

Mesures de courants par les profileurs à effet Doppler de coque (S-ADCP)

Gérard ELDIN (LEGOS, Toulouse)

1. Introduction.

Les mesures de courant dans les premières centaines de mètres de l'océan apportent des informations indispensables pour l'étude du transport d'Ekman, composante essentielle du transport de masse et de chaleur (*Hall and Bryden, 1982*), et permettent de décrire précisément la circulation océanique de surface associée à la variabilité climatique dans les tropiques. Pour cela, les profileurs à effet Doppler de coque procurent des profils de courant en continu le long de la route du navire. De plus, ces mesures permettent une intercomparaison avec les mesures du courant effectuées par le profileur Doppler installé sur la bathysonde (L-ADCP, voir chapitre correspondant).

2. Equipement.

Le N.O. Thalassa est équipé de deux S-ADCP fabriqués par la société RDI. Le modèle NB-75, de technologie « narrowband » à fréquence de 75 kHz, offre une portée élevée (~700m) à basse résolution (16 m). Le BB-150 (« broadband », 150 kHz) est à plus courte portée (~200-300 m), avec une résolution supérieure (~ 4-8 m). Pendant toute la durée de la campagne EQUALANT 2000, les deux appareils ont fonctionné simultanément. Les embases émetteur/récepteur sont placées dans des puits remplis d'eau douce, à une profondeur moyenne de 6 m sous la surface, isolées du milieu marin par des fenêtres acoustiques en fibre composite (Kevlar/epoxy). Les unités de pont sont interfacées au gyroscope « scientifique » du navire par liaisons synchro 1/1. Le récepteur GPS Sercel NR-103 de passerelle fournit aux PC d'acquisition des trames de navigation GPGLA par liaisons directes RS-232. Les données d'un récepteur GPS d'attitude Sercel NR-230 et d'une centrale d'attitude MRU sont enregistrées séparément sur le réseau du bord et seront utilisées pour le traitement *a posteriori*.

3. Acquisition.

L'acquisition pour chacun des appareils se fait sur un PC de classe Pentium 100, avec enregistrement des données sur disques réseau. Les configurations d'acquisition sont résumées dans le **Tableau 1**. Avant le départ de la campagne, les tests logiciels des ADCP ont été effectués avec succès.

L'acquisition s'est déroulée sans problème particulier ni interruption notable ; cependant, l'acquisition du BB150 a été suspendue le 05/08/2000 de 10 à 14h pour des essais logiciels. La dérive d'horloge interne des ADCPs a été vérifiée tous les deux jours et est restée négligeable. Les données de positionnement GPS ont aussi été obtenues sans interruption et stockées dans les fichiers « navigation » de Transect. Une différence notable par rapport à EQUALANT 99 a été la disponibilité depuis le 02/05/2000 du signal GPS en précision maximale (suppression du brouillage sélectif par les autorités états-uniennes). Des interruptions de plusieurs heures chaque jour ont été constatées dans l'acquisition des données du GPS d'attitude. En revanche la centrale d'attitude MRU a fonctionné sans interruption.

	NB-75	BB-150
Programme d'acquisition	Transect v. NB 1.82	Transect v. BB 3.04
Longueur de « bin »	16 m	4 m
Longueur de « pulse »	16 m	n/a
« Blanking interval »	8 m	4 m
Mode d'acquisition	n/a	7
Durée d'ensemble	300 s	300 s
Passage en coordonnées géographiques à chaque « ping »	oui	oui
Corrections roulis/tangage	non	non
Calcul vitesse du son à chaque « ping »	oui	oui
Prof. du premier « bin »	30 m	16 m
Premier profil	25/07/2000 19:39 TU	25/07/2000 19:39 TU
Dernier profil	20/08/2000 06:33 TU	20/08/2000 06:35 TU

Tableau 1 : Caractéristiques d'acquisition des ADCP de coque.

4. Traitement des données.

Le traitement est basé sur le logiciel CODAS-3 (Common Oceanographic Data Access System, version 3), développé à l'Université d'Hawaii (i.e. *Bahr et al.*, 1990). Une partie est effectuée à bord au fur et à mesure de l'acquisition. Après la campagne le traitement est repris et un étalonnage des appareils peut être fait. Les étapes sont identiques pour les deux ADCP :

4.1 Constitution d'une base de données

Les fichiers « processed » issus de Transect sont chargés dans une base de données au format CODAS. Au passage une correction de dérive d'horloge peut être appliquée, elle n'est pas nécessaire ici.

4.2 Vérification des profils relatifs

L' ADCP fournit des profils de vitesse de l'eau relative au navire. Avant de calculer les courants absolus, il convient de vérifier la qualité de ces profils.

La vitesse du son utilisée pour le calcul de l'effet Doppler dépend de la température mesurée au niveau de l'embase et de la valeur de salinité entrée dans le logiciel d'acquisition. Un tracé de cette température (**Figure 1**) permet de vérifier que les valeurs sont correctes.

Les profils peuvent être entachés de diverses erreurs provenant d'un niveau de bruit excessif ou de réflexions sur le fond ou des objets. Des tests statistiques sur les dérivées verticales des vitesses ou d'autres paramètres permettent de détecter, de visualiser et de corriger les profils s'écartant de la moyenne. Pour le NB-75 il arrive souvent que des réflexions sur les appareils mis à l'eau pendant les stations provoquent des pics erronés de

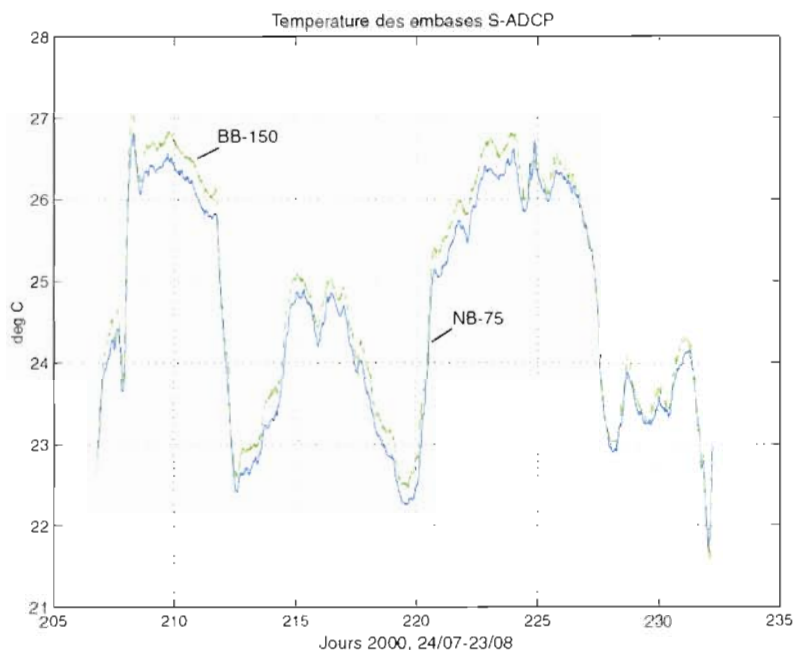


Figure 1 : Séries temporelles des températures des deux embases. Le léger décalage ($<0.5^\circ$) n'est pas significatif pour le calcul de la vitesse du son.

pour BB-150). Ce courant est filtré (filtre de Blackman de $\frac{1}{2}$ largeur 20 mn) et la vitesse du navire par rapport à cette couche lissée est stockée dans la base. Le courant absolu pourra être calculé à chaque niveau à partir de cette vitesse. Le GPS en pleine précision permet de diminuer l'erreur aléatoire sur la vitesse barotrope de chaque profil d'un facteur 5 environ par rapport à précédemment. Cette précision améliorée laisse apparaître des erreurs ponctuelles (liées aux accélérations/décélérations du navire) auparavant noyées dans le bruit GPS : celles dues à des dérives d'horloge de seulement quelques secondes, ou à la différence de position entre l'antenne GPS et l'embase ADCP. La **Figure 2** présente un exemple de ces erreurs et de leur correction sur les enregistrements du NB75.

4.4 Etalonnage

Outre les erreurs ponctuelles citées ci-dessus, deux types d'erreur systématiques interviennent dans le calcul des vitesses absolues de courant : l'erreur sur l'orientation horizontale de l'embase en coordonnées géographiques et l'erreur sur le module de la vitesse calculé par effet Doppler. L'erreur d'orientation provient de l'erreur sur les indications du gyrocompas (variable) et d'une éventuelle erreur sur l'orientation de l'embase au montage (fixe). L'erreur sur le module peut être associée à un problème d'électronique ou de calcul de l'effet Doppler (vitesse du son).

La partie variable de l'erreur d'orientation associée aux erreurs gyro est estimée par différence entre les caps gyro et les caps fournis par la centrale d'attitude MRU, moyennés sur la durée de chaque profil. Les données MRU ont été préférées ici à cause des nombreuses pertes d'acquisition du GPS d'attitude. La **Figure 3** présente cette différence pour le NB-75, brute et après filtrage médian et lissage : on constate une variation du gyro de l'ordre de 0.3° à chaque arrivée/départ de station, ou aux changements de route. Les valeurs lissées de cette différence sont utilisées pour effectuer une rotation de signe inverse de chaque profil relatif. Après cette correction il ne doit subsister théoriquement qu'une erreur d'orientation constante (angle résiduel entre l'axe de l'ADCP et la ligne de foi de la MRU).

vitesse, les « bins » correspondants sont supprimés. Le BB-150 est moins sensible à ce phénomène ; en revanche, il est par construction plus sensible à la qualité du signal, et certains profils doivent être supprimés pendant les accélérations du navire (variations du niveau de bruit et de l'écoulement autour de la coque).

4.3 Intégration de la navigation

Les positions GPS GPBGA enregistrées à la fin de chaque profil et les vitesses relatives ADCP permettent de calculer le courant absolu dans une couche de référence (100-300 m pour NB-75, 40-90 m

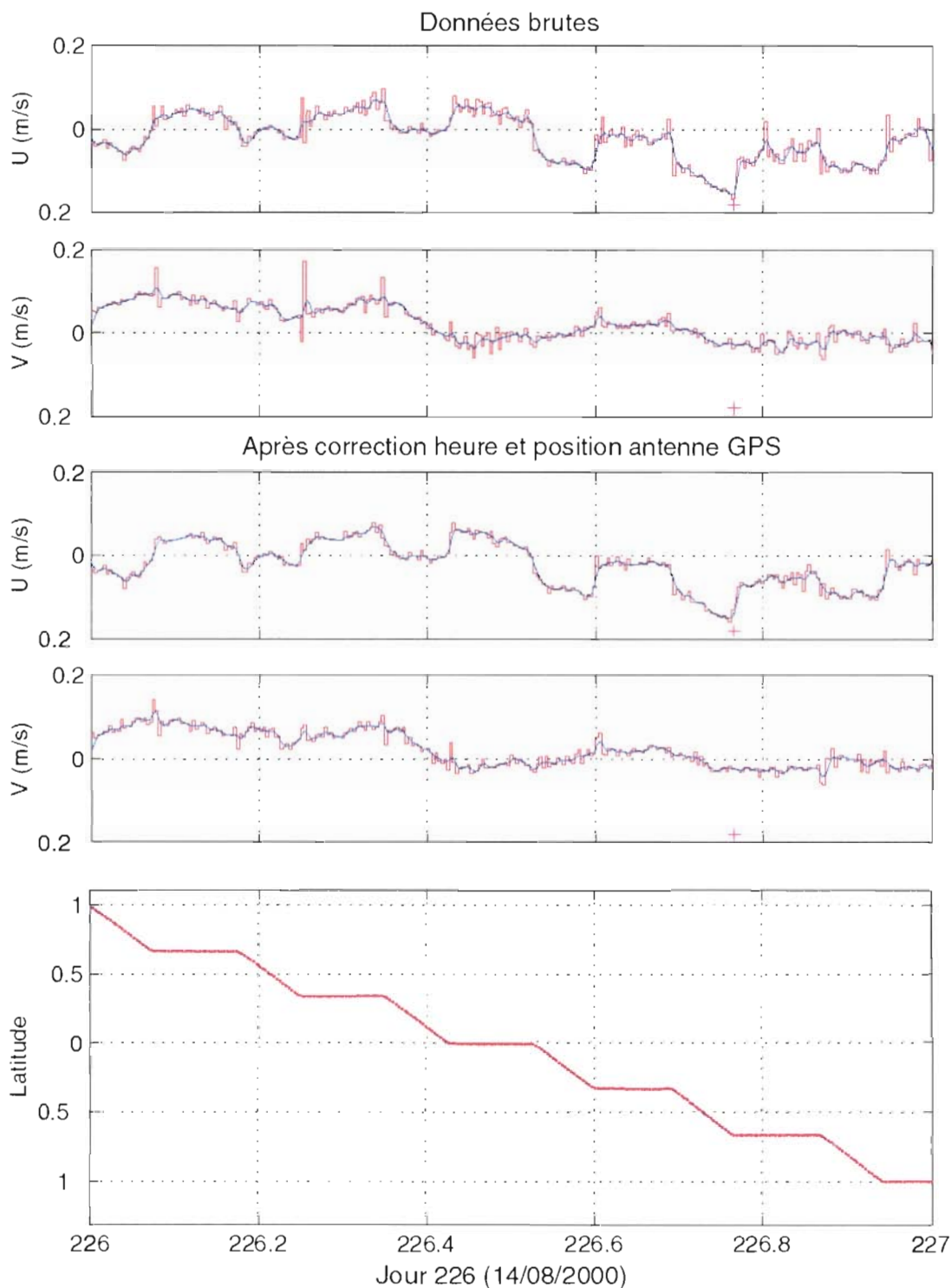


Figure 2 : Courant dans la couche 100-300m le long de 6°E, 1°N-1°S, NB-75, profils individuels et après lissage. Les corrections d'heure et de position d'antenne éliminent la plupart des pics associés aux accélérations du navire ou à ses changements d'allure. Les erreurs gyro et de module causent les décrochements à chaque station (voir § 4.4)

Il a été montré (*Pollard et Read, 1989*) que la comparaison des vitesses de courant absolu avant/après les changements importants de vitesse du navire (lors des arrivées et départs aux stations hydrologiques) permet une estimation statistique des deux erreurs et le calcul d'un angle de rotation ϕ et d'un facteur multiplicatif A à appliquer aux profils relatifs. Ce calcul est

fait pour les deux ADCP après correction des erreurs gyro et les valeurs sont données dans le **Tableau 2**. Les rotation et homothétie correspondantes sont appliquées aux profils relatifs et le calcul de navigation (§ 4.3) est de nouveau effectué.

	NB-75	BB-150
A	0.999	1.022
ϕ	-0.22°	+0.01°

Tableau 2 : Valeurs des coefficients d'étalonnage constants déterminés après correction des erreurs variables dues au gyro du navire.

Pour le NB-75, les valeurs sont très similaires à celles d'EQUALANT 99 (1.000 et -0.29). Pour le BB150, A est identique (1.022 aussi en 1999), mais ϕ est plus faible (+0.38 en 1999). La valeur élevée de A pour le BB-150, déjà relevée en 1999, se confirme. Son origine est pour l'instant indéterminée. La variation de ϕ en l'absence d'une manipulation de l'embase est anormale ; elle peut être due à une plus grande incertitude sur le calcul de cet angle due au niveau de bruit plus élevé dans les données du BB-150, par rapport au NB-75. La **Figure 4** présente les histogrammes des valeurs calculées de ϕ (179 au total) avant et après application de la correction d'erreur « gyro ». On constate une normalisation de la distribution après cette correction, donc une diminution des erreurs non-aléatoires dues aux variations du gyro.

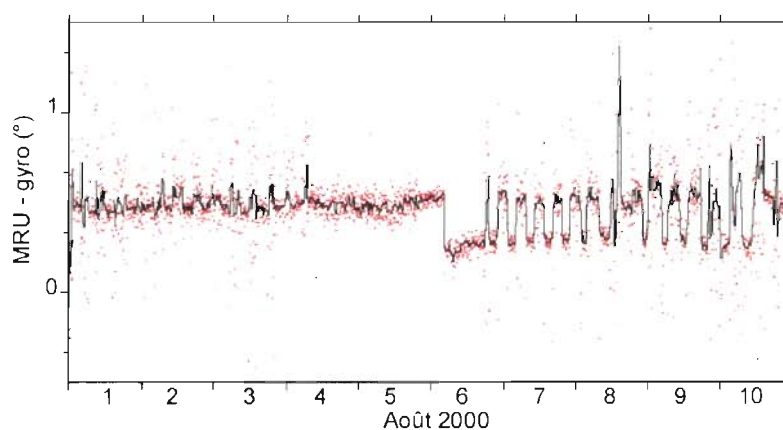


Figure 3 : Différence de cap MRU-gyro pendant 10 jours de la campagne, pour chaque profil (points) et après filtrage. On note la variation de 0.3° du gyro au début de la radiale à 0°E (06/08) et celles, du même ordre, à chaque station.

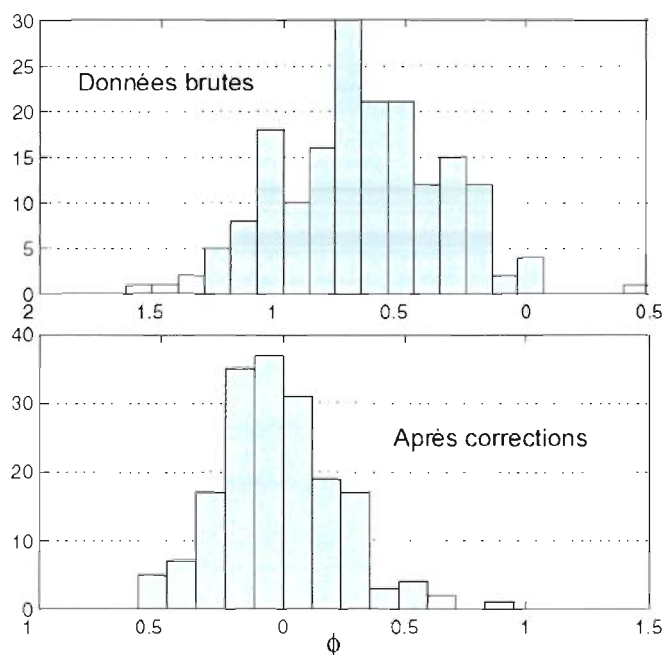


Figure 4 : Histogrammes de l'angle de correction d'orientation ϕ , avant et après correction gyro sur le NB-75. Après correction des erreurs variables du gyro l'histogramme se normalise.

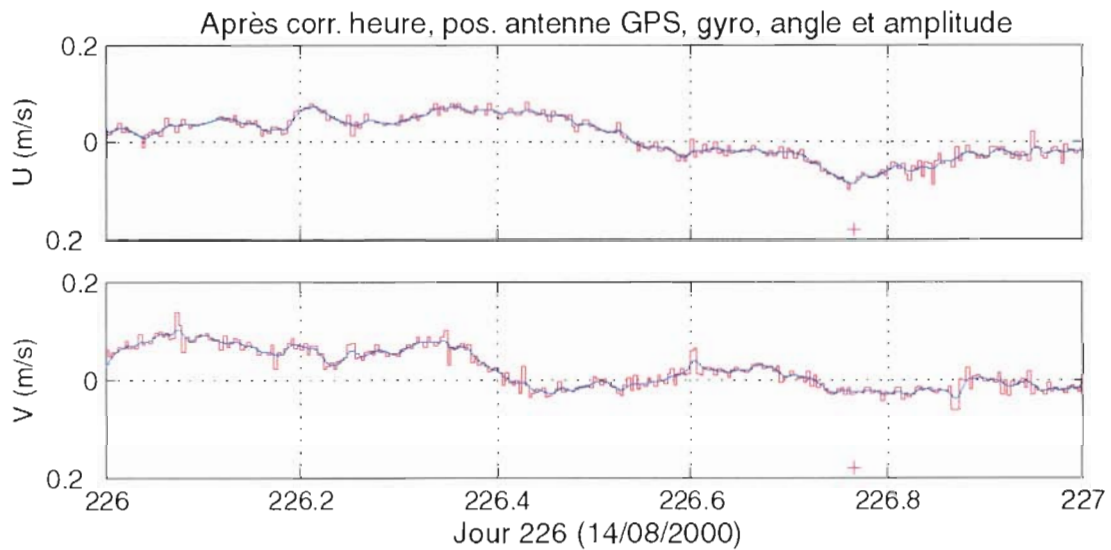


Figure 5 : Courant dans la couche de référence comme sur la Figure 2, après application de toutes les corrections. Il subsiste un bruit ponctuel qui est corrigé par le lissage sur 20 mn ;

La **Figure 5** montre le résultat final de toutes les corrections sur la couche de référence 100-300m, sur le NB-75, pour la même journée de mesures que sur la Figure 2.

4.5 Contrôle de qualité

Des statistiques sur les profils sont calculées pour estimer la qualité des données et avoir un suivi des performances de l'appareil. En particulier, les valeurs moyennes de l'intensité sonore et du pourcentage de bon « pings » en fonction de la profondeur (PGOOD) renseignent sur la portée utile des appareils (**Figure 6**). Pour le NB-75 les portées en route et en station sont de 620 et 720 m, respectivement (définies comme la profondeur où PGOOD = 30%). Pour le BB-150, le PGOOD n'est pas significatif à cause d'une erreur de configuration de Transect. Le profil d'amplitude montre cependant que le niveau de bruit (quand l'amplitude ne varie plus avec la distance) est atteint vers 200-250 m.

4.6 Comparaison des résultats des deux appareils

Une comparaison des profils moyens de vitesse sur l'ensemble des stations est effectuée (**Figure 7**). L'accord est bon, étant donnée la différence de résolution des deux appareils. Cependant, on constate un écartement systématique des courbes en dessous de 200 m, ainsi qu'une augmentation du bruit dans les mesures du BB-150. Pour cette raison, on déconseillera d'utiliser les données du BB-150 en dessous de 150 m.

5 . Produits.

Le logiciel CODAS permet d'obtenir des sections et séries temporelles pour tracés de coupes ou de vecteurs. En outre, des fichiers ASCII ont été constitués, comprenant pour les deux appareils :

- § Les profils individuels de U et V (soit un profil toutes les 5 minutes) sur l'ensemble de la campagne. Ce 'jeu' de profils est dense, mais utile pour étudier la variabilité à petite échelle et les structures fines aux abords des côtes.
- § Les moyennes et écart-type horaires des profils U et V (soit une moyenne sur 12 profils, à raison d'un profil acquis toutes les 5 minutes).
- § Les moyennes et écarts-type tous les $\frac{1}{4}$ de degré (de latitude ou de longitude selon la route du navire) des profils U et V.
- § Les moyennes et écarts-type à chaque station CTD des profils U et V (profils moyennés sur chaque palanquée).
- § Les moyennes et écarts-type entre chaque station CTD des profils U et V. Ces profils moyens sont utiles pour comparer avec les courants géostrophiques calculés entre deux stations CTD successives.

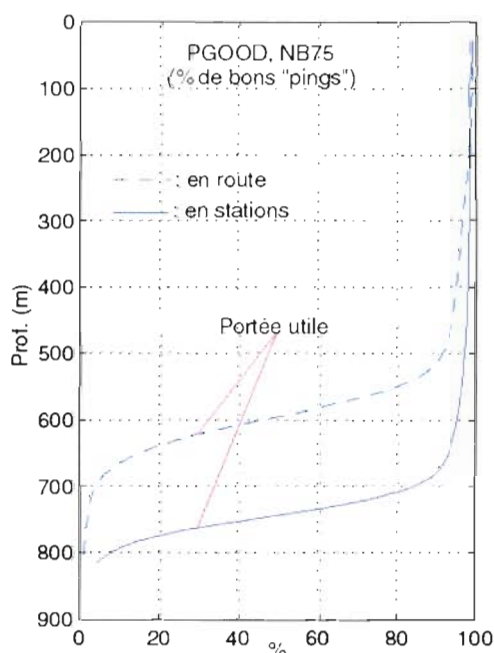


Figure 6 : Pourcentage moyen de « pings » valides par profil pour le NB75

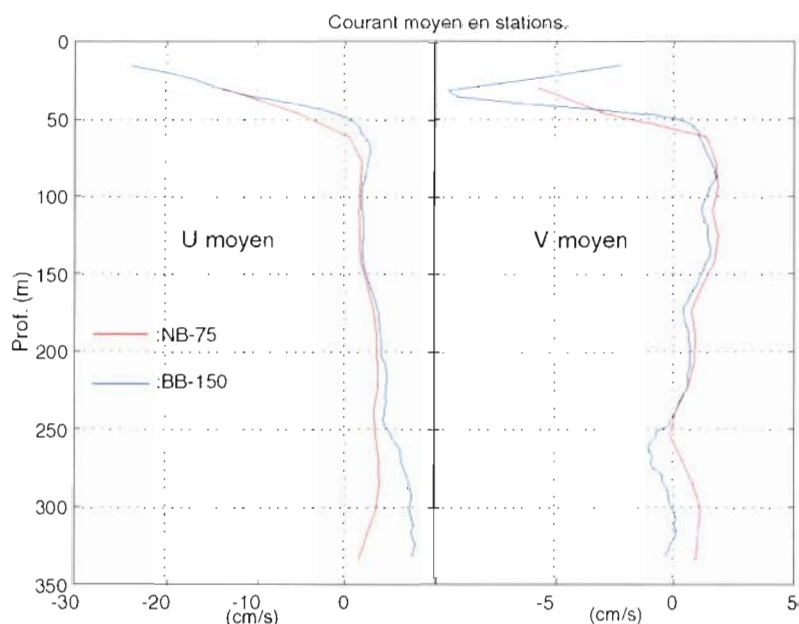


Figure 7 : Profil de courant moyen sur l'ensemble des stations, obtenu par le NB75 et le BB150. Au dessus de 200 m, l'accord entre les 2 appareils est meilleur que 5 cm/s.

§

6. Présentation graphique des résultats.

- Des coupes des distributions verticales des composantes de la vitesse zonale et méridienne sont présentées pour les 4 principales sections de la campagne :

de 5°N à 6°S, le long de 7°W et 10°W ;

de 6°S à 2°N, le long de 0°E ;

de 4°N à 6°S le long de 6°E ;

de 10°W à 12°E le long de 6°S.

Ces coupes sont présentées ont été établies à partir des mesures du BB-150 (pour la couche 16-150 m) et du NB-75 moyennées ensemble, tous les 0.20 degré en latitude ou longitude (1^{er} niveau à 17 m). Elles sont présentées dans les pages suivantes, sur 0-800 m et 0-300m pour une meilleure définition dans les couches de surface.

- Des vecteurs de courant horizontal, sur 8 niveaux de profondeur (données BB-150 et NB-75), moyennés tous les 0.25 degré de latitude ou de longitude sont présentés dans les pages suivantes, sur les couches 17-50m, 50-200m, 200-400m, 400-650m.

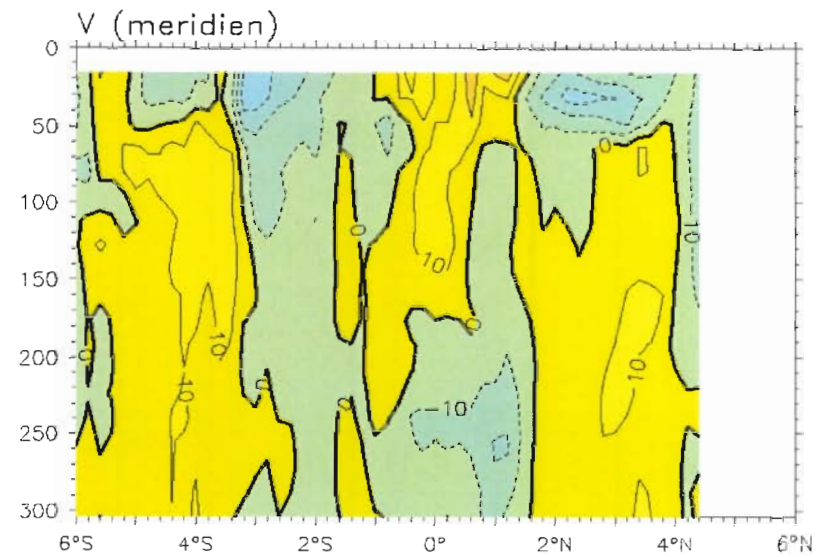
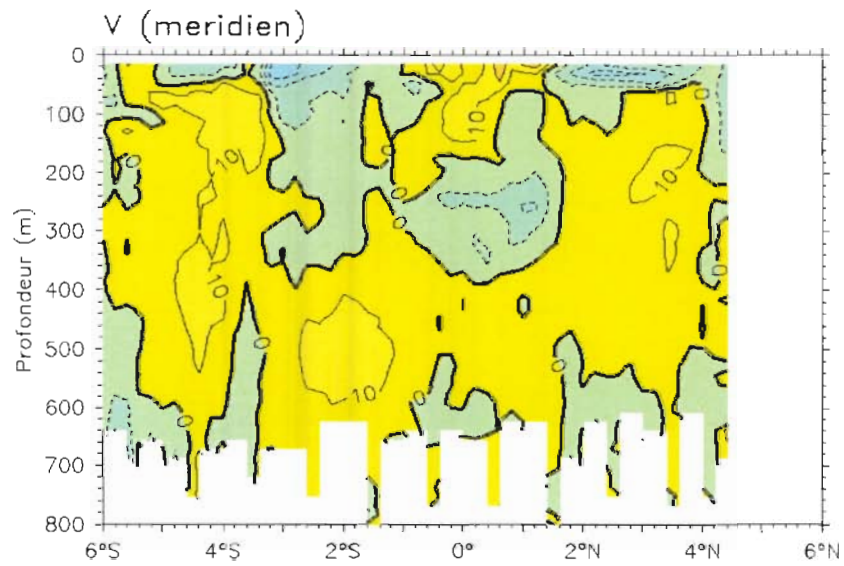
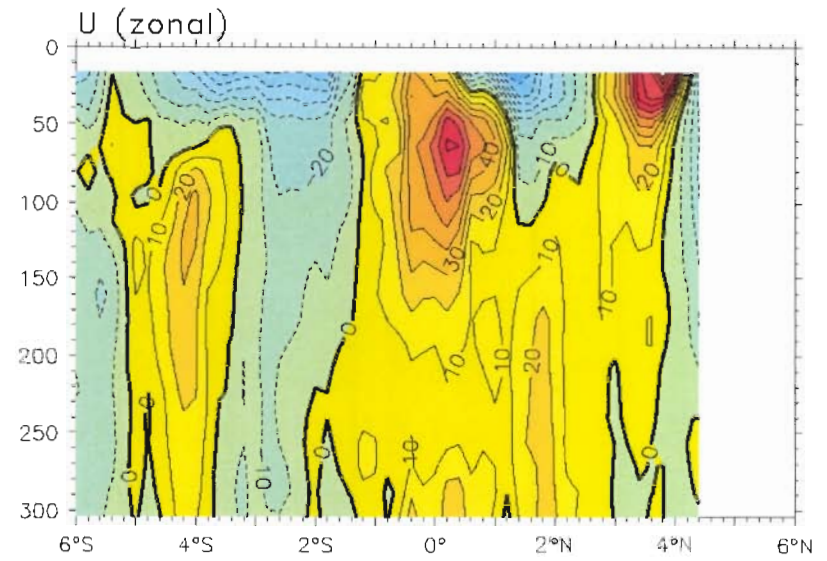
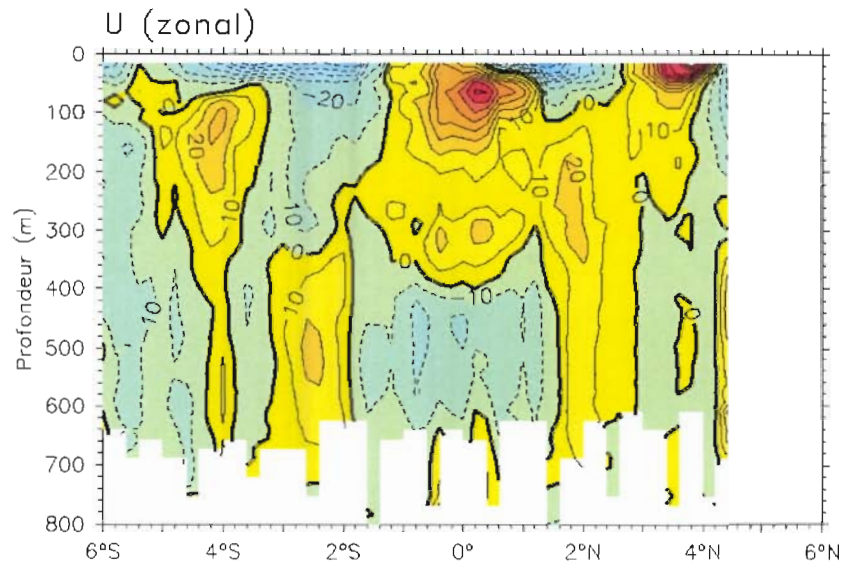
7 Références.

Bahr, F., E. Firing and S. Jiang, Acoustic Doppler current profiling in the western Pacific during the US-PRC TOGA Cruises 5 and 6, *JIMAR Contr.* 90-0228, *U. of Hawaii*, 162 pp., 1990.

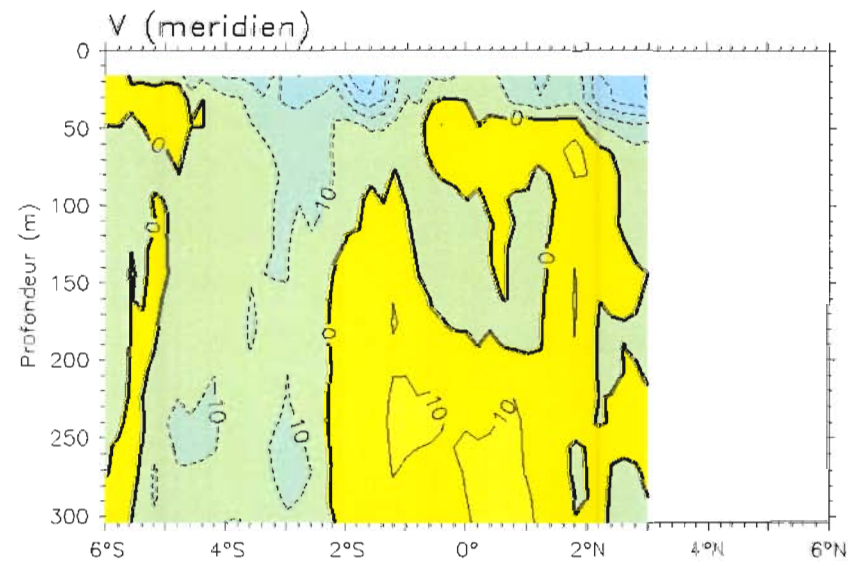
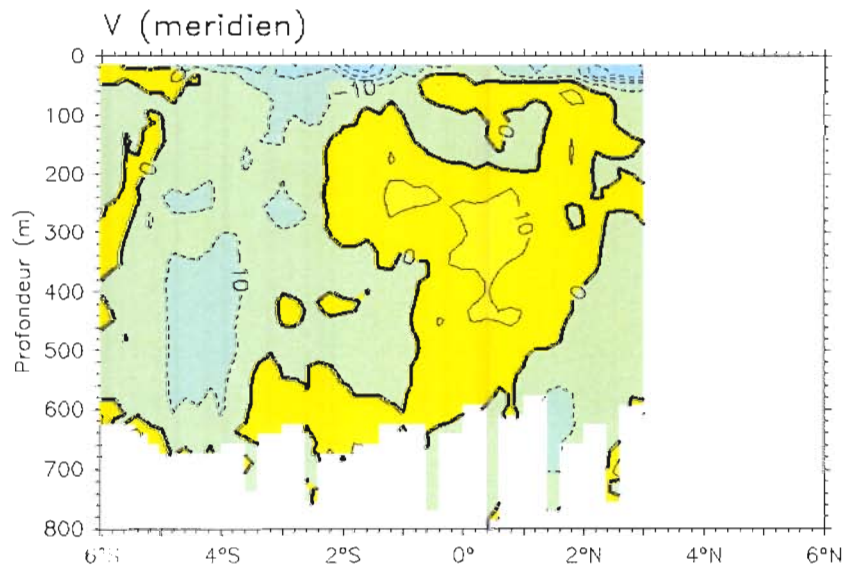
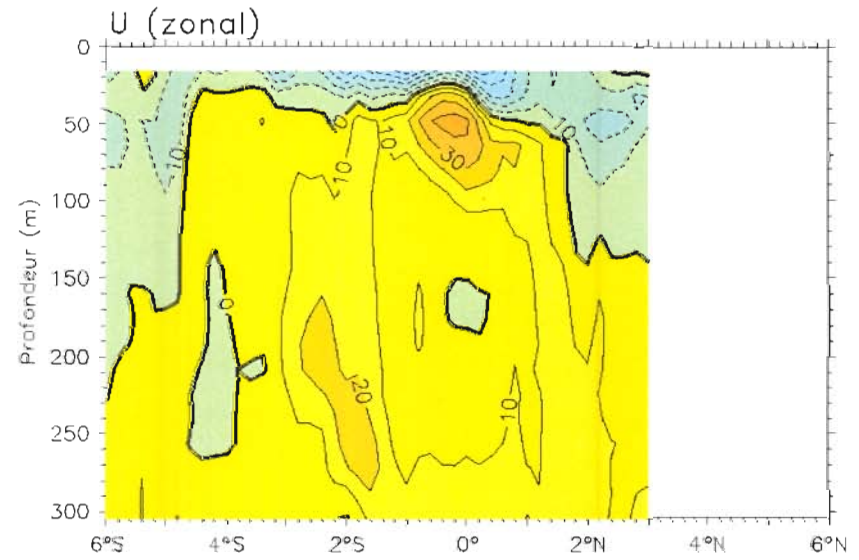
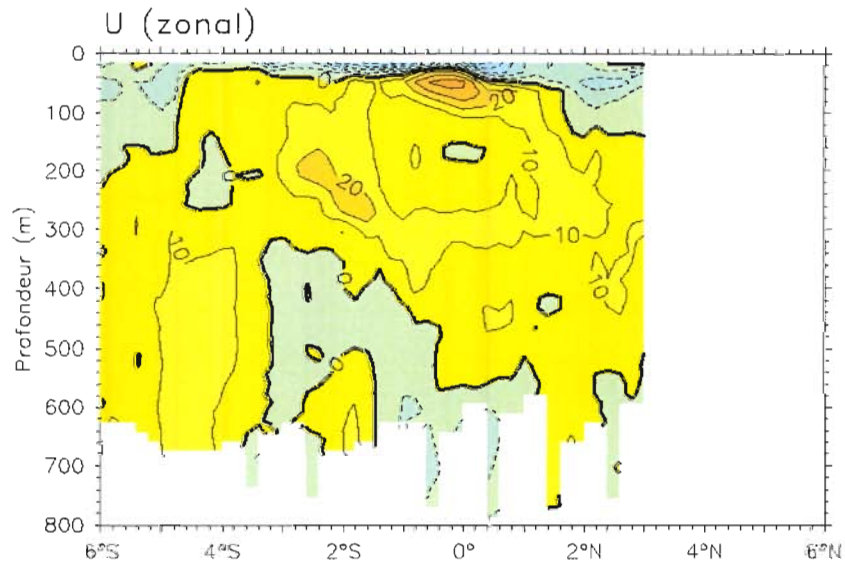
Hall M.M. and H.L. Bryden, Direct estimates and mechanisms of ocean heat transport, *Deep-Sea Res.*, 29, 339-359, 1982.

Pollard, R. and J. Read, A method for calibrating shipmounted acoustic Doppler profilers, and the limitations of gyro compasses, *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 6, 859-865, 1989.

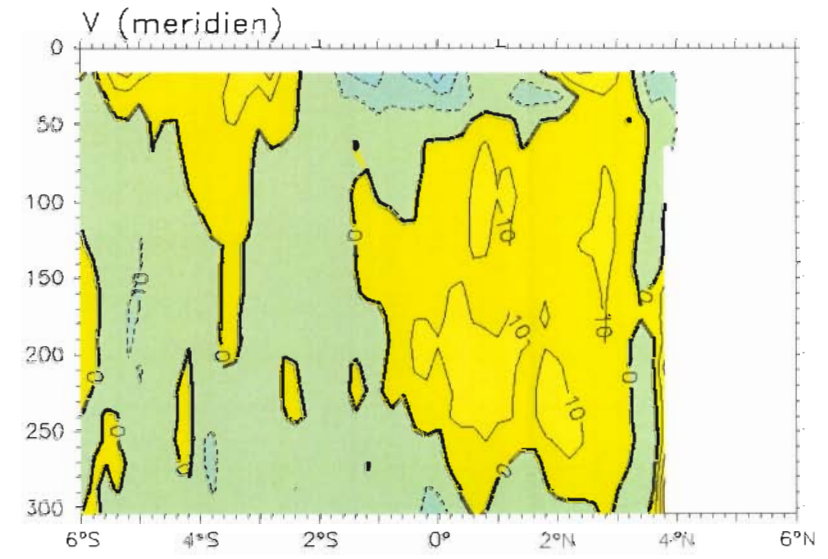
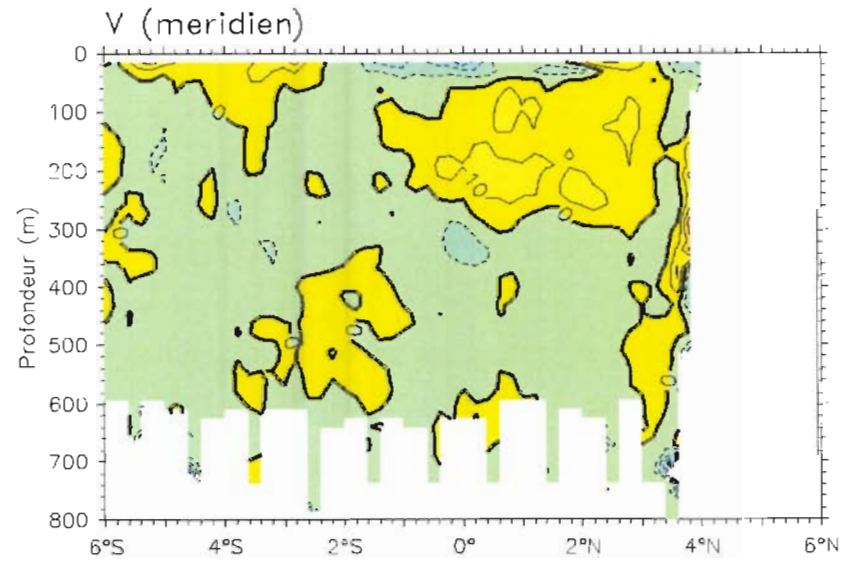
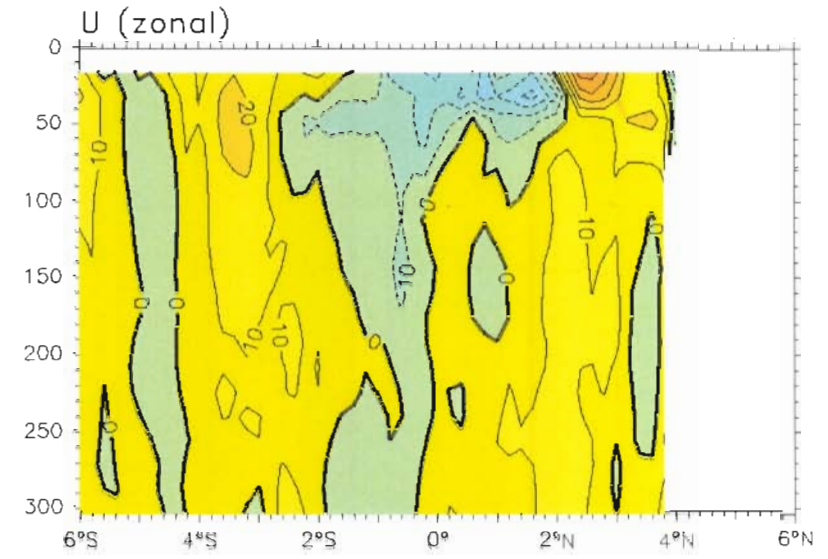
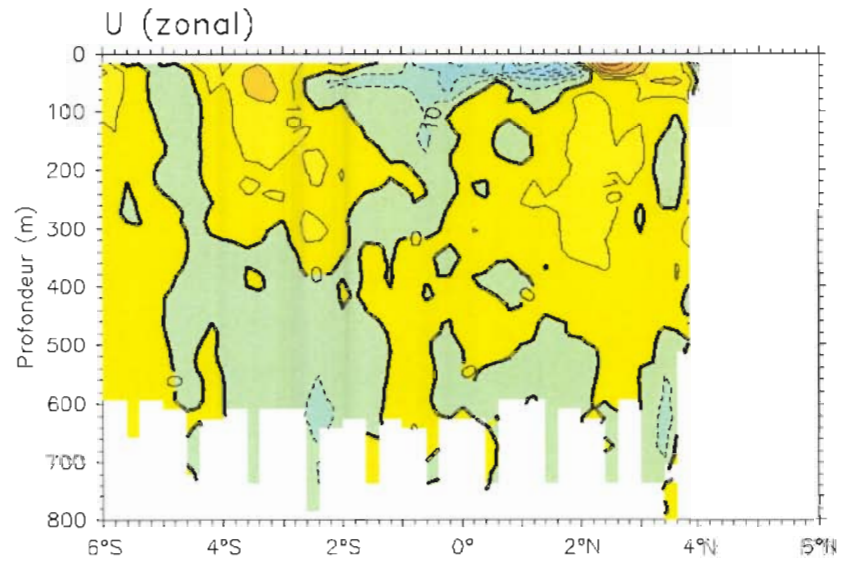
Section à 7°W-10°W



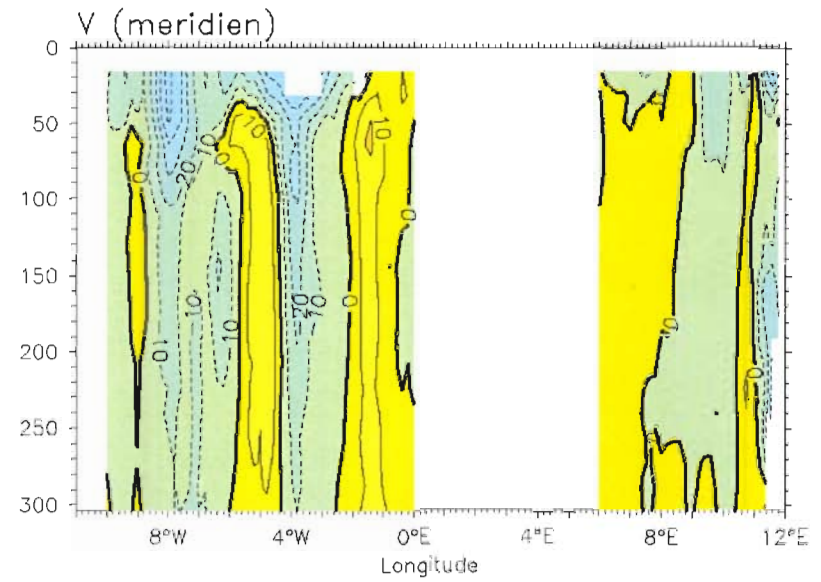
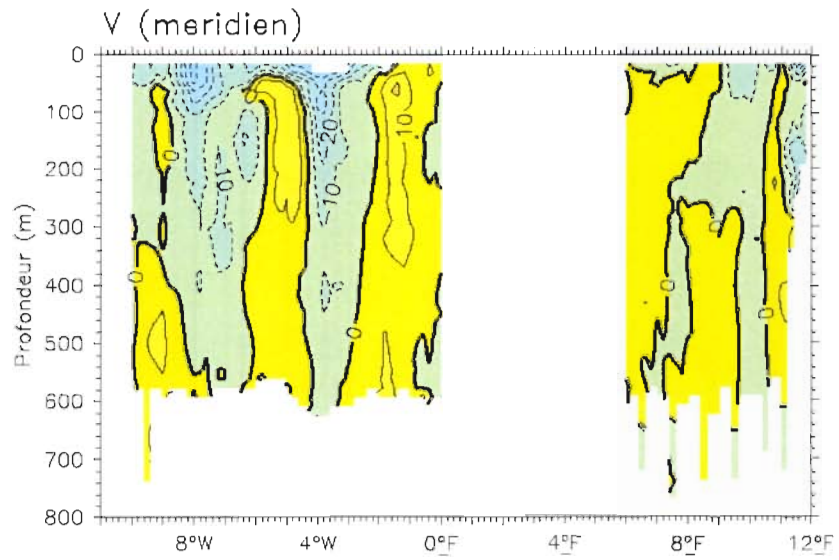
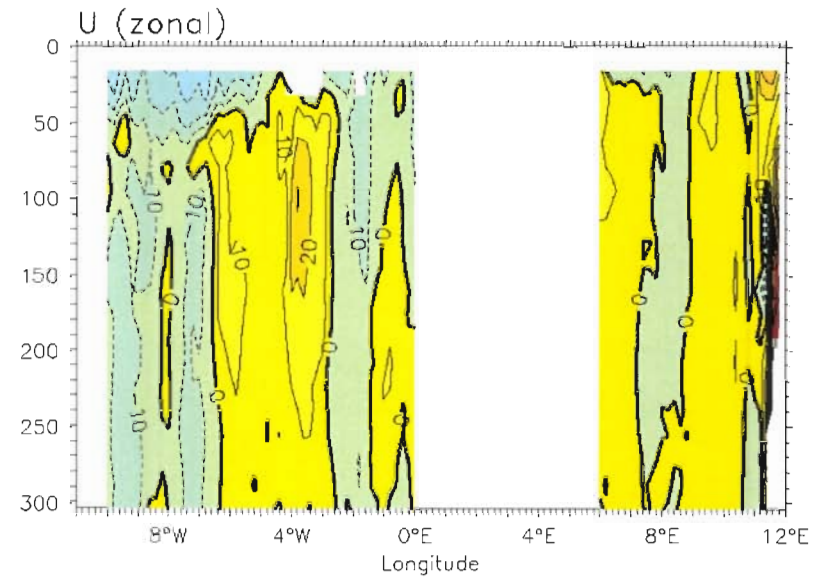
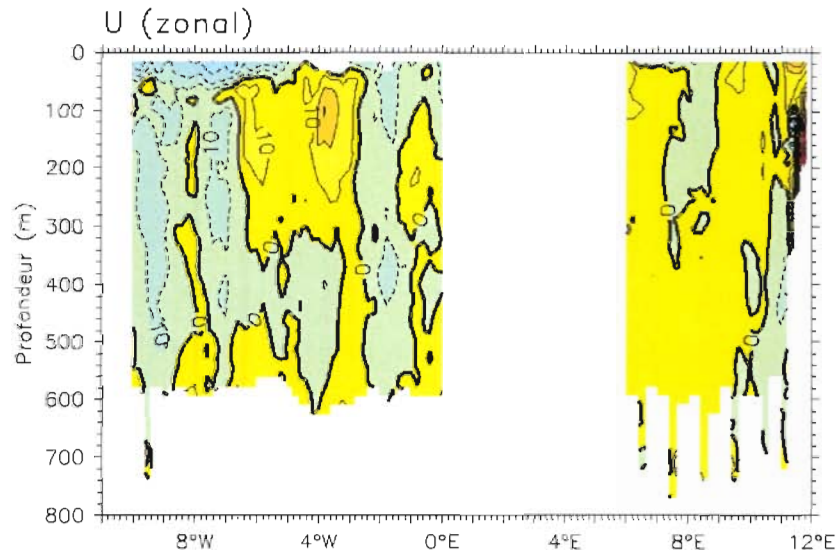
Section à 0°E



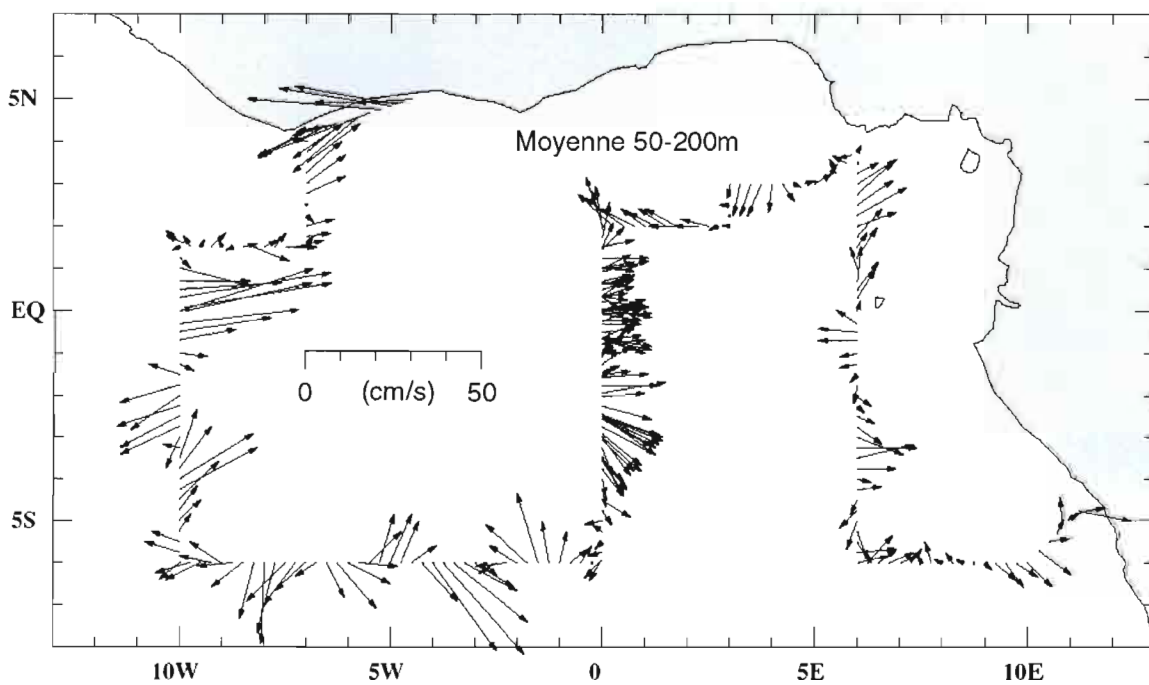
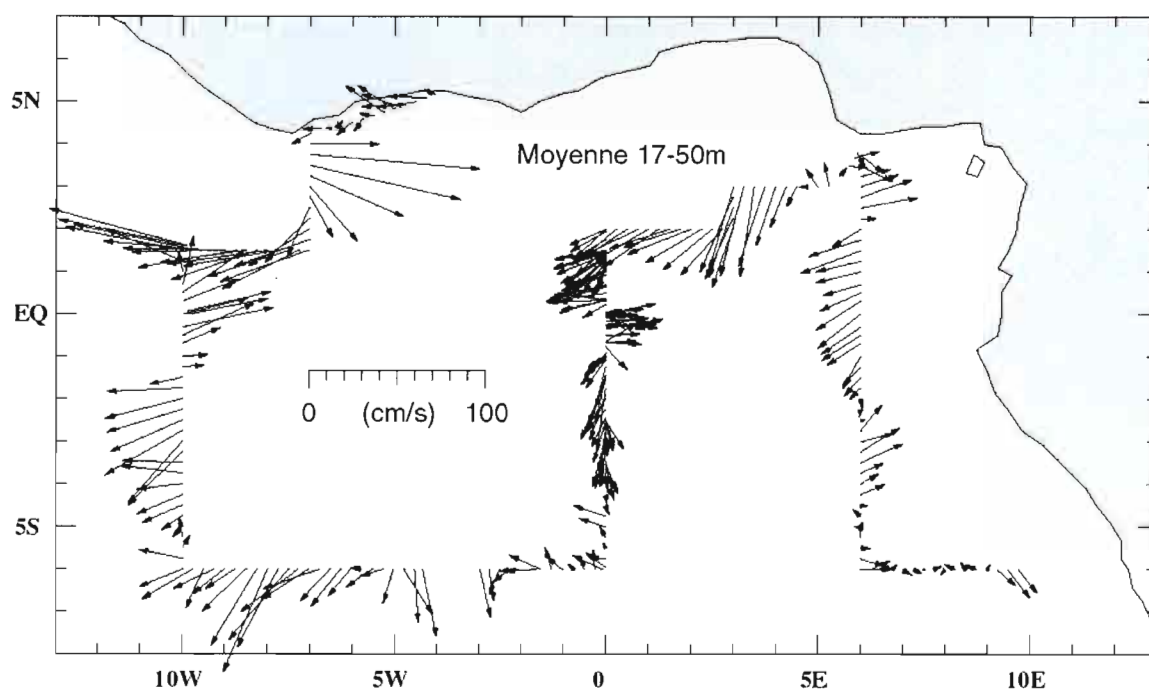
Section à 6°E



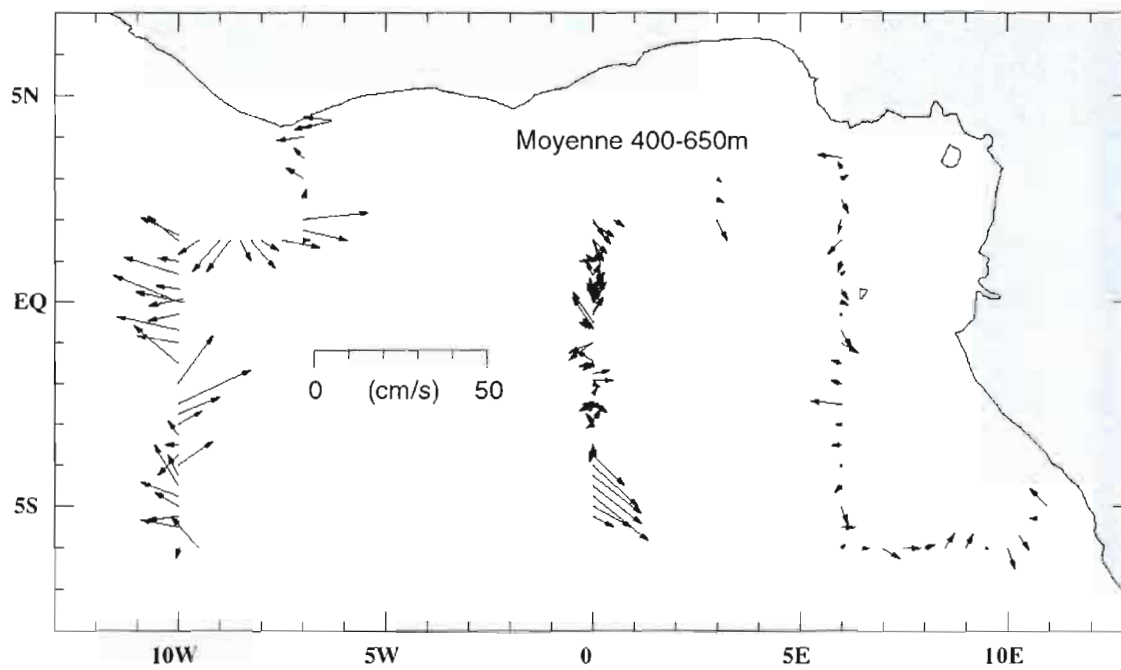
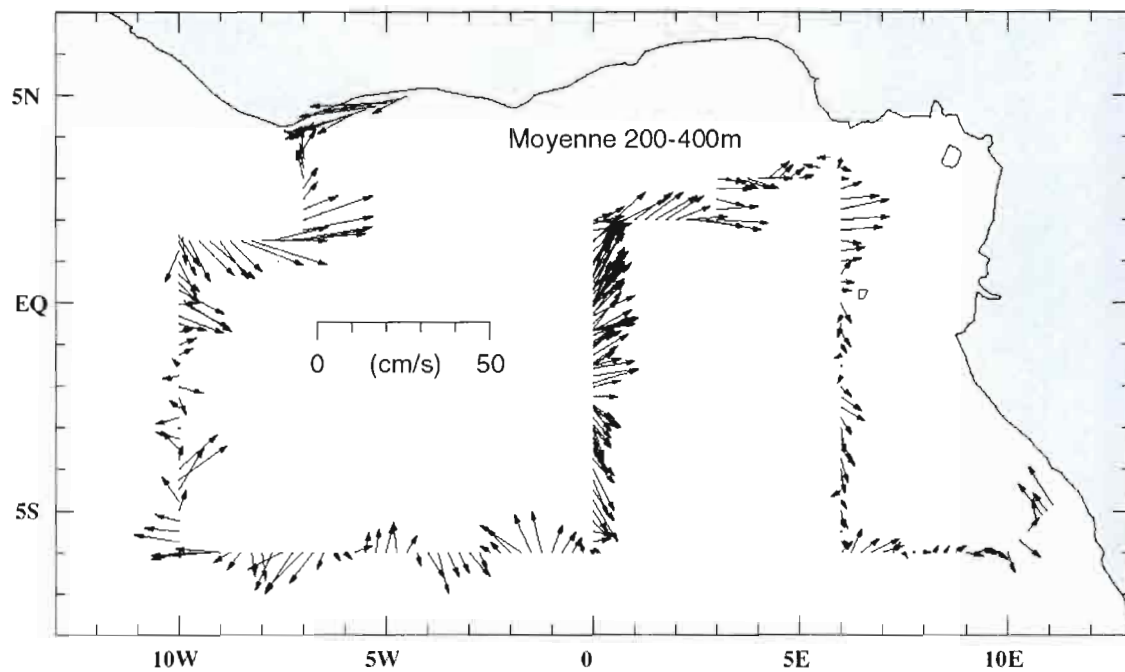
Section à 6°S



Vecteurs courant



Vecteurs courant (suite)



Eldin Gérard.

Mesures de courants par profileurs à effet Doppler de coque (S-ADCP), 89.

In Andrié Chantal (ed.), Bourlès Bernard (ed.).

Campagne Equalant 2000 N.O. Thalassa (24 juillet-21 août 2000) : rapport de campagne à la mer.

Brest (FRA) : IRD ; Paris (FRA) : LODYC, 2001, p. 39-52 multigr.. (Document Scientifique et Technique du Centre IRD de Bretagne (FRA)), 89