO autour du mouillage. La corrélation semble optimale lorsque le rayon de sélection des flotteurs est de 50km mais le nombre d’observations est faible pour être statistiquement robuste (Figure 33). Un maximum secondaire est observé vers 150 km.

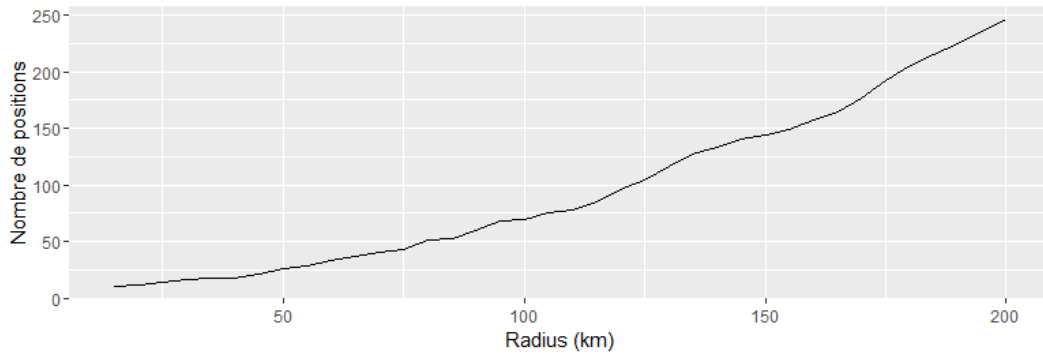


Figure 32. Nombre de positions ARGO en surface proches du mouillage ADCP 23°W 0°N en fonction du rayon autour du mouillage

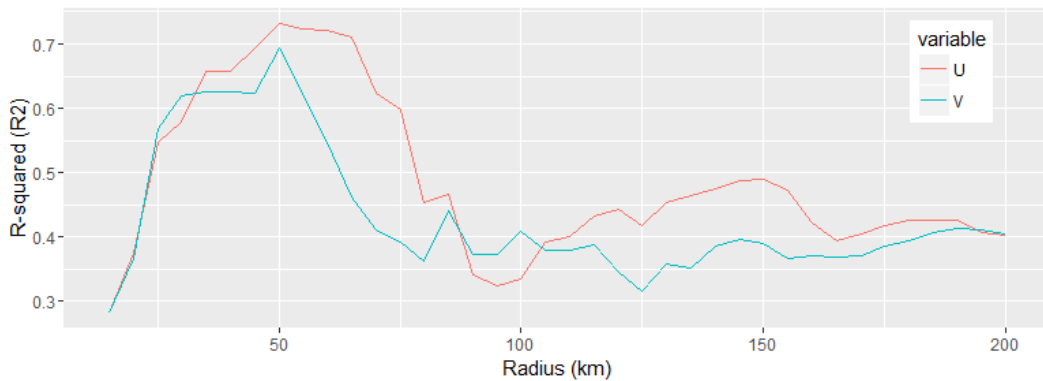


Figure.33. Corrélation R^2 entre les mesures de courant U et V du mouillage ADCP 23°W à 15m et les dérives ARGO de surface en fonction du rayon (en km) autour du mouillage

A. Mouillage ADCP GEOMAR 23°W vs ANDRO deep

Scripts :

- `\Matlab\Intercomparaison\comparaison_mouillage_23W_ANDRO_deep.m`
- `\R\mouillage_23W0N_vs_ANDRO_deep.R`

Les dérives en profondeur entre 950 et 1150m des flotteurs ARGO ont été comparées aux données du mouillage ADCP maintenu par GEOMAR depuis 2004. La bande de latitude étudiée pour les flotteurs ARGO a été réduite à 1°S-1°N avec un rayon maximal de 200 kms autour de la position du mouillage soit 79 valeurs de dérive sur la période 2004-2016 (Figure 34).

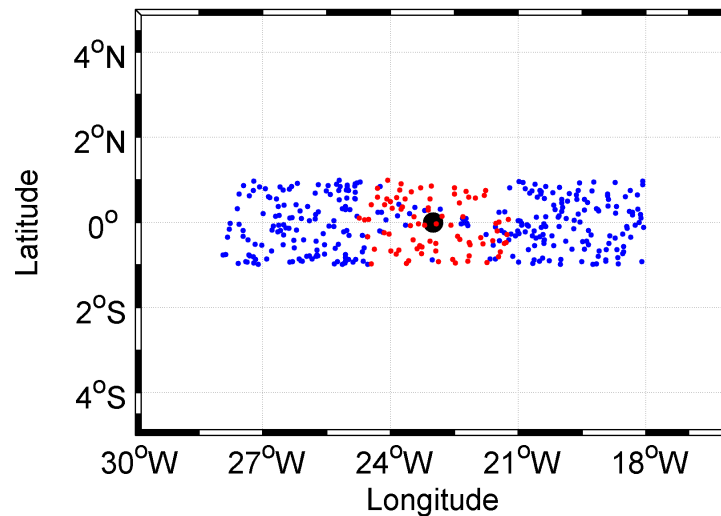


Figure 34. Positions des flotteurs ARGO deep sélectionnées sur la période 2004-2016 autour du point de mouillage 23°W 0°N dans un rayon de 200 km

La différence de temps considérée acceptable entre chaque position ARGO et la mesure ADCP la plus proche est de 30 jours (Figure 35).

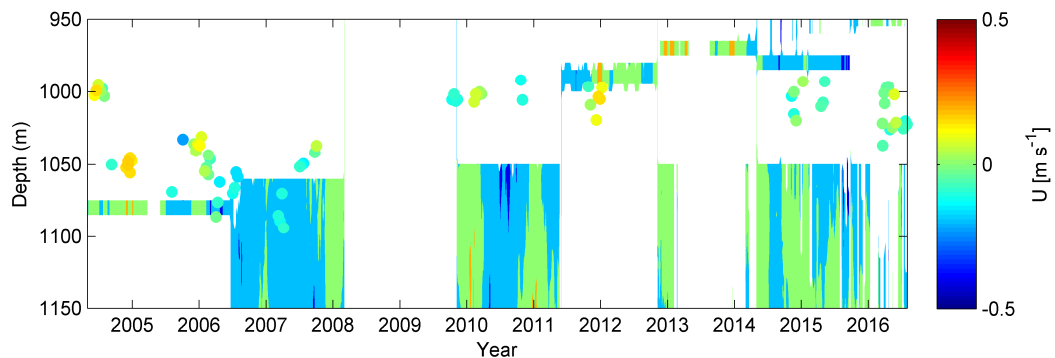


Figure 35. Courant zonal du mouillage ADCP 23°W 0°N entre 2004 et 2016. Les vitesses de courant zonal estimées à partir des flotteurs ARGO détectés en profondeur dans la bande de latitude 1°S 1°N et un rayon de 200 kms sont superposées.

La corrélation plus forte sur U que sur V (Figure 36 et Figure 37) est cohérente sachant que les moyennes de dérives sont calculées sur une période de 10 jours. La corrélation décroît avec l'augmentation du rayon. Le nombre d'observations devient statistiquement significatif à partir d'un rayon de 100kms (n=30). En profondeur la corrélation du courant zonale entre les deux sources de données est plus forte que celle des données de surface.

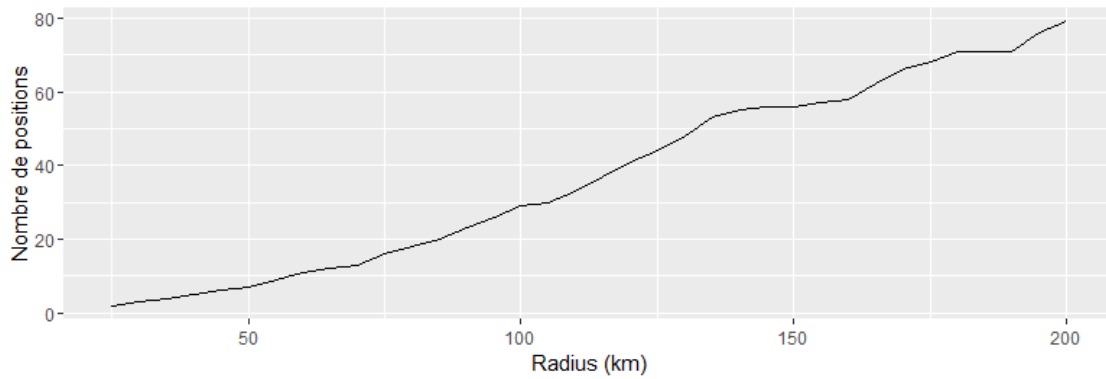


Figure 36. Nombre de positions ARGO en profondeur proches du mouillage ADCP 23°W 0°N en fonction du rayon autour du mouillage

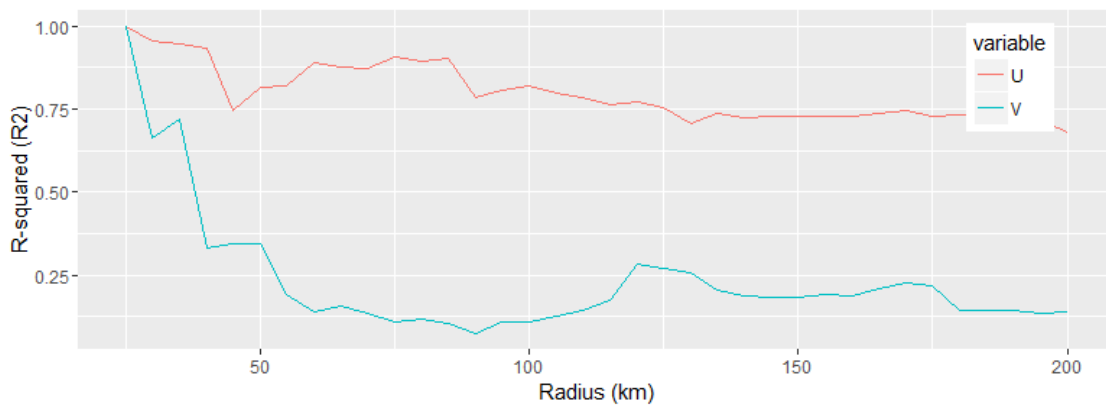


Figure 37. Corrélation R^2 entre les mesures de courant U et V du mouillage ADCP 23°W à 15m et les dérives ARGO de profondeur en fonction du rayon (en km) autour du mouillage

B. ANDRO vs S-ADCP

1. Deep vs données S-ADCP 38 kHz (2015-2017)

Script :

- `\Matlab\Intercomparaison\comparaison_ANDRO_deep_SADCP.m`

Pour l'inter-comparaison avec les données S-ADCP, les déplacements des flotteurs ARGO à +/- 30 jours du début et la fin de la campagne ont été sélectionnés. Pour la campagne PIRATA FR26, 1219 positions correspondent à cette sélection (Figure 38).

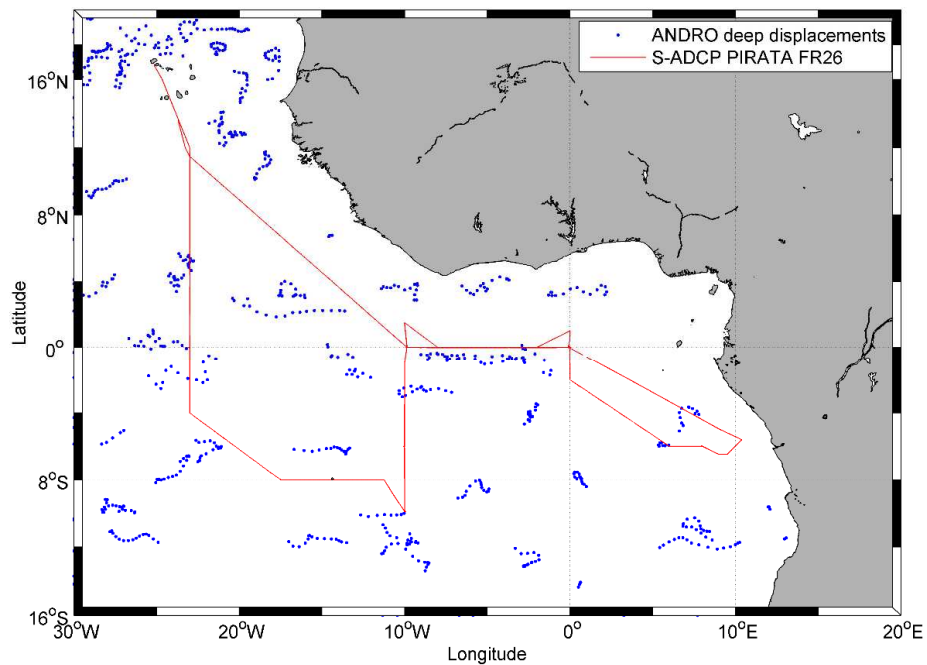


Figure 38. Mesures des données S-ADCP le long de la trajectoire de la campagne PIRATA FR26 et positions des déplacements ARGO entre 950 et 1150 dbar à +/- 30 jours du début et fin de la campagne.

Pour comparer les mesures des deux sources de données, les courants zonaux moyens ont été calculés sur la section 10°W (Figure 39) et 23°W (Figure 40). Dans l'espace à 1000m, du fait de la présence de jets zonaux, les moyennes ont été calculées par bande latitudinale de 0.5° et 3° de longitude de part et d'autre de la section. La cohérence de la direction des courants zonaux est illustrée sur la section 10°W.

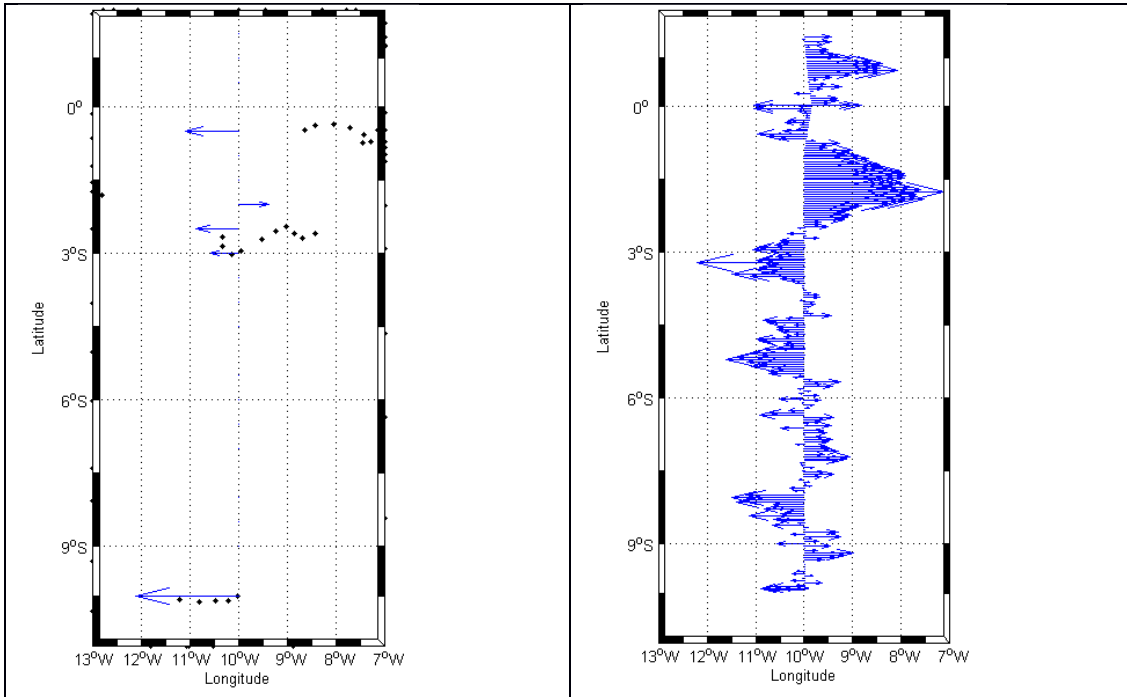


Figure 39. PIRATA FR26 section 10°W. A gauche, courant zonal moyen (cm/s) estimé par les dérives des flotteurs ARGO par bande de 0.5° latitude et +/- 3 degrés de longitude autour de la section. A droite, courant zonal moyen mesuré par S-ADCP entre 975 et 1025m.

En revanche, les directions des courants observés par S-ADCP et ARGO ne concordent pas sur la section 23°W.

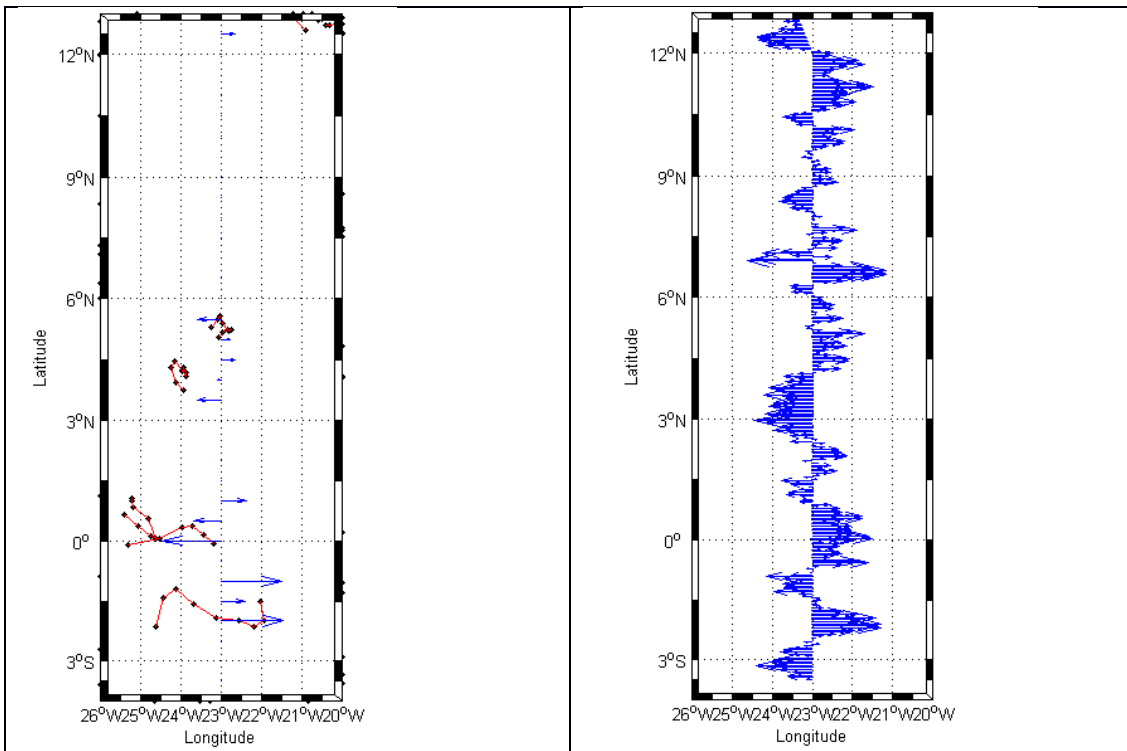


Figure 40. PIRATA FR26 section 23°W. A gauche, courant zonal moyen (cm/s) estimé par les dérives des flotteurs ARGO par bande de 0.5° latitude et +/- 3 degrés de longitude autour de la section. A droite, courant zonal moyen mesuré par S-ADCP entre 975 et 1025m

La première vitesse de dérive estimée après déploiement du flotteur (21 mars 2016) ne concorde pas avec la mesure du S-ADCP. Les trajectoires des flotteurs ARGO suggèrent une inversion du sens du courant au cours du mois de mars (Figure 41). A cette échelle spatio-temporelle, la comparaison des deux mesures de courant n'est pas adaptée.

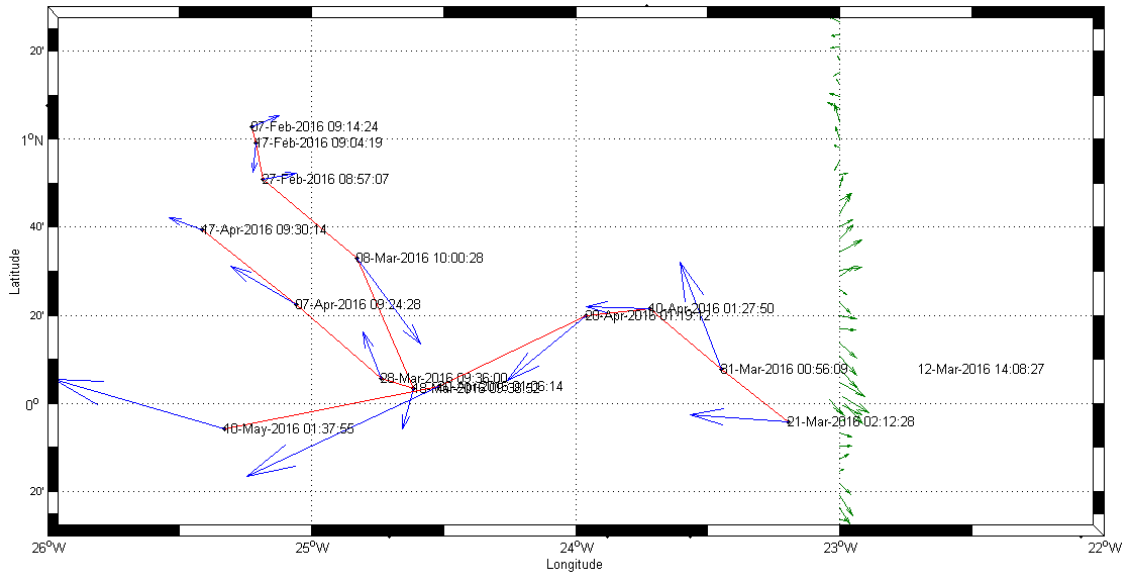


Figure 41. Mesures S-ADCP autour de 1000m réalisées le long de la section 23°W lors de PIRATA FR26 (flèches vertes), trajectoires des flotteurs ARGO proches (en rouge) avec leurs dérives estimées (flèches bleues)

Les mesures du mouillage ADCP montrent effectivement une inversion du courant entre 950 et 1150m entre le 11/03 et le 26/03 (Figure 42).

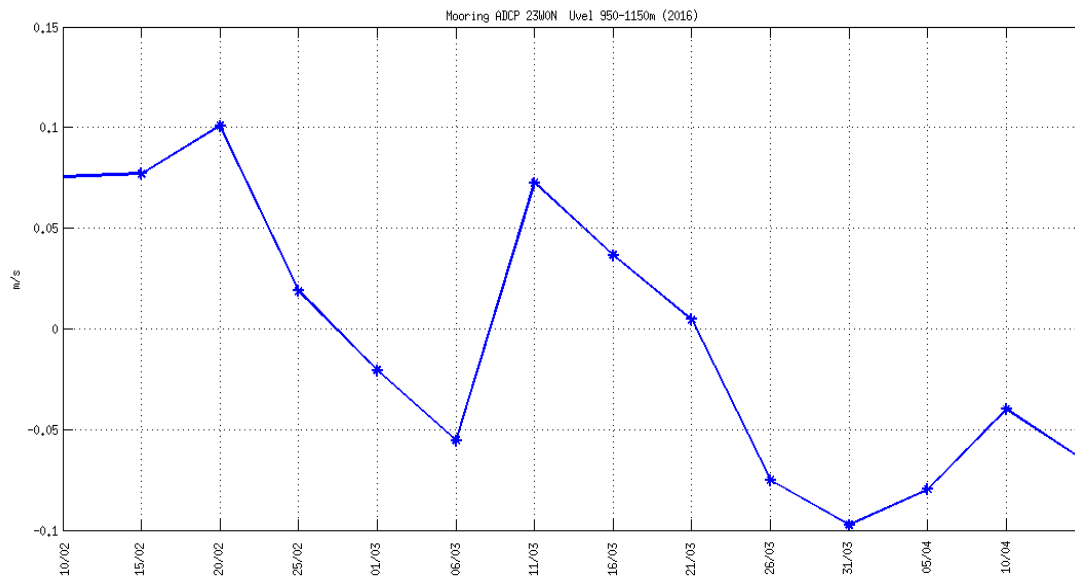


Figure 42. Courant zonal moyen mesuré entre 950 et 1150m par le mouillage ADCP 23°W 0°N entre le 10/02/2016 et le 15/04/2016

C. Bouées dérivantes vs mouillages ADCP

Les mesures des courants zonaux par les bouées dérivantes (surface) sont comparées avec celles mesurées par le mouillage ADCP (15m), à 23°W-0°N sur la période 2008 – 2016 (Figure 43) :

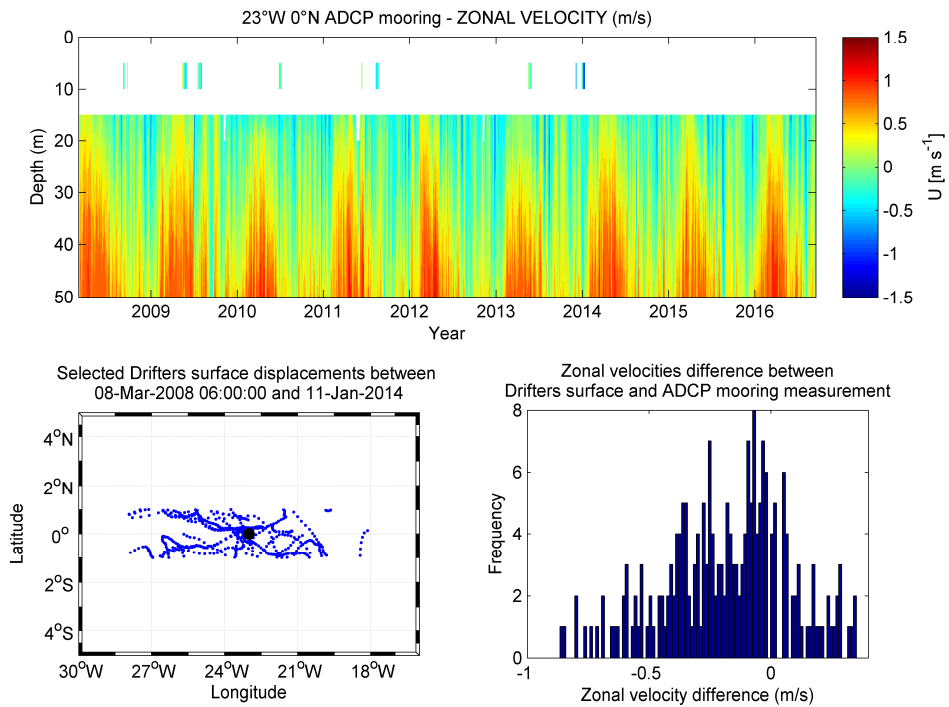


Figure 43: Comparaison des vitesses zonales d'après les données du mouillage 23°W 0°N et d'après les données Drifters autour du point de mouillage (28°W-18°W) (haut). Traces des trajectoires des drifters sélectionnées autour du point du mouillage (bas gauche). Répartition des différences Drifters-ADCP (bas droite).

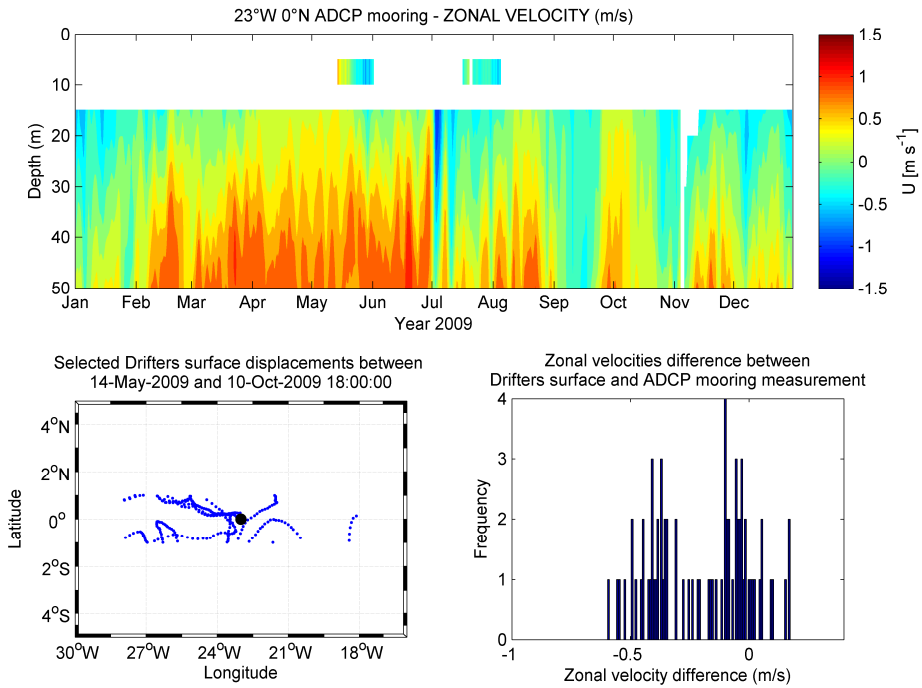


Figure 44 : Idem mais zoom sur l'année 2009.

Le nombre de mesures drifters autour du point de mouillage n'est pas suffisant pour une analyse exhaustive de la cohérence entre les mesures drifters (en surface) et mouillage (à 15m) pour une année donnée. Cependant les mesures disponibles ici en 2009 (Figure 44) sont cohérentes, avec un cisaillement de courant entre la surface et 15 m compris entre 0 et -0.5m/s.

Les mêmes comparaisons ont été effectuées à 10°W-0°N (Figure 45).

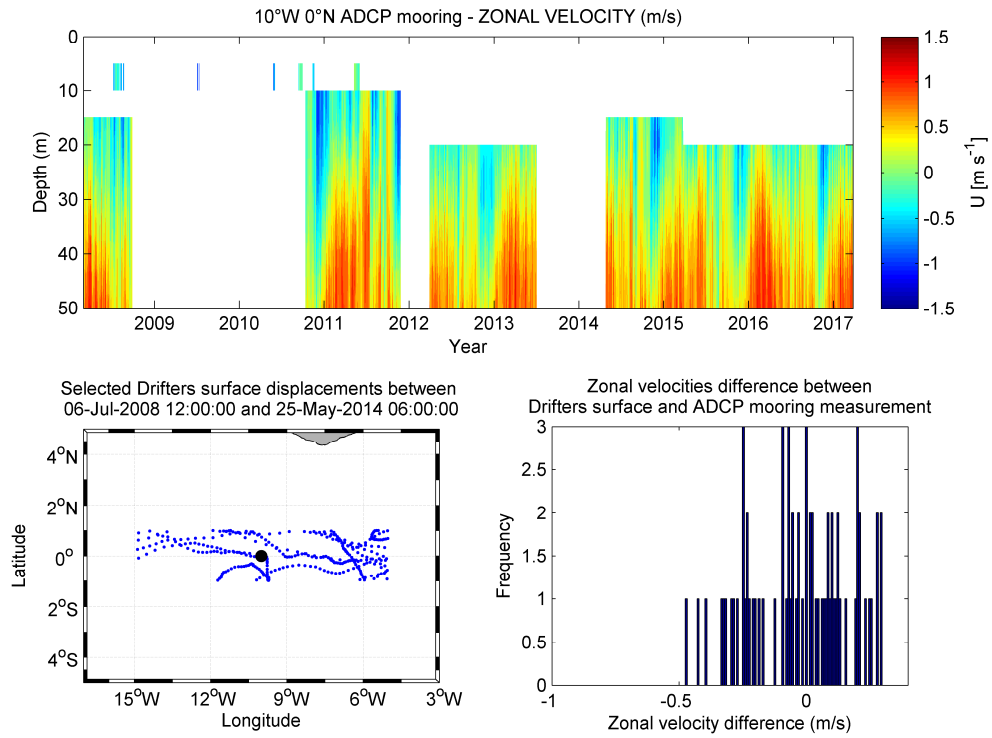


Figure 45. Comparaison des vitesses zonales d'après les données du mouillage à 10°W0°N et d'après les données Drifters autour du mouillage (15°W-5°W) (haut). Trajectoires des drifters sélectionnées autour du point du mouillage (bas gauche). Répartition des différences Drifter-ADCP (bas droite)

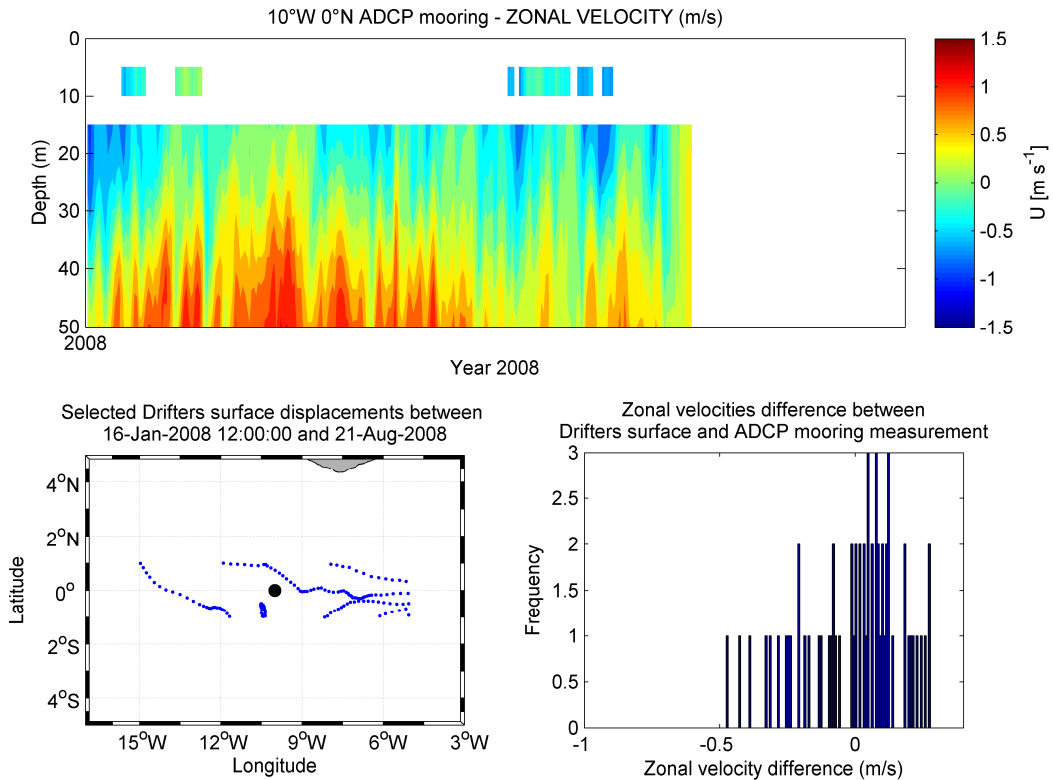


Figure 46 : Idem mais zoom sur l'année 2008.

A 10°W-0°N le cisaillement de courant semble moins prononcé qu'à 23°W-0°N (Figure 45, plot en bas à droite). Le courant à 15m a tendance à être plus fort à 23°W qu'à 10°W. Cependant, les données n'étant pas uniformément réparties par saison, il est difficile d'approfondir l'analyse. La comparaison des mesures drifters avec les données mouillage se fera plutôt à travers l'analyse du cycle saisonnier moyen (voir partie V).

V. Cycle saisonnier

A. De la température de surface

Les températures sont minimums au printemps/été boréal suite à la mise en place de la langue d'eau froide liée à l'intensification de l'upwelling équatorial (Figure 47). Les SST ont des valeurs minimum en Juillet-Août et maximum en Mars-Avril que ce soit d'après les données in-situ (1997-2017) ou simulées par le modèle (1998-2008)³ avec cependant un

³ Pour une description détaillée du modèle voir Herbert et al. (2016).

biais froid ($\sim -1^{\circ}\text{C}$) dans le modèle. Le minimum est plus marqué à 10°W qu'à 23°W , dû notamment à un mélange vertical plus intense induit par le cisaillement entre le Courant Sud-Equatorial (SEC; vers l'ouest) et le Sous-Courant Equatorial à la (SEC; vers l'est) (Voituriez et Herbland, 1977).

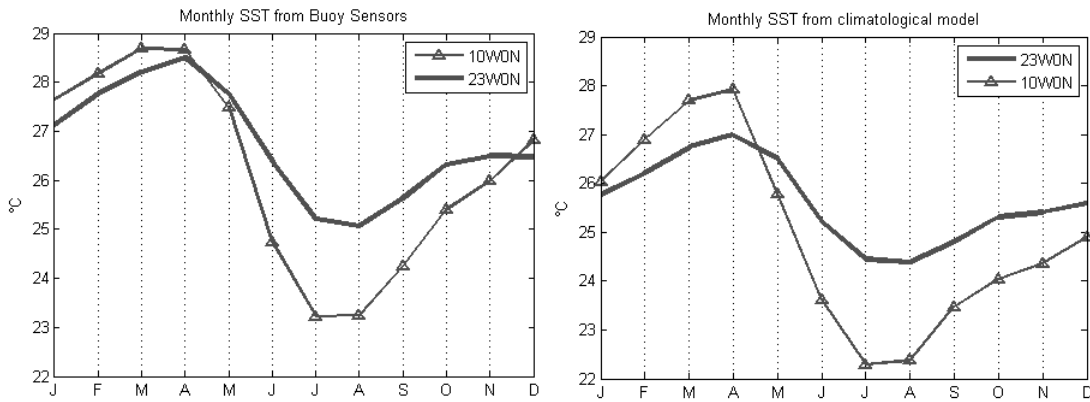


Figure 47. Température de surface mensuelle moyenne aux bouées 23°W et 10°W . A gauche, d'après les capteurs des bouées PIRATA, à droite, d'après le modèle.

B. Du vent

Script:

- `\Matlab\Capteurs_Bouee\wind_buoy_23W10W.m`

Les climatologies mensuelles des vitesses méridiennes de vent à $23^{\circ}\text{W}-0^{\circ}\text{N}$ et $10^{\circ}\text{W}-0^{\circ}\text{N}$ (Figure 48) montrent un renforcement des vents à partir d'avril, associé à la migration de l'ITCZ vers le nord.

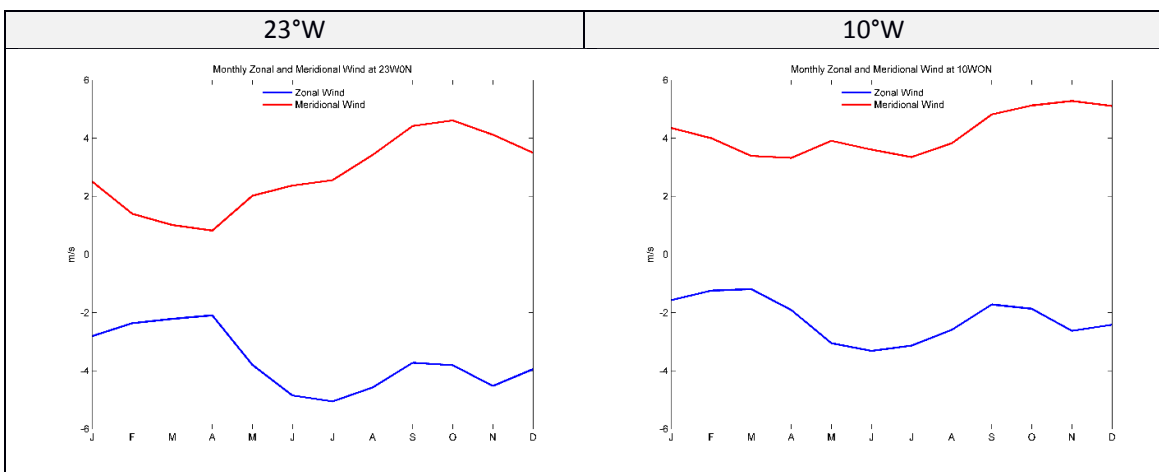


Figure 48. Vitesses zonales et méridiennes mensuelles moyennes du vent en m/s aux bouées 23°W et 10°W

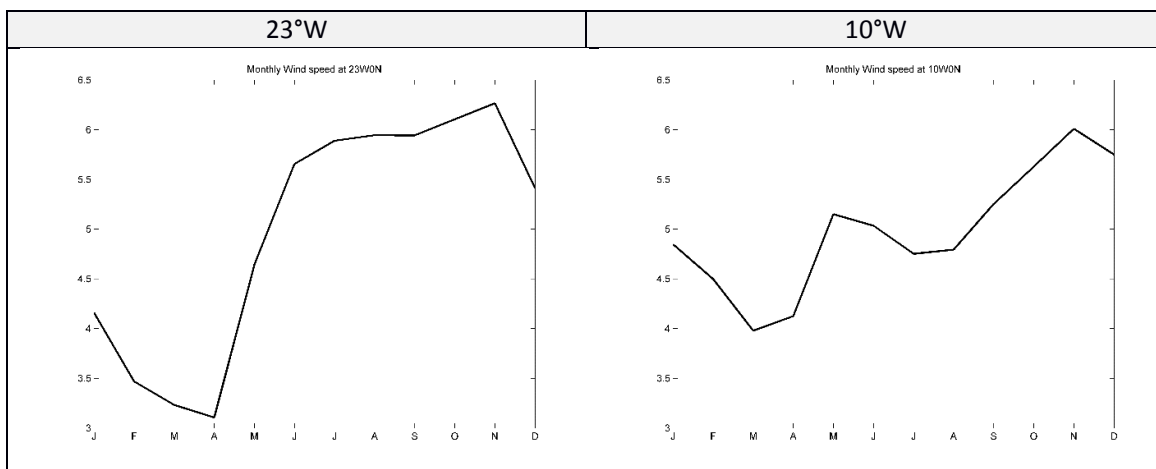


Figure 49. Vitesses mensuelles moyennes du vent en m/s aux bouées 23°W et 10°W

Aux deux sites, la vitesse atteint un minimum en mars et avril. A 10°W, un deuxième minimum apparaît en Juillet-Août (Figure 48 et 49) lié au développement de la langue d'eau froide qui a pour effet de ralentir les vents sus-jacents.

C. Courant de surface

Scripts:

- `\Python\ANDRO\read_andro_surf.py`
- `\Python\ANDRO\hovmoller_andro_surface_velocities.py`

Puisque les courants sont essentiellement zonaux dans la zone d'étude, et vont alternativement vers l'est et vers l'ouest sur l'ensemble du bassin, nous nous sommes principalement focalisés sur la composante zonale pour l'étude du cycle saisonnier.

Les mesures du courant zonal de surface d'après les flotteurs ARGO ont été moyennées afin d'obtenir un cycle saisonnier mensuel autour de l'Équateur (moyenne entre 1°S et 1°N) (Figure 50).

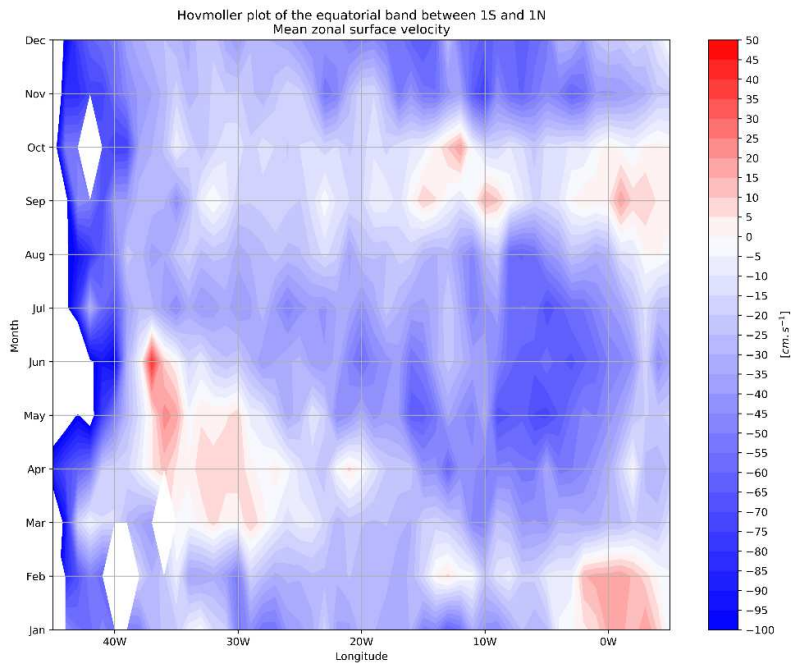


Figure 50. Hovmüller de la vitesse zonale mensuelle moyenne à la surface estimée par la dérive des flotteurs ARGO par degré de longitude sur la bande latitudinale 1°S-1°N

Les courants moyens sont vers l'est en Mars-Juin (Janvier-Février) à l'ouest (l'est) de 15°W et en Septembre-Octobre.

Afin d'avoir une vue plus globale de la variation des courants en surface dans l'ensemble de la région, les cartes présentées en Figure 51 a et b montrent la distribution des courants zonaux moyens de surface par mois d'après les flotteurs ARGO.

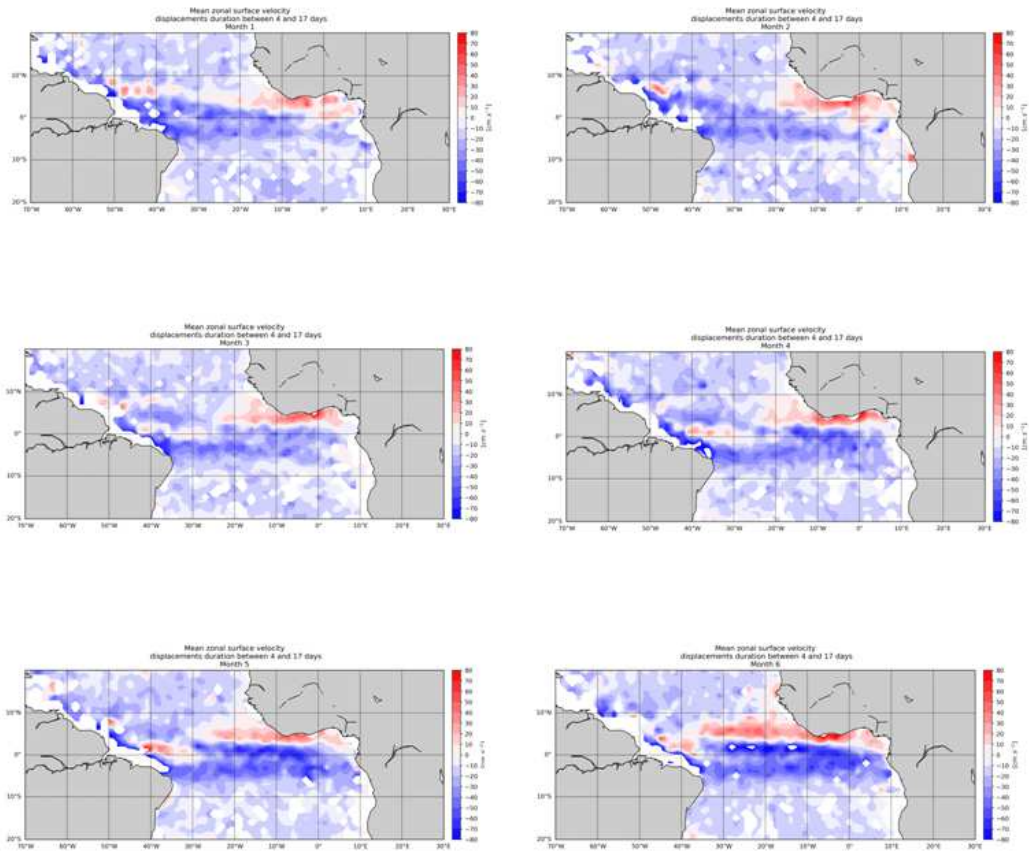


Figure 51a. Cartes mensuelles moyennes des vitesses zonales de surface d'après les données ARGO de Janvier à Juin.

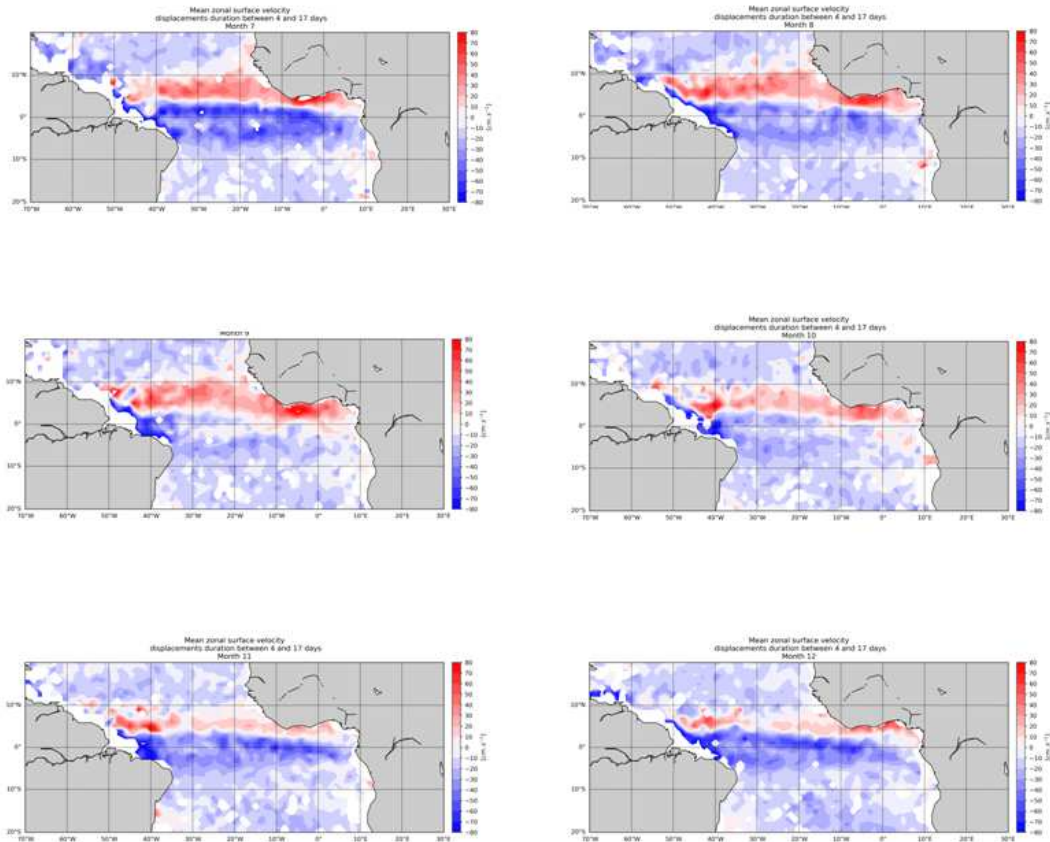


Figure 51b. Cartes mensuelles moyennes des vitesses zonales de surface d'après les données ARGO de Juillet à Décembre.

La distribution des courants zonaux est à relier avec la distribution des vents et la migration de l'ITCZ. Les cartes ci-dessous (Figure 52) sont les moyennes mensuelles du vent d'après la climatologie COADS.

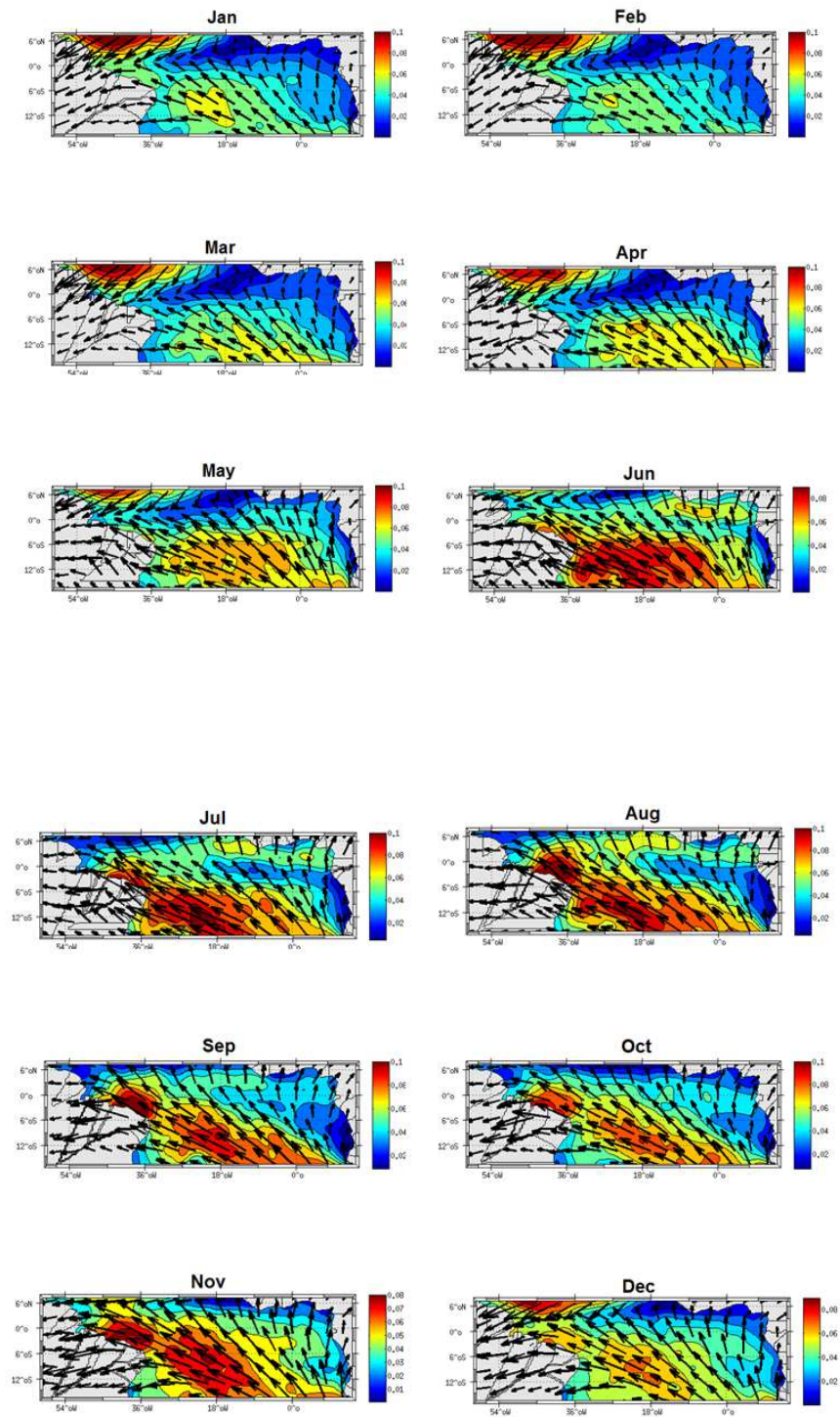


Figure 52. Climatologie mensuelle des vents d'après les champs COADS.

En début d'année les vents du sud génèrent un courant vers l'ouest au sud (SEC) de l'équateur et vers l'est (courant de Guinée) au nord. A l'est, le courant vers l'est se renforce et s'étend vers l'ouest au fur et à mesure que l'ITCZ migre vers le nord (renforcement des vents du sud au nord de l'équateur). A partir d'août-septembre, les SST basses associées à la langue d'eau froide tendent à affaiblir les vents sus-jacents au centre et à l'est, ce qui a pour effet d'affaiblir le courant vers l'ouest. Cette tendance s'accroît par la migration de l'ITCZ vers le sud qui s'accompagne d'un affaiblissement des vents du sud puis d'un renforcement des vents du nord, d'abord à l'ouest.

Les mesures de courant par les flotteurs ARGO à 23°W-0°N et 10°W-0°N sont ensuite comparées aux mesures des mouillages ADCP, des drifters, et des courantomètres (Figure 53).

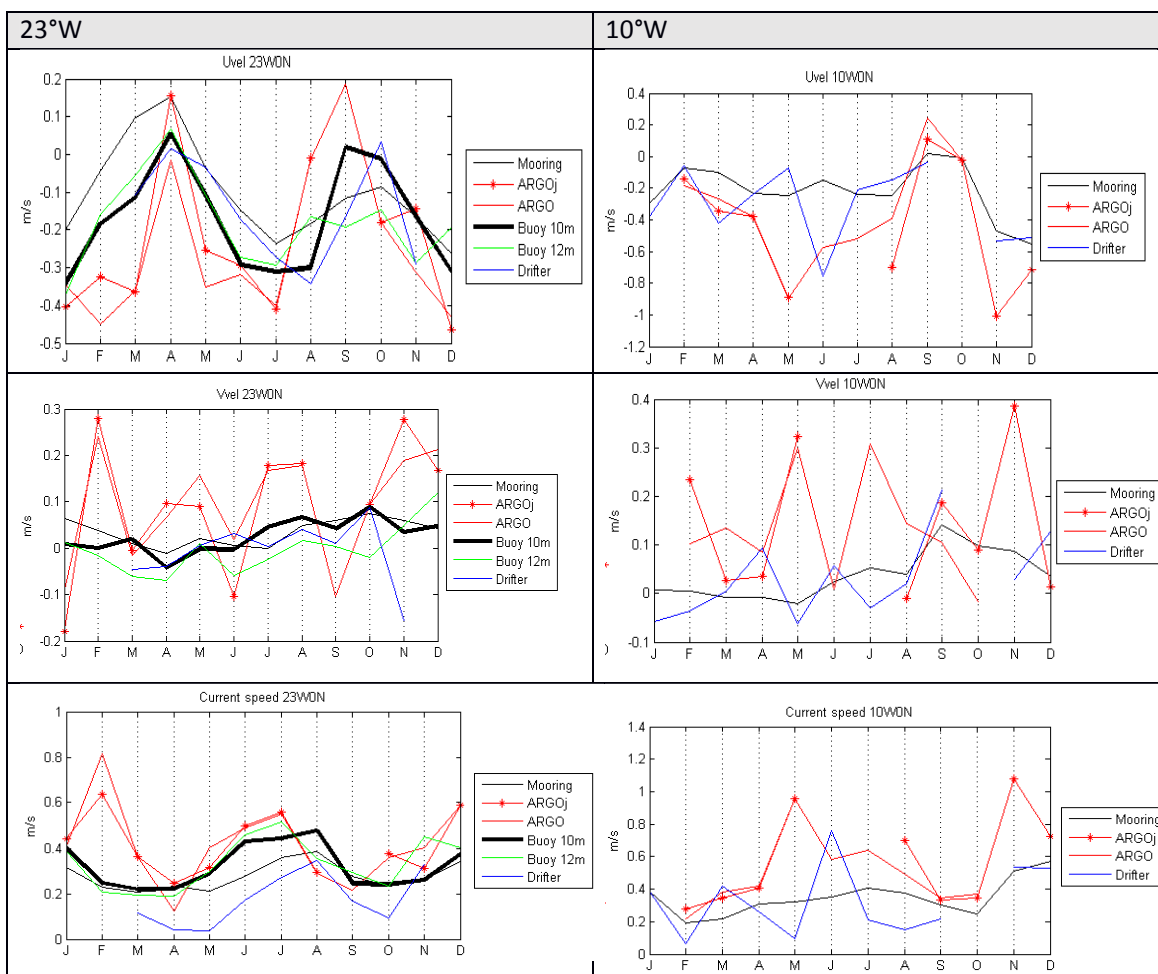


Figure 53. Comparaison des courants mensuels moyens zonaux, méridiens et de la vitesse moyenne, estimés par le mouillage ADCP, les dérives ARGO, les Drifters, et les courantomètres quand ils sont disponibles, à 23°W0°N et 10°W0°N. Les valeurs ont été obtenues après regrillage des données sur une boîte 1°x1° puis moyennées mensuellement et sur la période i) de 08/1997 à 09/2016 pour « ARGOj » (jeu DAC Coriolis+AOML ; après regrillage, choix du point le plus proche du mouillage) ; ii) de 08/1997 à 09/2016 pour « ARGO » (jeu DAC Coriolis uniquement donc moins de données à partir de 2010) ; ; iii) du 28/10/1990 au 01/01/2016 pour « Drifter ». Les valeurs du mouillage et des courantomètres 10m et 12m ont

été obtenues après une moyenne mensuelle pour la période i) 13/12/2001 au 14/09/2016 pour le mouillage ; ii) 29/05/2005 au 13/11/2017 pour le courantomètre 10m et 12m.

Que ce soit à 23°W ou 10°W, le courant zonal vers l'ouest, maximum en été et en Décembre-Janvier, s'affaiblit voire s'inverse en Septembre-Octobre, en accord avec les analyses précédentes (Figure 50 et 51). A 23°W, le même phénomène survient également en Avril. Les courants méridiens sont plus faibles et sont maximums de Juillet à Décembre. A 23°W, les variations moyennes mensuelles du courant zonal estimées d'après les flotteurs ARGO (surface) sont en plutôt bon accord avec les mesures du mouillage (15m) et du courantomètre (10m), avec le plus souvent (sauf en Avril, Aout et Octobre) un écart plus grand avec les données mouillage. Ce qui apparait cohérent puisque la mesure du mouillage est un peu plus éloignée de la surface que la mesure du courantomètre. Les plus grand écarts entre les différents jeux de données à 23°W sont observés en début d'année (p.e : ~0.25 m/s entre Argo et courantomètre 10m en Mars). Ceci suggère un cisaillement plus fort à cette période (voir section E page 47 sur le cisaillement).

On remarque également l'absence de données drifters (p.e en début et fin d 'année à 23°W) aux environs proches du mouillage. Pour la composante méridienne, l'accord entre ARGO/drifter et mouillage/courantomètre est moins évident, avec des écarts atteignant 0.3m/s, que ce soit à 23°W ou à 10°W.

Pour le calcul des moyennes ARGO autour du point du mouillage, il a été décidé de réduire au maximum la taille de la boîte. En effet, le courant s'inverse rapidement au nord du mouillage, ce qui biaise la moyenne lorsque celle-ci est calculée sur une boîte plus large autour du mouillage. Au printemps, l'ITCZ est plus basse, il y a donc plus de variabilité autour du mouillage. En septembre-octobre-novembre, l'ICTZ est plus au nord, le courant est alors plus homogène autour du mouillage.

D. Courant à 15m

De la même façon que précédemment pour les données ARGO (Figure 50), les vitesses zonales mesurées par les Drifters ont été moyennées sur la période afin d'obtenir un cycle saisonnier mensuel autour de l'Equateur (1°S-1° N) (Figure 54).

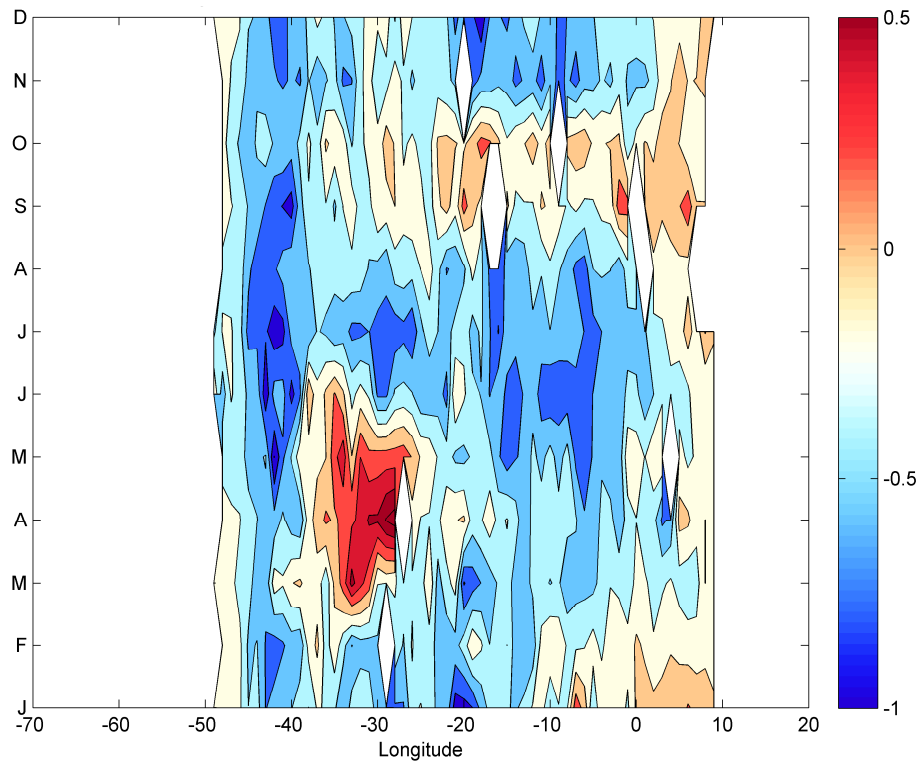


Figure 54. Hovmüller de la vitesse zonale mensuelle moyenne à 15m estimée par les bouées dérivantes par degré de longitude sur la bande latitudinale 1°S-1°N

On retrouve un pattern similaire à celui obtenu d'après les mesures ARGO avec un courant qui s'inverse vers l'est au printemps et en automne à l'ouest de 20°W et en début d'année à l'est de 10°W. La distribution des courants zonaux moyens sur l'ensemble de la zone est ensuite présentée en Figure 55a et 55b et peut être comparée à l'équivalent obtenu pour les données ARGO (Figure 53).

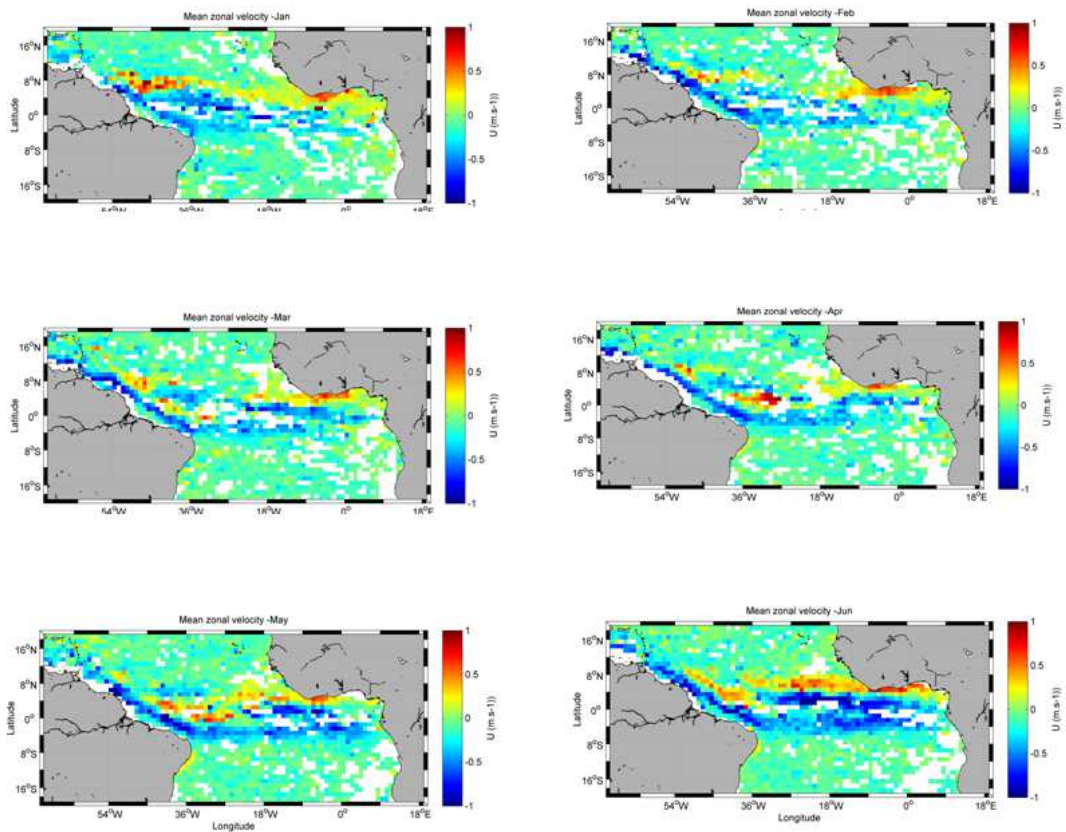


Figure 55a : Cartes mensuelles de la composante zonale du courant moyen à 15m d'après les données Drifters, de Janvier à Juin.

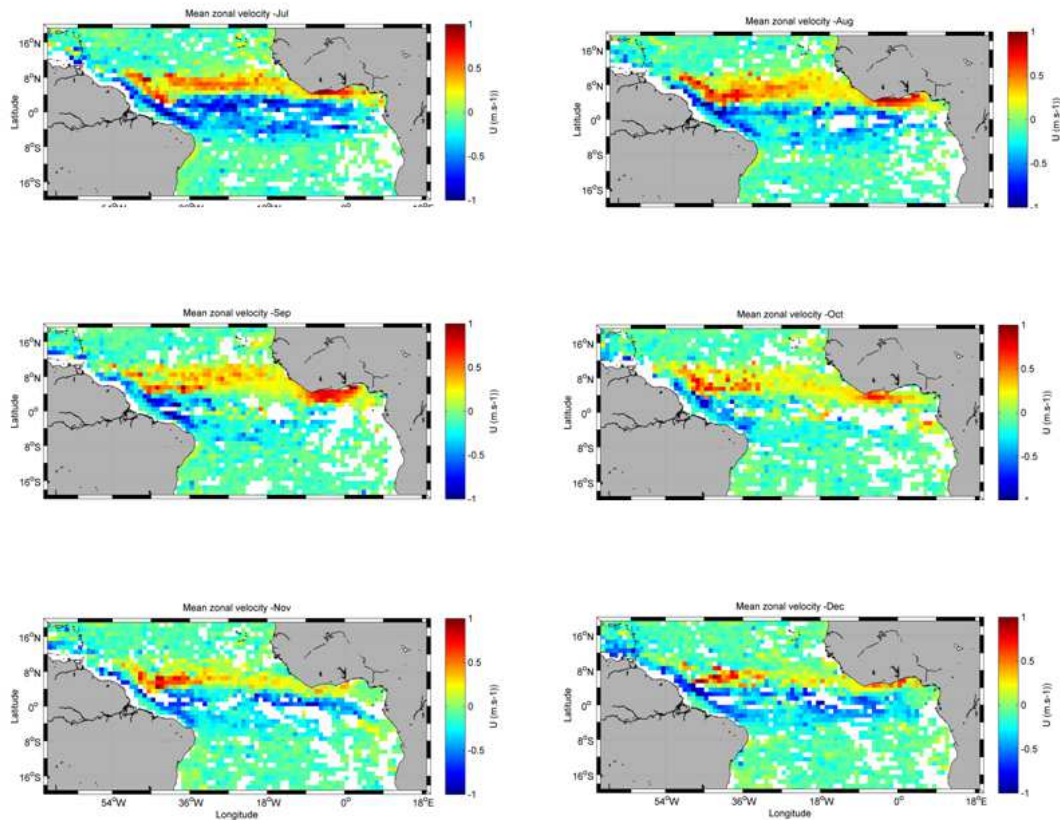


Figure 55b : Cartes mensuelles de la composante zonale du courant moyen à 15m d'après les données Drifters, de Juillet à Décembre.

On peut remarquer que le courant nord du Brésil (NBC) est mieux représenté dans les données drifters. La variation de son intensité est plus nettement visible que dans les données ARGO. On retrouve également le courant vers l'est (NECC) bien visible entre 3°N et 10°N de Juin à Décembre ; le courant de Guinée (CG) qui longe vers l'est la côte nord du Golfe de Guinée ; le courant vers l'ouest, le SEC, et ses différentes branches de part et d'autre de l'équateur (nSEC, cSEC, sSEC), avec un affaiblissement juste à l'équateur dû à la présence du courant vers l'est sous-jacent (EUC).

E. Cisaillement de courant de surface-subsurface

Les cartes de différences de courant zonal moyen mensuel entre les drifters (15m) et les flotteurs ARGO (surface) permettent de montrer les variations saisonnières moyennes du cisaillement (Figure 56a et 56b).

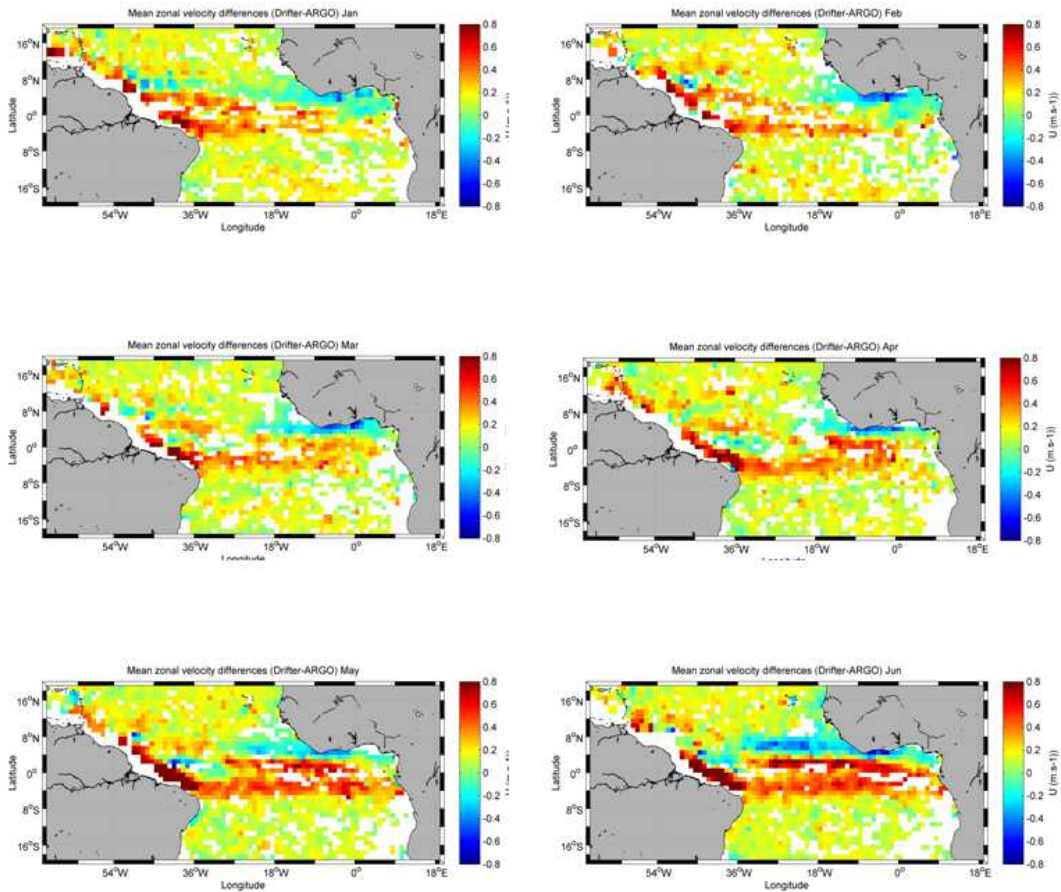


Figure 56a : Différence de vitesses zonales moyennes par cellule de $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ de janvier à Juin entre les vitesses zonales estimées à 15m par les bouées dérivantes et les profileurs ARGO en surface.

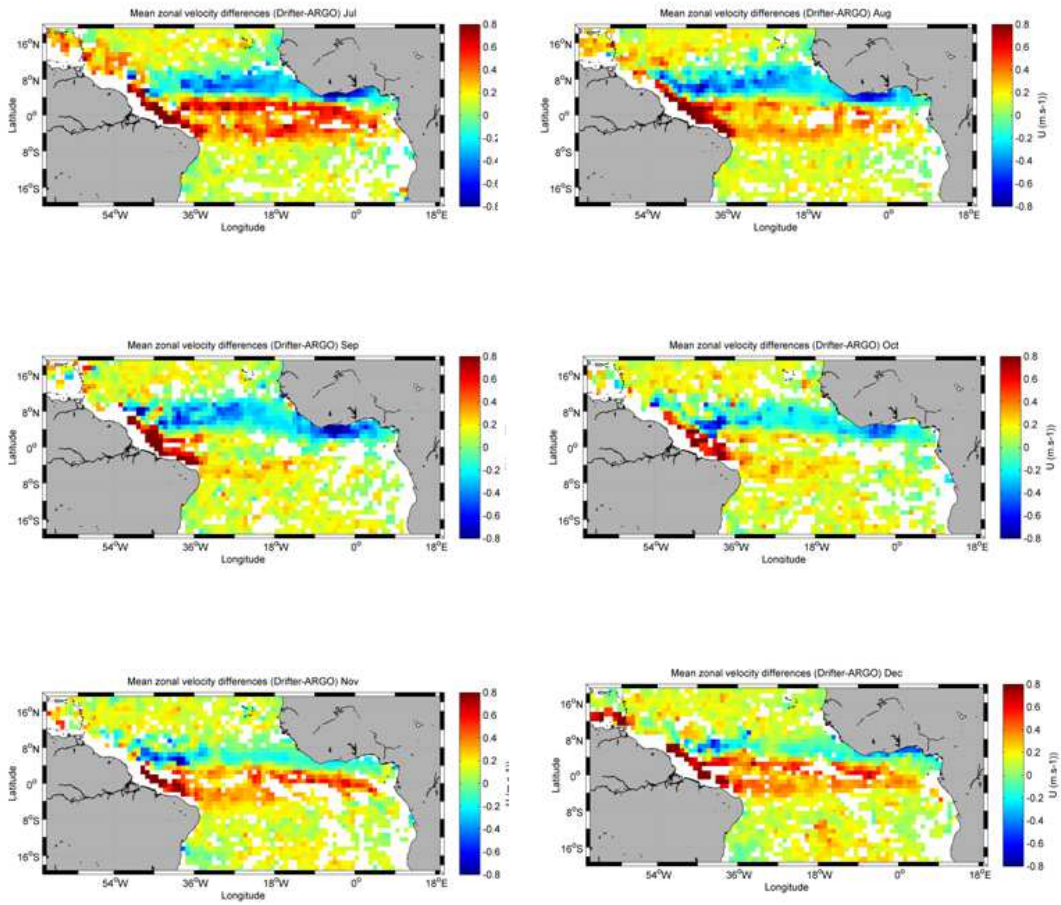


Figure 56b : Différence de vitesses zonales moyennes par cellule de $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ de juillet à décembre entre les vitesses zonales estimées à 15m par les bouées dérivantes et les profileurs ARGO en surface.

On peut noter un cisaillement maximal positif de part et d'autre de l'équateur au niveau du SEC (courant vers l'ouest moins fort à 15m qu'en surface) et négatif au niveau de GC et du NECC (courant vers l'est plus fort à 15m qu'en surface).

Afin de mieux comprendre la distribution spatiale du cisaillement, la Figure 57a et b présente l'équivalent pour le modèle.

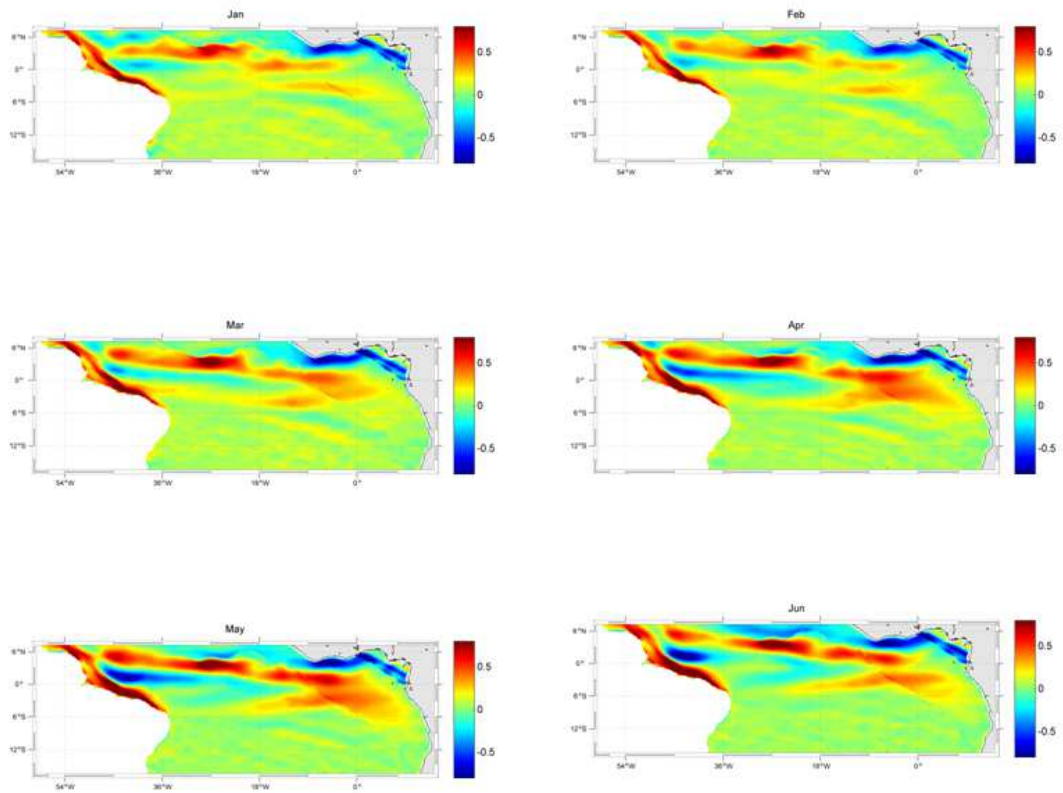


Figure 57a : Différences des vitesses zonales moyennes de janvier à juin entre les vitesses à 15m et en surface d'après le modèle.

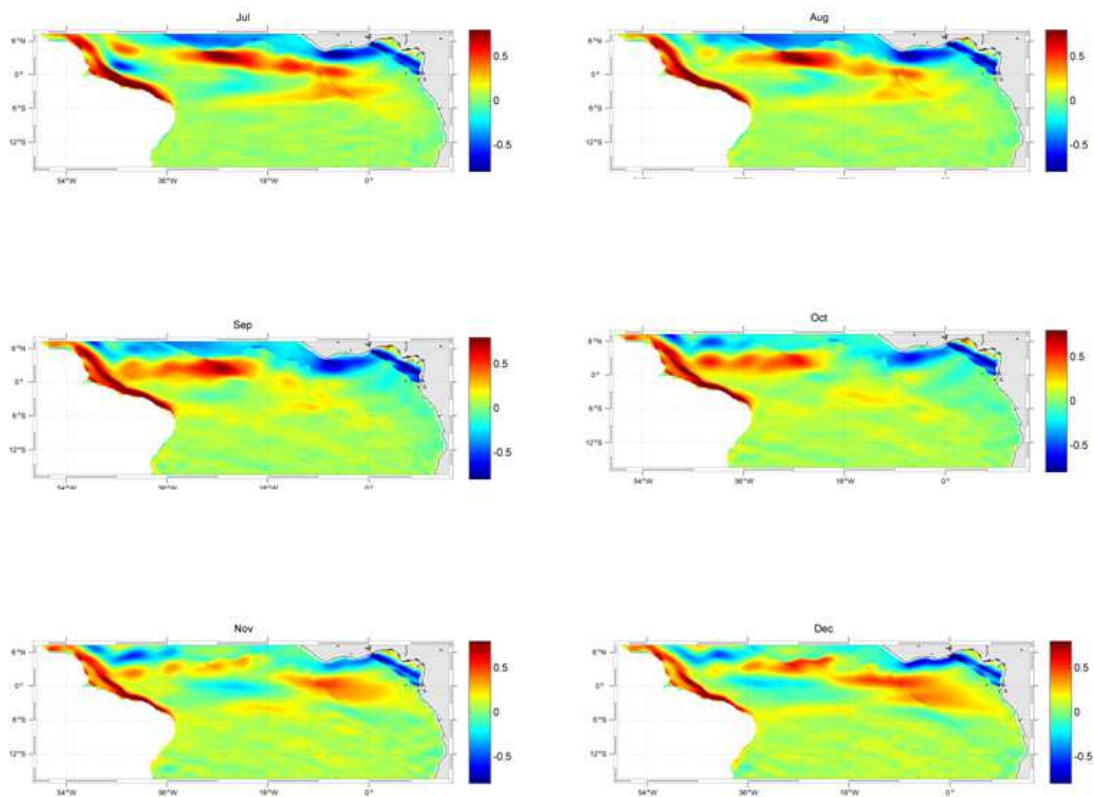


Figure 57b : Différences des vitesses zonales moyennes de juillet à décembre entre les vitesses à 15m et en surface d'après le modèle.

Afin d'effectuer une comparaison plus précise entre données et modèle, on effectue un zoom sur 4°S-4°N pour le mois de Mars (Figure 58) (pour l'équivalent pour d'autres mois, voir en Annexe).

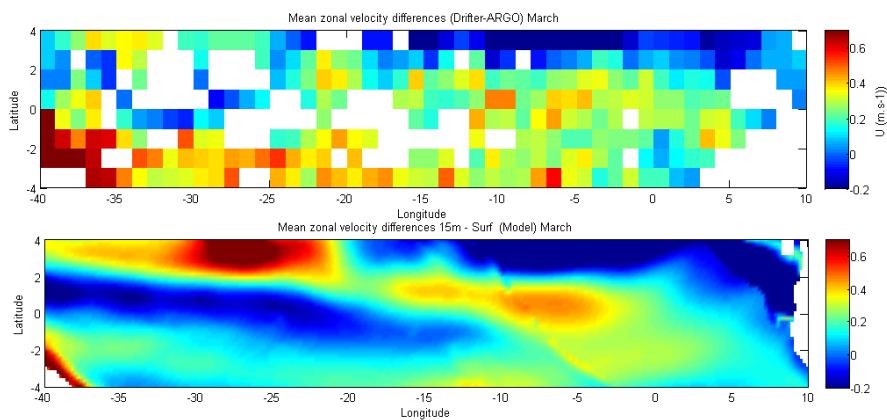


Figure 58. Différence entre le courant moyen zonal à 15m d'après les driflers et le courant en surface mesuré par les flotteurs ARGO de 4°S à 4°N (haut) et l'équivalent d'après le modèle (bas), pour le mois de Mars.

Le maximum de cisaillement (>0) vers 3-4°N à l'ouest de 20°W simulé par le modèle n'est pas aussi marqué dans les données. De même, le maximum au sud de l'équateur dans la même région observé dans les données n'est pas aussi fort dans le modèle. Cependant, la bande de cisaillement (>0) qui s'incline de 3°N jusqu'à l'équateur entre 40°W et 5°W semble se retrouver dans les données. De même pour le cisaillement négatif au nord de l'équateur à l'est de 20°W et à l'ouest de 25°W.

Puisque l'accord entre modèle et données est plutôt bon, on peut analyser la distribution verticale des courants qui explique le cisaillement observé dans le modèle. On prend ici l'exemple à 23°W et 10°W (Figure 59).

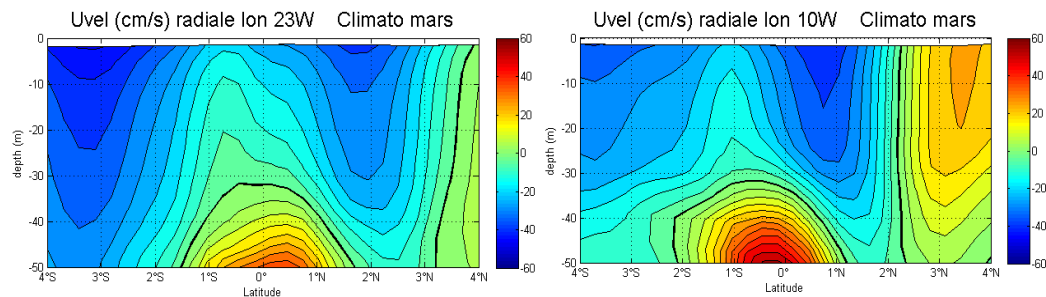


Figure 59. Section verticale du courant zonal à 23°W et 10°W de 4S à 4°N d'après le modèle pour le mois de mars (moyenne effectuée sur la période 1998-2008).

A 10°W la veine vers l'est au nord de l'équateur est plus proche de l'équateur qu'à 23°W et explique le cisaillement négatif. A 23°W le courant vers l'ouest est moins fort et plus éloigné de l'équateur dû à une veine vers l'est en subsurface à l'équateur entre 1°S et 1°N, ce qui crée un cisaillement du courant plus éloigné de l'équateur à 23°W qu'à 10°W.

Ainsi, le cisaillement maximum observé de part et d'autre de l'équateur à l'ouest de 20°W, serait lié à l'éloignement du SEC par rapport à l'équateur ainsi à la présence d'une veine de courant vers l'est en subsurface (d'ailleurs bien visible sur les cartes mensuelles ARGO et Drifter).

F. Courant de 15 à 350m

Les données mouillage permettent d'obtenir un cycle saisonnier mensuel moyen de 15 à 350m à 23°W et 10°W (Figure 60). A 23°W, l'EUC est plus proche de la surface aux mois de mars-avril et s'approfondit de Juillet à Septembre. A 10°W-0°N le courant de surface vers l'ouest est plus fort à l'équateur qu'à 23°W-0°N (n.b : en accord avec les résultats modèle d'au-dessus). Comme observé précédemment dans les mesures ARGO et Drifters, en Septembre-Octobre le courant de surface s'inverse vers l'est pour revenir vers l'ouest en Novembre.

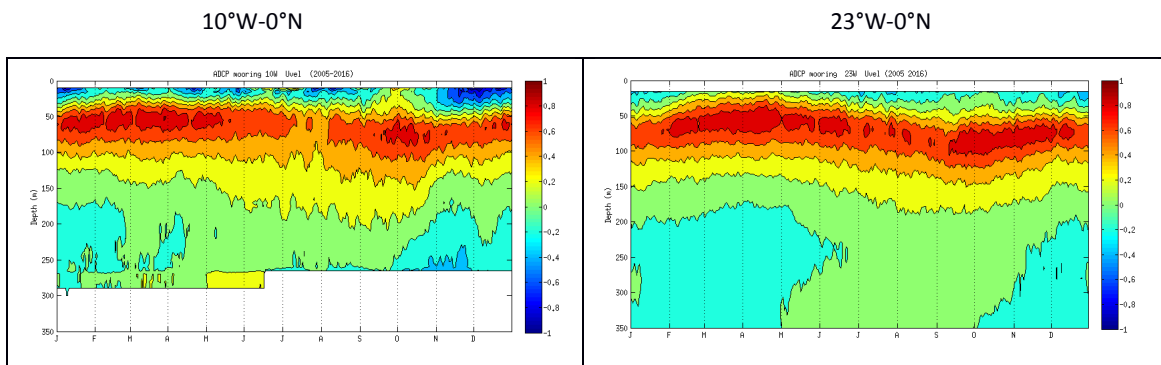


Figure 60. Courants zonaux mensuels moyens entre 15 et 350m aux mouillages ADCP 10°W-0°N et 23°W- 0°N

G. Courant de profondeur 950-1150m

Scripts:

- `\Python\ANDRO\read_andro_deep.py`
- `\Python\ANDRO\hovmoller_andro_deep_velocities.py`

A l'Equateur, aux points 23°W et 10°W, le cycle saisonnier est fort avec des vitesses zonales vers l'est en début et fin d'année pouvant atteindre 15 cm/s et qui tendent vers l'ouest le reste de l'année (Figure 61). Les patterns observés se retrouvent dans Ollitrault and Colin de Verdière (2014).

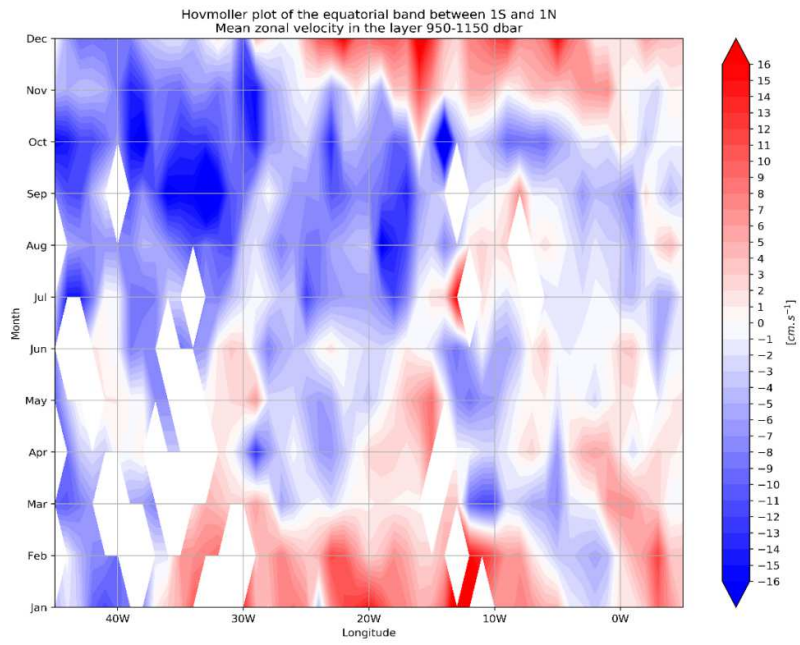


Figure 61. Hovmöller de la vitesse zonale mensuelle moyenne entre 950 et 1150 dbar estimée par la dérive des flotteurs ARGO par degré de longitude sur la bande latitudinale 1°S-1°N

De la même façon que pour les mesures ARGO surface, la Figure 62a et b présente les cartes mensuelles du courant zonal moyen entre 950 et 1150 dbar.

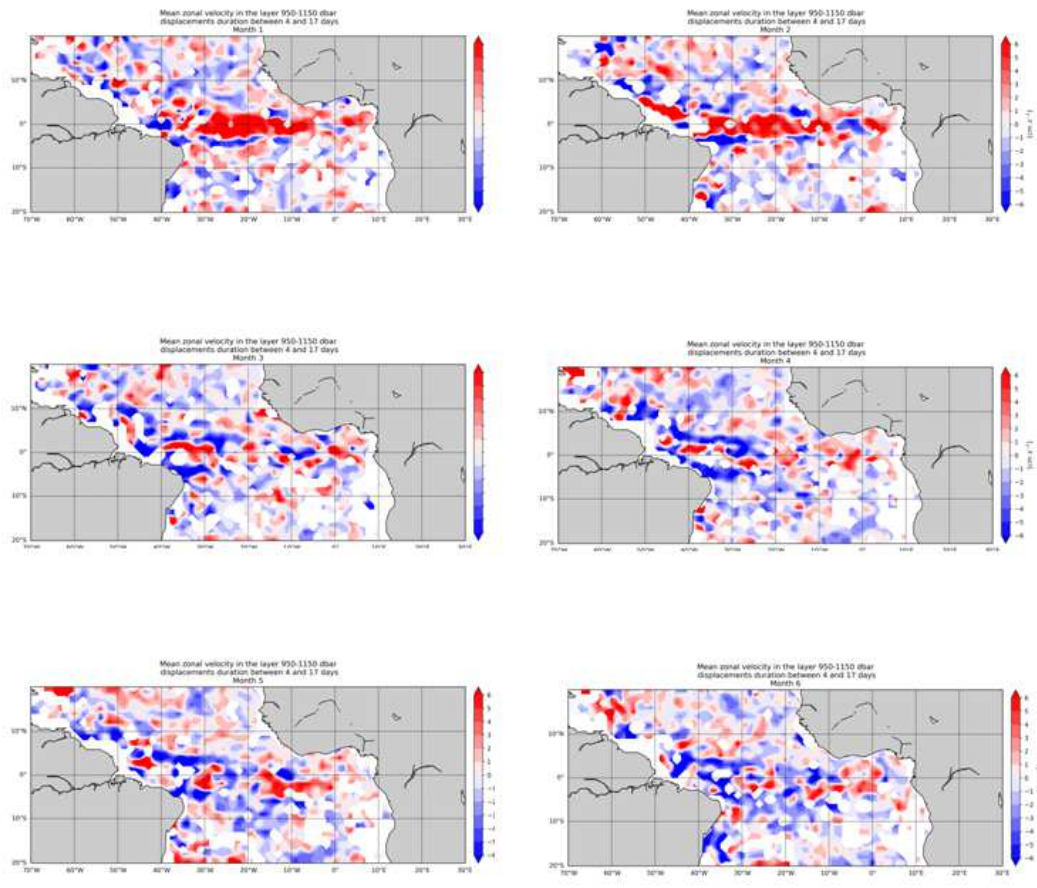


Figure 62a : Cartes mensuelles des vitesses zonales moyennes entre 950 et 1150 dbar d'après les données ARGO, de Janvier à Juin.

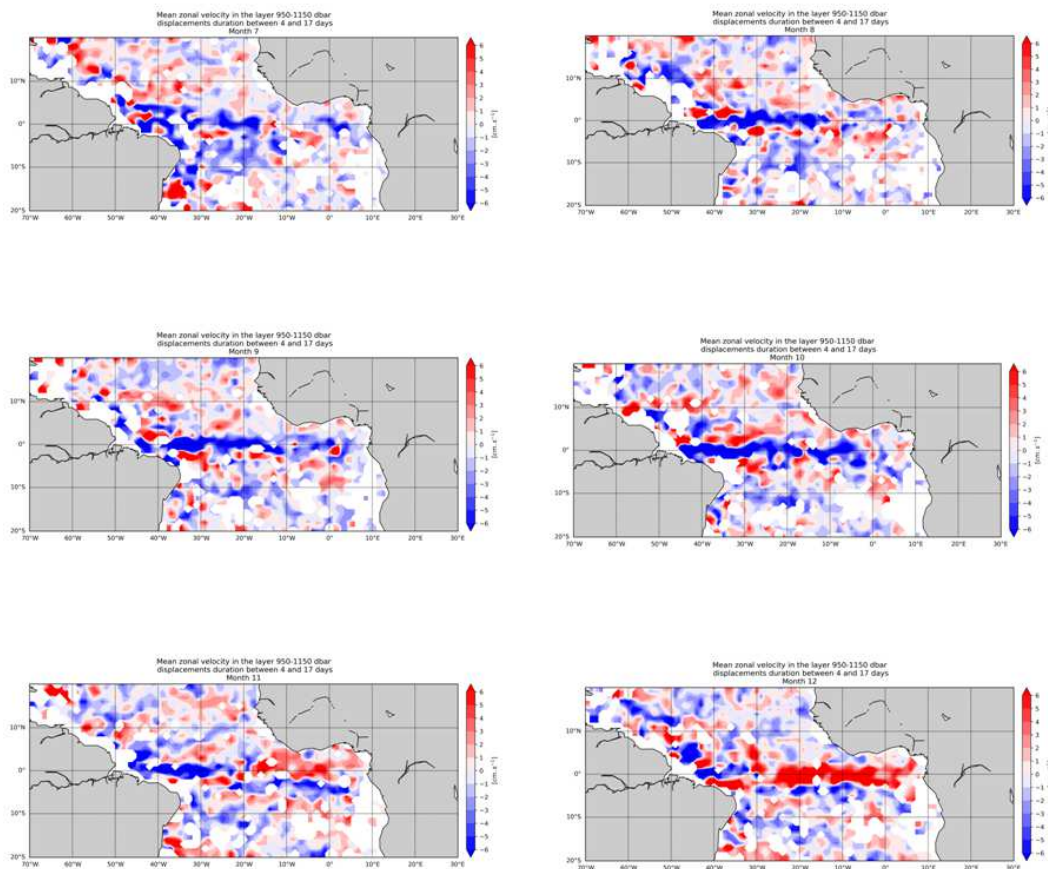


Figure 62b : Cartes mensuelles des vitesses zonales moyennes entre 950 et 1150 dbar d'après les données ARGO, de Juillet à Décembre.

La distribution des courants zonaux mensuels moyens est beaucoup moins claire en profondeur qu'en surface. On peut noter qu'à l'équateur, le courant vers l'est s'installe de Novembre à Février et semble s'établir d'est en ouest, alors que le courant vers l'ouest présent d'Aout à Octobre semble lui s'établir plutôt d'ouest en est. Le cycle saisonnier mensuel moyen à 23°W obtenu à partir des données ARGO est comparé à celui issu des données du mouillage GEOMAR (Figure 63).

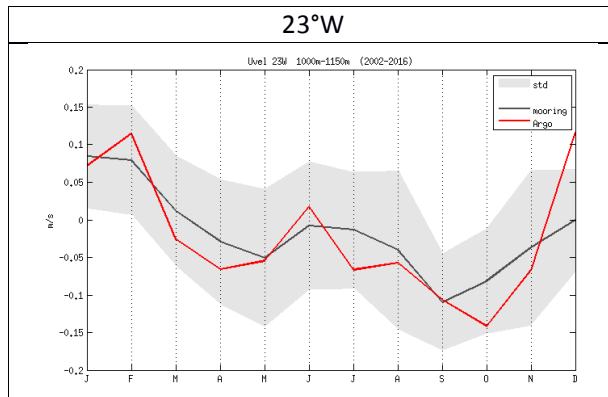
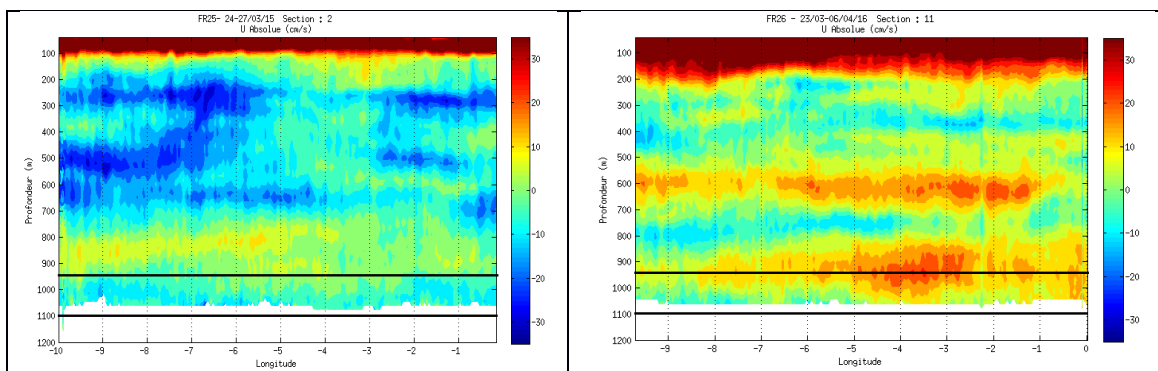


Figure 63. Courant zonal mensuel moyen entre 1000 et 1150m estimé par ADCP et dérives des flotteurs ARGO autour du mouillage 23°W. La bande grisée donne une indication de la variabilité interannuelle.

L'accord entre les deux jeux de données est assez bon, avec un courant vers l'est de Novembre à Mars et vers l'ouest au printemps et automne boréal. En été, le courant vers l'ouest s'affaiblit voire s'inverse légèrement vers l'est. On remarque cependant une forte variabilité interannuelle.

VI. Variabilité interannuelle

Lors des dernières campagnes PIRATA (PIRATA 25-26-27), l'utilisation d'un SADCPC 38kHz a permis la mesure des courants de fond (jusqu'à ~1200m). Puisque les campagnes ont été réalisées à la même période (Mars-Avril), et que certaines sections se répètent d'une campagne à l'autre, les données ainsi acquises peuvent donner des indications sur la variabilité interannuelle des courants de surface et de fond. La Figure 64 ci-dessous montre le courant zonal mesuré le long de l'équateur durant les 3 campagnes.



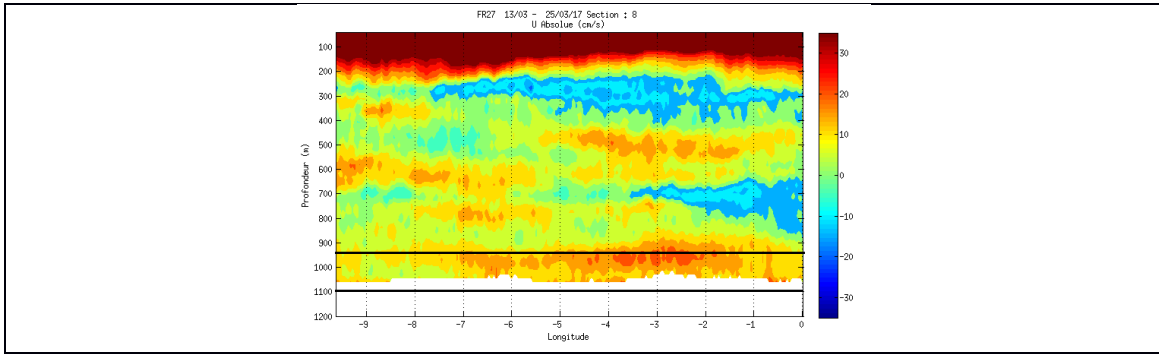


Figure 64. Position de la veine de courant de profondeur observée par S-ADCP à l'Equateur de 10°W à 0°N durant les campagnes PIRATA FR25, 26 et 27

On peut noter une forte variabilité dans la distribution des courants et leur intensité d'une année à l'autre. La veine de courant vers l'est située entre 800 et 950m en 2015 (PIRATA-FR25), se situe entre 850 et 1000m l'année qui suit (PIRATA-FR26), puis 950 et 1050 m en 2017.

En effet, l'analyse des données du mouillage ADCP 23°W-0°N (Figure 65) montre une propagation d'ondes de la subsurface vers le fond avec une période proche de 5 ans.

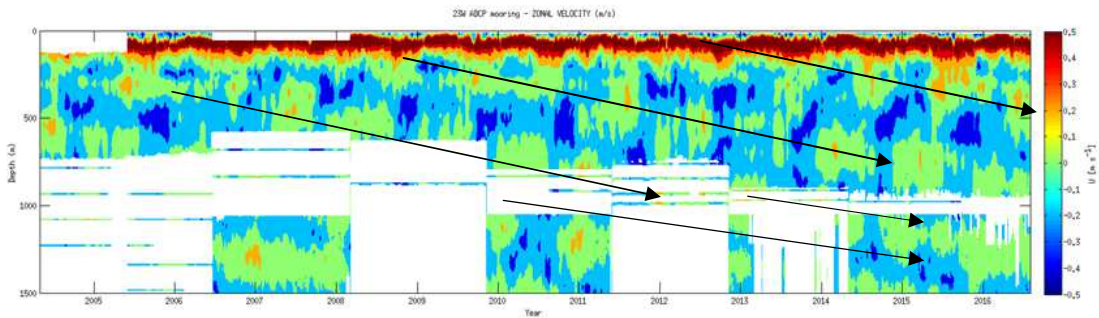


Figure 65. Vitesses zonales (m/s) enregistrées par le mouillage ADCP 23°W-0°N entre 2004 et 2016

Ainsi, pour un calcul plus précis des courants moyens saisonniers en profondeur, il faudrait tenir compte de la variabilité interannuelle et de la période de propagation de l'onde vers le fond.

VII. Conclusion/Discussion

A. Lacunes et complémentarité des capteurs

Capteur	Spatial	Temporel
Mouillage	Pas de données dans la couche de surface	+++
S-ADCP	++	On rate le cycle saisonnier
ARGO	+++	Le réseau Argo/Drifters ne résout pas toute la structure des jets/tourbillons en un mois donné.
Drifters	+++	
Courantomètre	Un seul capteur à 23°W	+++ mais bcp de missing data pour la mesure à 12m

L'analyse de la répartition spatiale des données Argo et Drifters a révélé un manque de données dans la région sud-est. Des données sont également manquantes dans la région équatoriale pour les données Drifters. Du fait des couvertures spatiales et temporelles différentes selon les jeux de données, des biais apparaissent lors des comparaisons entre les différents types de données dus à la forte variabilité temporelle et spatiale des courants. La complémentarité entre données S-ADCP et Argo est plus difficile à évaluer du fait de la qualité instantanée de la mesure S-ADCP. La variabilité temporelle des courants étant importante à l'échelle de quelques jours, la comparaison avec une mesure Argo moyennée spatialement et temporellement n'est pas forcément optimale. A noter également que le mouillage à 23°W-0°N se situe dans une zone « charnière » c'est à dire proche du point d'inflexion de l'ITCZ en hiver boréal ce qui a une incidence sur la distribution et la variabilité des courants autour du point du mouillage.

B. Etude du cycle saisonnier en surface

La couverture spatiale et temporelle des données ARGO et drifters permet une bonne estimation du cycle saisonnier moyen en surface et à 15m sur l'ensemble de la zone. Ce dernier est étroitement lié à la variation des vents qui accompagne la migration de l'ITCZ. Le calcul des différences entre les données Drifters (15m) et les données ARGO (surface) a également permis d'obtenir des cartes mensuelles moyennes du cisaillement des courants zonaux. L'analyse a montré que le cisaillement était maximum de part et d'autre de l'équateur lié à la présence des veines nord et sud du SEC, plus proches de l'équateur à l'est de 20°W. A l'équateur, à l'ouest de 20°W, le cisaillement est maximal en début d'année. En effet, la comparaison du cycle saisonnier moyen d'après les données ARGO et les données de subsurface (Drifter, mouillage ADCP, courantomètre) à 23°W a révélé une plus faible corrélation entre les différents jeux de données en début d'année. Le cisaillement à l'ouest de 20°W diminue ensuite du fait de la mise en place d'une veine de surface vers l'est à l'équateur à partir de Mars à Juin, qui repousse légèrement le nSEC vers le nord. Dans cette étude, nous nous sommes concentrés sur le courant zonal qui est la composante

dominante dans la région, mais une analyse des courants méridiens serait également à faire (mise en évidence des recirculations, courant Benguela, du Brésil...etc). Nous avons également focalisé notre attention sur la partie à l'ouest de 10°W. Ce serait également intéressant de se pencher sur la dynamique à l'est de 10°W.

C. Etude du cycle saisonnier en profondeur

L'analyse du cycle saisonnier moyen en profondeur (autour de 1000m) a été possible grâce aux données ARGO et données S-ADCP 38kHz. Les mesures Argo permettent d'obtenir des cartes moyennes mensuelles de la répartition des courants à ces profondeurs et mettent en évidence une forte variabilité spatiale des courants dans la région. Le cycle saisonnier moyen estimé par les flotteurs ARGO est en bon accord avec celui estimé d'après les mesures au mouillage ADCP à 23°W. L'analyse des données S-ADCP 38kHz a mis en évidence la forte variabilité interannuelle des courants à ces profondeurs, qui s'explique par la propagation d'ondes de la surface vers le fond. L'analyse du cycle saisonnier moyen à une tranche de profondeur donnée et sur une période « aléatoire » ne permet donc pas une analyse précise de la distribution et la variabilité de ces courants. Malheureusement les données S-ADCP en profondeur ne sont disponibles que depuis 2015. Les campagnes PIRATA à venir permettront une meilleure analyse des courants de fond.

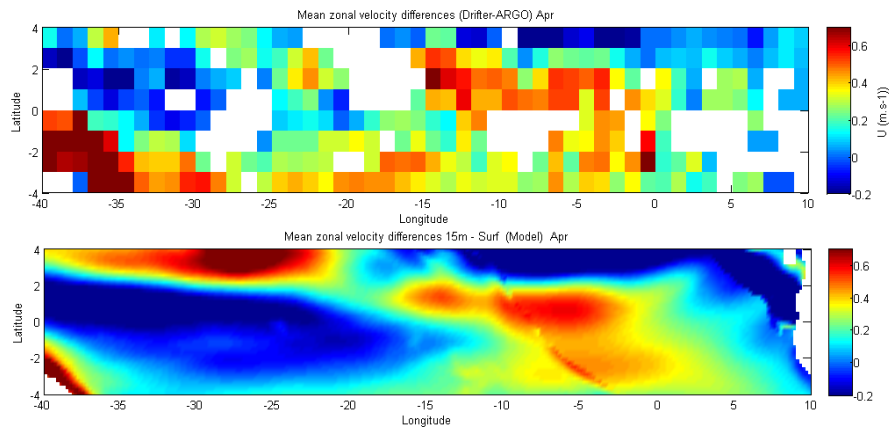
VIII. Bibliographie

- Brandt, P., and Eden, C. (2005). Annual cycle and interannual variability of the mid-depth tropical Atlantic Ocean. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers* 52, 199–219.
- Cravatte, S., Kessler, W.S., Marin, F. (2012). Intermediate Zonal Jet in the Tropical Pacific Ocean Observed by Argo floats. *J. Phys. Oceanogr.*, 42, 1475–1485, doi:10.1175/JPO-D-11-0206.1
- Cravatte, S., Kestenare, E., Marin, F., Dutrieux, P., Firing, E. (2017). Subthermocline and Intermediate Zonal Currents in the Tropical Pacific Ocean: Paths and Vertical Structure. *J. Phys. Oceanogr.*, doi: 10.1175/JPO-D-17-0043.1
- Herbert, G., Bourlès, B., Penven, P., Grelet, J. (2016). New insight on the upper layer circulation north of the Gulf of Guinea. *J. of Geophys. Res.* doi: 10.1002/2016JC011959.
- Ollitrault, M., and Colin de Verdière, A. (2014). The Ocean General Circulation near 1000-m Depth. *Journal of Physical Oceanography* 44, 384–409.
- Ollitrault, M., and Rannou, J.P. (2013). ANDRO: An Argo-Based Deep Displacement Dataset. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology* 30, 759–788.
- Perez, R.C., Hormann, V., Lumpkin, R., Brandt, P., Johns, W.E., Hernandez, F., Schmid C., Bourlès, B. (2013). Mean meridional currents in the central and eastern equatorial Atlantic. *Clim. Dyn.*, 43, 11, pp 2943-2962.

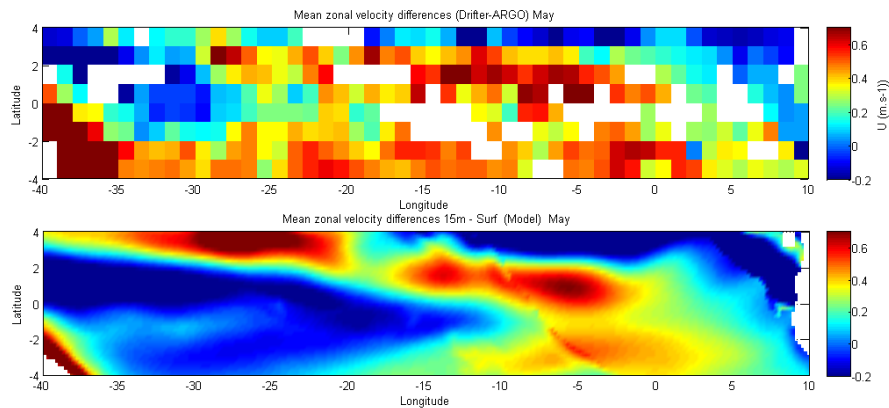
Rosell-Fieschi, M., Pelegrí, J.L., and Gourrion, J. (2015). Zonal jets in the equatorial Atlantic Ocean. *Progress In Oceanography* 130, 1–18.

Voituriez, B., and A. Herbland (1977), Etude de la production pélagique de la zone équatoriale de l'Atlantique à 4°W. Partie I: Relations entre la structure hydrologique et la production primaire, *Cah. ORSTOM Ser. Oceanogr.*, 15, 313–331

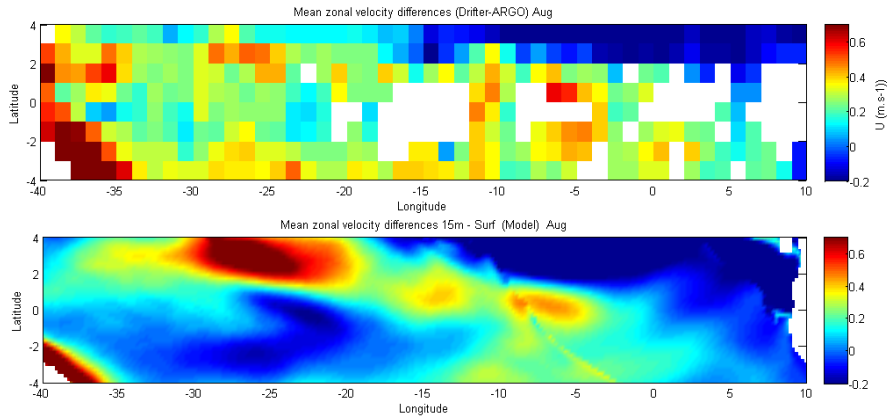
Annexes



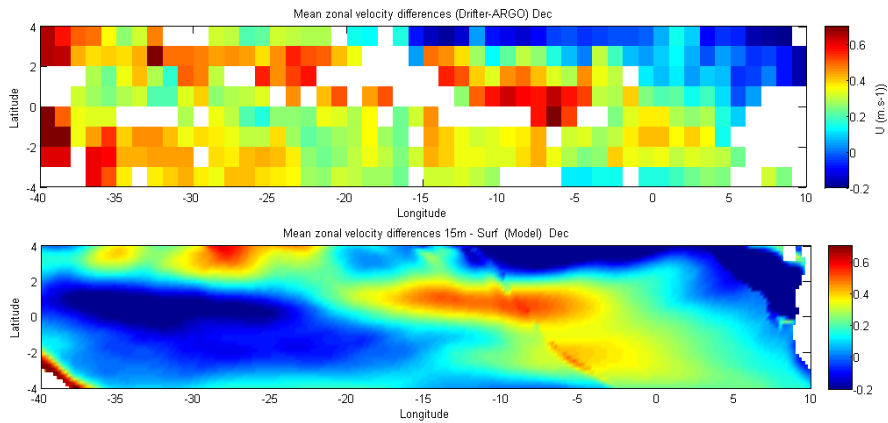
Annexe1. Différence entre le courant moyen zonal à 15m d'après les drifters et le courant en surface mesuré par les flotteurs ARGO de 4°S à 4°N (haut) et l'équivalent d'après le modèle (bas), pour le mois d'Avril.



Annexe2. Différence entre le courant moyen zonal à 15m d'après les drifters et le courant en surface mesuré par les flotteurs ARGO de 4°S à 4°N (haut) et l'équivalent d'après le modèle (bas), pour le mois de Mai.



Annexe 3. Différence entre le courant moyen zonal à 15m d'après les driffters et le courant en surface mesuré par les flotteurs ARGO de 4°S à 4°N (haut) et l'équivalent d'après le modèle (bas), pour le mois d'Aout.



Annexe4. Différence entre le courant moyen zonal à 15m d'après les driffters et le courant en surface mesuré par les flotteurs ARGO de 4°S à 4°N (haut) et l'équivalent d'après le modèle (bas), pour le mois de Décembre.