

## MESURES AVEC LE PROFILEUR DE COURANT A EFFET DOPPLER 'PROFOND' (L-ADCP)

*Bernard Bourlès (IRD, Centre de Bretagne) et Yves Gouriou (IRD, Nouméa)*

Ce rapport consiste en une adaptation directe du rapport L-ADCP de la campagne EQUALANT 1999 (Gouriou, 2000) aux mesures obtenues pendant EQUALANT 2000.

### 1. Introduction

Des mesures de courant absolu en continu de la surface au fond de l'océan sont accessibles depuis quelques années grâce à un courantomètre à effet Doppler fixé à une bathysonde, le « Lowered Acoustic Doppler Current Profiler », ou L-ADCP (*Fischer and Visbeck, 1993*). L'IRD a acquis un tel appareil avant le programme ETAMBOT (1995-1996), afin de mesurer les courants dans la région Ouest de l'Atlantique équatorial. A l'IRD, cet appareil a depuis été utilisé pendant toutes les campagnes hauturières d'océanographie physique, tant dans l'Atlantique (ETAMBOT, EQUALANT) que dans le Pacifique (WESPALIS). Nous rappelons ici brièvement le principe des mesures effectuées par cet appareil et de leur traitement, avant de présenter les résultats obtenus.

### 2. Principes de la mesure

#### a) Description de l'appareil

Le courantomètre à effet Doppler est un appareil BroadBand (BB) de la marque RD Instruments (RDI), fonctionnant à une fréquence de 150 kHz. Cet appareil est fixé à la bathysonde utilisée lors des profils hydrologiques et effectuée lors de la descente et de la remontée de celle-ci des mesures de courant simultanément à la sonde CTD-O<sub>2</sub>. Cet appareil émet une onde sonore ('ping') qui se réfléchit sur les particules en suspension dans l'eau de mer, supposées sans mouvement propre. Leur mouvement est donc assimilé au mouvement des masses d'eau dans lesquelles elles se trouvent. La fréquence de l'onde émise est modifiée par ces particules en mouvement. La différence entre la fréquence émise et réfléchi (effet Doppler) est proportionnelle à la composante de la vitesse des particules suivant l'axe de propagation de l'onde. Ainsi, pour connaître les différentes composantes de la vitesse, 4 ondes sonores sont utilisées, émises par 4 faisceaux ('beam') inclinés différemment.

#### b) Principe de fonctionnement

Le L-ADCP a la possibilité de réaliser une moyenne des impulsions ('ping') émises dans un certain intervalle de temps afin de diminuer le bruit. Cet intervalle de temps correspond à un cycle de mesures (ou 'ensemble') pour lequel nous obtenons le résultat de la moyenne de plusieurs 'pings'. Cependant, l'utilisateur peut choisir de conserver tous les 'pings' lors de la configuration de l'appareil; dans ce cas, un cycle de mesures correspond à une impulsion ('ping'). Pour chaque cycle de mesures, le L-ADCP évalue les composantes horizontales et verticale du courant, corrigées du roulis et du tangage, et ce sur un profil dont la profondeur, ou portée, et la résolution verticale dépendent de la configuration de l'appareil. Le L-ADCP découpe chaque profil individuel de vitesse en segments uniformes, appelés cellules ('bins'); la

vitesse associée à chaque cellule est une moyenne des vitesses mesurées sur l'épaisseur de la cellule.

Pour chaque cycle de mesures, le L-ADCP enregistre différents paramètres : l'indice du cycle de mesures, le nombre de cellules, l'heure de l'acquisition (année, mois, jour, heure, minute, seconde, centièmes de seconde), la température du capteur interne, le cap du capteur interne, le tangage et le roulis du L-ADCP mesurés par le capteur interne, la vitesse du son utilisée et la vitesse verticale de la bathysonde lors de l'acquisition.

Pour chaque cellule, le L-ADCP calcule et enregistre d'autres paramètres que les trois composantes de la vitesse : l'erreur de vitesse, l'intensité d'écho des ondes sonores, l'amplitude de corrélation et le pourcentage de données correctes. La mesure de ces paramètres enregistrés est explicitée en détail dans la documentation technique *RDI* (1995). Ces paramètres sont indispensables pour déterminer la qualité des mesures lors du traitement. Lors de l'acquisition, les mesures de vitesse sont transformées et enregistrées en coordonnées terrestres.

### 3. *Traitement des mesures.*

#### a) Logiciel de traitement utilisé

Le traitement des mesures L-ADCP a été effectué à l'aide de la chaîne de traitement initialisée par *Ogier* (1995) au centre IRD de Cayenne, dont l'algorithme est inspiré du logiciel transmis par J.Fischer de l'Institut Für Meereskunde (IFM) de Kiel et décrit en détail dans *Fischer and Visbeck* (1993). Les détails techniques et informatiques de la chaîne de traitement sont explicités dans *Gouriou and Hémon* (1997). Depuis 1997, la chaîne de traitement a subi quelques améliorations notables, dont la prise en compte des données CTD simultanées (pour le calcul de la vitesse du son et de la profondeur).

#### b) Principes du traitement

##### (1) *Généralités*

Contrairement au VM-ADCP (voir Chapitre 6), le L-ADCP, au cours de son mouvement vertical avec la bathysonde, va enregistrer des profils successifs; ainsi, nous obtenons plusieurs mesures pour une même profondeur. Lors du traitement, la constitution d'un profil unique des courants horizontaux de la surface au fond se fait en prenant en compte toutes les mesures effectuées, c'est-à-dire en associant tous les profils effectués au cours du mouvement vertical du L-ADCP.

##### (2) *Calcul de la profondeur*

Le L-ADCP n'est pas muni de capteur de pression. La profondeur du L-ADCP, et donc des mesures, doit être déterminée *a posteriori*. Deux méthodes permettent d'avoir accès à la profondeur de chaque mesure :

- 1. Par intégration de la vitesse verticale mesurée par le L-ADCP. Cela implique que les mouvements verticaux des particules d'eau sont supposés très faibles par rapport à la vitesse de descente de l'appareil.
- 2. En utilisant les mesures de la pression fournies par la sonde CTD-O<sub>2</sub>. La comparaison des mesures de temps de l'horloge interne du L-ADCP et l'enregistrement du temps GPS à chaque mesure de la sonde permet d'attribuer une profondeur à chaque mesure du L-ADCP (en réalité, le temps GPS est acquis au début du profil de la sonde, et le temps de chaque mesure est déduit de la fréquence d'acquisition de celle-ci -ici, 24Hz-).

### ***(3) Vitesse du son***

Pour chaque cycle de mesures, les vitesses et l'épaisseur de chaque cellule dépendent de la vitesse du son. Lors de l'acquisition, la vitesse du son est supposée égale à  $1500 \text{ m.s}^{-1}$ , valeur imposée lors de la configuration préalable de l'appareil. La vitesse du son réelle variant entre la surface et le fond, il est nécessaire de corriger les vitesses et l'épaisseur des cellules en tenant compte des variations de la vitesse du son. Celle-ci est donc recalculée lors du traitement pour chaque cycle de mesures à partir de la profondeur, de la température et de la salinité sonde CTD-O<sub>2</sub>.

### ***(4) Réflexion sur le fond***

Lorsque la bathysonde approche du fond, les ondes sonores réfléchies par celui-ci perturbent le signal reçu et masquent le signal dû à la réflexion sur les particules en suspension. Ainsi, la mesure de l'intensité d'écho présente un pic ou de fortes valeurs dans les cellules perturbées par le fond. Les mesures de ces cellules sont éliminées du traitement. Lorsque le L-ADCP est très proche du fond, toutes les mesures sont perturbées par les réflexions sur le fond. Dans ce cas, le profil d'intensité d'écho ne présente plus de maximum et tout le cycle de mesures est éliminé du traitement.

### ***(5) Suppression du mouvement propre de l'appareil***

Les mesures effectuées par le L-ADCP sont la résultante de la vitesse des masses d'eau et de son propre mouvement, lié à celui de la bathysonde. Pour chaque cycle de mesures, le mouvement propre de l'appareil, étant identique pour les différentes cellules du cycle, peut être éliminé par différenciation des vitesses entre cellules adjacentes. Cependant, cette différenciation élimine également la composante moyenne de la vitesse.

### ***(6) Obtention d'un profil de vitesse absolue***

En raisonnant d'une façon intégrale, c'est-à-dire en considérant l'ensemble des mesures obtenues pendant la descente et la montée lors du traitement, la composante moyenne de la vitesse peut être reconstituée en connaissant parfaitement la position du L-ADCP en début et en fin de la station (*Fischer and Visbeck, 1993; Gouriou and Hémon, 1997*). Cette position doit être déterminée précisément à l'aide d'un GPS lors de la mise à l'eau et de la récupération de la bathysonde.

Le traitement moyenne les mesures effectuées au cours de différents cycles de mesures par couches de profondeur, d'épaisseur égale à la taille des cellules. De plus, le fait de procéder de manière intégrale dans le traitement implique que les mesures des profils de montée et de descente sont confondues. Ainsi, une station pouvant durer plus de 3 heures, on obtient donc en quelque sorte un profil 'lissé', dans lequel le signal des ondes internes, notamment dans les couches de surface, est atténué.

## ***4. Acquisition des mesures et résultats.***

Le L-ADCP est fixé au corps de la bathysonde. Il est alimenté par une batterie externe, rechargée durant le transit entre 2 stations hydrologiques successives. Le L-ADCP est muni d'une mémoire interne lui permettant d'enregistrer jusqu'à 20Mo de données. Systématiquement après chaque profil, les enregistrements sont récupérés sur PC via une liaison RS-232 et sauvegardés sur un PC; la mémoire du L-ADCP est ensuite vidée et la charge des batteries vérifiée. Les résultats bruts sont prévisualisés afin de contrôler prioritairement l'allure générale des profils des différents paramètres enregistrés et le comportement des différents faisceaux.

Les valeurs des paramètres définis lors de la configuration préalable du L-ADCP pendant la campagne EQUALANT 2000 sont les suivantes :

- Nombre d'impulsions ('ping') par cycle de mesures ('ensemble') :	1
- Temps entre deux impulsions (en secondes) :	1
- Nombre de cellules ('bins') par cycle de mesures :	19
- Epaisseur des cellules (en mètres) :	16
- Vitesse du son (en m.s <sup>-1</sup> ) :	1500
- Salinité de l'eau de mer :	35

L'extension verticale du profil d'un cycle de mesures est alors d'environ 300 m.

Lors de la campagne, 86 profils L-ADCP ont été effectués de la surface au fond. Aucun problème d'acquisition notable n'a été à déplorer durant l'ensemble de la campagne. Lors des premières stations, plusieurs fichiers de mesures étaient créés, un seul contenant effectivement les valeurs du profil effectué. Ce phénomène a déjà été mentionné au début de la campagne EQUALANT 99, et il est probable que les fichiers 'parasites' étaient générés lors du branchement (ou débranchement) du câble liant le L-ADCP aux batteries de recharge. Par ailleurs, seul le profil de descente de la station n° 44 est disponible; en effet, les mesures n'ont été réalisées qu'à la descente et jusque vers 1500 m lors de la remontée, en raison d'une recharge préalable insuffisante de l'appareil. Enfin il n'y a pas de profil L-ADCP associé aux stations hydrologiques n°1 et 53, situées sur des fonds d'environ 200 m (donc à la portée des VM-ADCP du navire) au large de la Côte d'Ivoire et du Nigeria. La station test (n°0) n'a pas été incluse dans le traitement.

Les mesures de la sonde CTD-O<sub>2</sub> ont été systématiquement utilisées pour retrouver la profondeur de chaque ensemble de mesures du L-ADCP (voir par.3.b.2).

Le compas et les capteurs de roulis et tangage placés dans le L-ADCP permettent d'avoir une image du comportement du châssis de la bathysonde lors des profils, ce comportement étant pris en compte lors du traitement. Ces mesures sont reportées sur la **figure 1** pour la station n°14, représentative de la plupart des stations. Cette figure montre une stabilité du châssis relativement bonne avec des inclinaisons faibles (valeurs de tangage, généralement négatives, et de roulis inférieures à 5°), avec toutefois une exception près de la surface, où les valeurs peuvent excéder 10°. Il est à noter que ces paramètres ont fortement varié lors des toutes premières stations, avec des valeurs supérieures (jusqu'à 20°) et de signes opposés lors des profils de descente et de remontée. On note également que le châssis a subi plusieurs rotations au cours du profil (cap). Les principales variations du tangage, du roulis et du cap sont clairement identifiées lors du profil de remontée, lorsque le châssis est stoppé pour la fermeture des bouteilles hydrologiques.

Les variations de la température du capteur interne sont très régulières. Cependant, ces mesures de température n'ont pas été utilisées dans le calcul de la vitesse du son intervenant dans la correction des vitesses, et ce sont les mesures de température et de salinité de la bathysonde CTD-O<sub>2</sub>, plus précises, qui ont été utilisées pour les calculs nécessitant ces paramètres.

Toutes les cellules ont été retenues et considérées pour le calcul des vitesses (la première cellule avait été supprimée lors du traitement d'Equalant 1999), en raison d'une relative stabilité du châssis. L'erreur maximale de l'erreur de vitesse retenue (estimée par le logiciel interne au L-ADCP) est de 10 cm/s (elle était de 15 cm/s pour le traitement des données d'Equalant 1999).

La **figure 2** donne le nombre de mesures retenues pour le calcul de la vitesse à chaque immersion, lors du profil de descente et de montée de la station n°14. La vitesse à chaque immersion est estimée à partir d'une moyenne des mesures obtenues lors des profils de descente

et de montée. Noter l'augmentation du nombre de valeurs par tranche d'eau lors des arrêts dus à la fermeture des bouteilles hydrologiques pendant le profil de remontée.

En absence de mesures de vitesse du courant indépendantes disponibles en profondeur, il est impossible d'évaluer quantitativement l'erreur sur les vitesses calculées. Une indication de la qualité des mesures est donnée par la comparaison entre les profils de descente et de montée en chaque station. Cette comparaison ne donne cependant qu'une indication imparfaite de la qualité du profil final, car celui-ci utilise l'ensemble des mesures du profil de montée et du profil de descente en les moyennant. Nous montrons (**figures 3, 4 et 5**) les 3 profils réalisés le long de l'équateur, à 10°W (station n°20), 0°E (station n°43) et 6°E (station n°63). Les plus fortes différences sont observées au-dessus de 500 m, où les cisaillements verticaux sont importants. En dessous de 500 m les différences sont généralement inférieures à 5 cm/s.

Ce sont les profils de la stations n°46 (**figure 6**) qui présentent les différences les plus fortes. En effet, les profils de montée et de descente de la composante méridienne se croisent vers 3000m de profondeur. Ce type de profils, dits en X, ne sont pas rares. Pendant cette campagne, le profil de la station 71, mais dans une mesure nettement moindre, présente également une telle structure en X. Pour l'instant aucune explication n'a été trouvée à ce type de comportement. Nous ne savons pas non plus quelle est la qualité du profil final en profondeur.

Un autre moyen de se rendre compte de la qualité des profils L-ADCP est de les comparer à ceux obtenus à partir des mesures du VM-ADCP (75 kHz) effectuées pendant la durée de chaque station. Il faut cependant bien prendre en considération qu'il existe des différences de base entre les 2 types de mesures. En effet, le VM-ADCP permet des profils à intervalle de temps réguliers (5 mn), à des immersions fixes. Dans la gamme de profondeur des profils VM-ADCP, le L-ADCP effectue quant à lui des mesures en début et fin de profils, soit approximativement à 3 heures d'intervalle.

Les profils moyens VM-ADCP sont comparés avec les profils L-ADCP pour les stations équatoriales à 10°W, 0°E et 6°E (**Figures 7, 8 et 9**). Les barres horizontales représentent la variabilité (écart-type) des mesures VM-ADCP pendant la durée de la station. De même, les profils obtenus pour la station n°46 sont présentés (**Figure 10**).

Nous observons que :

- La référence absolue des profils est généralement correcte. Des biais systématiques peuvent parfois être présents, comme par exemple sur la composante méridienne de la station n°63, qui présente un biais d'environ 2.4 cm/s.
- Les cisaillements verticaux de courant sont bien reproduits; notamment, les extrêmes sont présents aux mêmes profondeurs.
- Le profil L-ADCP de la station n°46 se superpose relativement bien au profil VM-ADCP alors que nous avons vu précédemment que les différences observées en profondeur entre le profil de montée et le profil de descente étaient maximales (profil de la composante méridienne en X).

Le résultat de la comparaison entre les profils L-ADCP et VM-ADCP, effectuée en dessous de 50 m, est présenté sur la **Figure 11**. Sur ce graphique sont reportées la différence moyenne entre 50 m et la profondeur commune la plus profonde des deux types de profil (en général à 750 m) ainsi que la variabilité (écart-type) associée. Il est remarquable que, pour les deux composantes de la vitesse du courant, les différences moyennes n'excèdent qu'exceptionnellement 4 cm/s et les écart-type 2 cm/s. Ces valeurs nous confortent quant à la bonne qualité relative des mesures de courant obtenues pendant cette campagne.

### 5. *Format des fichiers résultats.*

*Il y a un fichier par profil L-ADCP. Les noms de fichier sont écrits de la manière suivante :*  
Eq2xxxyy.prf

Eq2 : 2<sup>nde</sup> campagne EQUALANT  
xxx : numéro de la station  
yy : indice de la palanquée

Les fichiers sont écrits en ASCII. Ils comportent une entête puis les mesures de vitesse. Il y a une mesure tous les 16 m. Les mesures valides débutent à 40 m. Les valeurs mentionnées pour la première couche ont été obtenues par extrapolation (couche constante –slab layer- à 8 m).

Exemple de début de fichier :

```
STNBR 082 CASTNO 1 NOMBRE ENR. = 224
DATE DEBUT : 18/08/2000 HEURE DEBUT : 22:47:45
DATE FIN : 19/08/2000 HEURE FIN : 01:05:05
LAT. DEBUT : -5.99988 LON. DEBUT : 8.99924
LAT. FIN : -6.00196 LON. FIN : 9.00120
DERIVE NAVIRE EN CM/S
U = 2.6 V = -2.8
PROF. U V NOMBRE
M CM/S CM/S OBS.
*****
8.0 5.1 2.8 0.0
24.0 5.1 2.8 0.0
40.0 5.7 2.1 126.5
```

.....	
STNBR	Numéro de station.
CASTNO	Indice de palanquée.
NOMBRE ENR.	Nombre de niveaux du profil.
DATE DEBUT (jj/mm/aaaa)	Date de début de profil.
HEURE DEBUT (hh:mm:ss)	Heure de début de profil.
DATE FIN (jj/mm/aaaa)	Date de fin de profil.
HEURE FIN (hh:mm:ss)	Heure de fin de profil.
LAT. DEBUT	Latitude de début de profil en degré décimaux.
LON. DEBUT	Longitude de début de profil en degré décimaux.
LAT. FIN	Latitude de fin de profil en degré décimaux.
LON. FIN	Longitude de fin de profil en degré décimaux.
DERIVE NAVIRE EN CM/S	
U	Composante zonale de la dérive du navire en cm/s entre le début et la fin du profil.
V	Composante méridienne de la dérive du navire en cm/s entre le début et la fin du profil.
PROF.	Profondeur de la mesure en m.
U	Composante zonale de la vitesse en cm/s.
V	Composante méridienne de la vitesse en cm/s.
NOMBRE	Nombre de mesures ayant permis de calculer les composantes de la vitesse.

Les latitudes Est (respectivement Ouest) sont positives (respectivement négatives).

Les vitesses vers le nord et vers l'est sont positives. Les vitesses vers le sud et vers l'ouest sont négatives.

## 6. *Présentation de sections verticales.*

Sur les **Figures 12, 13, 14 et 15**, les distributions verticales de la composante zonale du courant sont représentées le long des trois sections méridiennes parcourues pendant la campagne, à savoir le long de 10°W (de 6°S à 1°30'N, et le long de 7°W entre 1°30'N et 5°N), 0°E (de 3°S à 2°N, et à 3°E de 2°N à 3°N) et 6°E (de 6°S à 4°N), ainsi que la composante méridienne le long de la section 6°S, de 6°E au large des côtes du Congo-Brazzaville (Pointe – Noire). Les vitesses sont comptées positives (négatives) vers l'est (ouest) et le nord (sud).

**NOTA :** Il n'a été tenu aucun compte dans le traitement de l'influence éventuelle de la marée barotrope sur les résultats. En conséquence, les mesures présentées ici n'ont fait l'objet d'aucune correction *a posteriori*.

## 7. *Références bibliographiques*

Fischer, J., and M. Visbeck: Deep velocity profiling with self\_contained ADCPs, *J. Atmos. Oceanic Technol*, 10(5), 764-773, 1993.

Gouriou, Y., and C. Hémon: Traitement des données L-ADCP, *Centre ORSTOM de Cayenne, documents scientifiques n° O.P. 21*, 56pp, 1997.

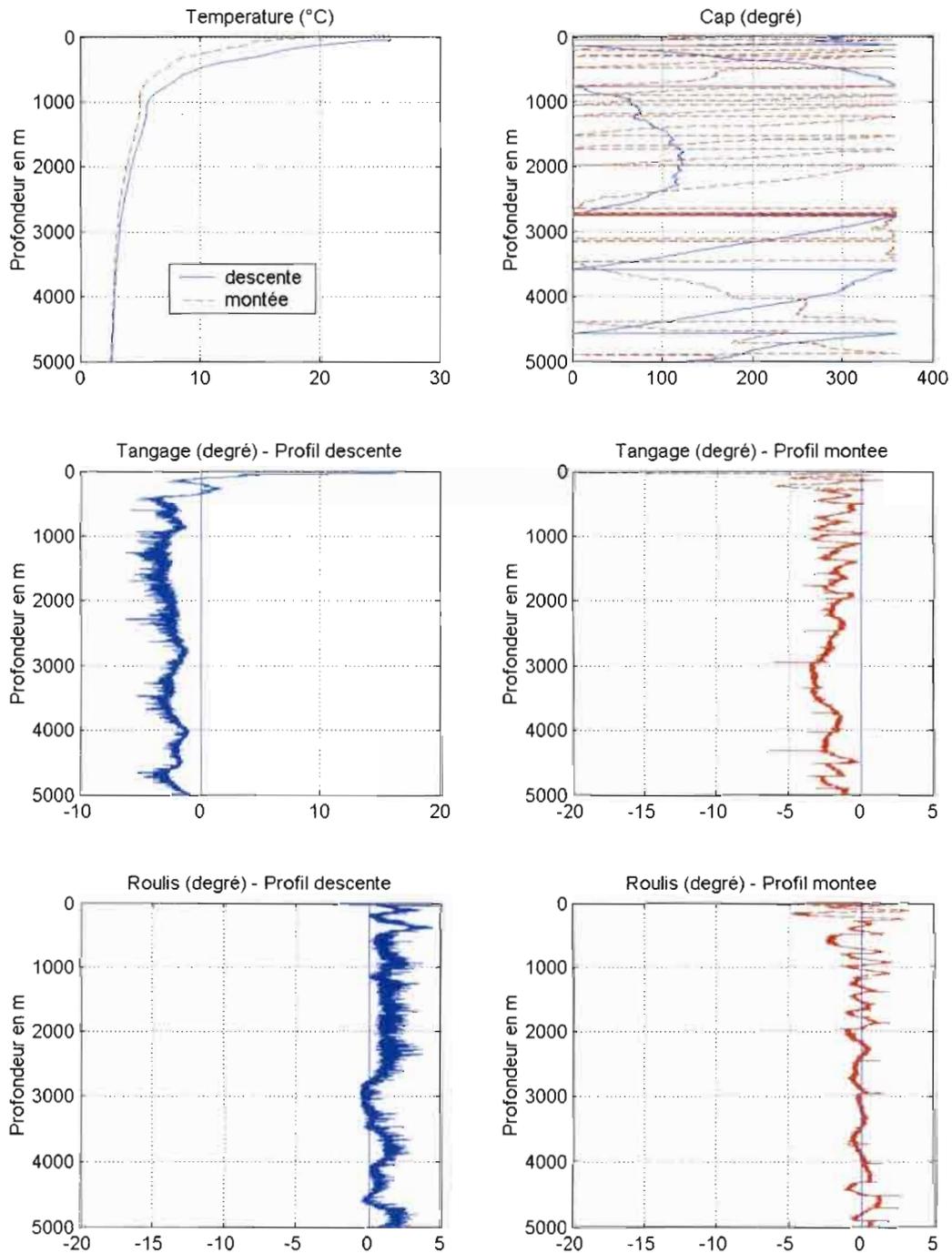
Gouriou, Y., Mesures avec le profileur de courant à effet Doppler (L-ADCP), Campagne EQUALANT 1999, N.O. Thalassa, 13juillet-21 août 1999, Rapport de campagne à la mer, *Rapport interne LODYC n°2000-01*, 2000.

Ogier, I.: Elaboration de la chaîne d'analyse et de traitement des données d'un courantomètre à effet Doppler, *Rapport de stage ISITV, Centre ORSTOM de Cayenne*, 66pp, 1995.

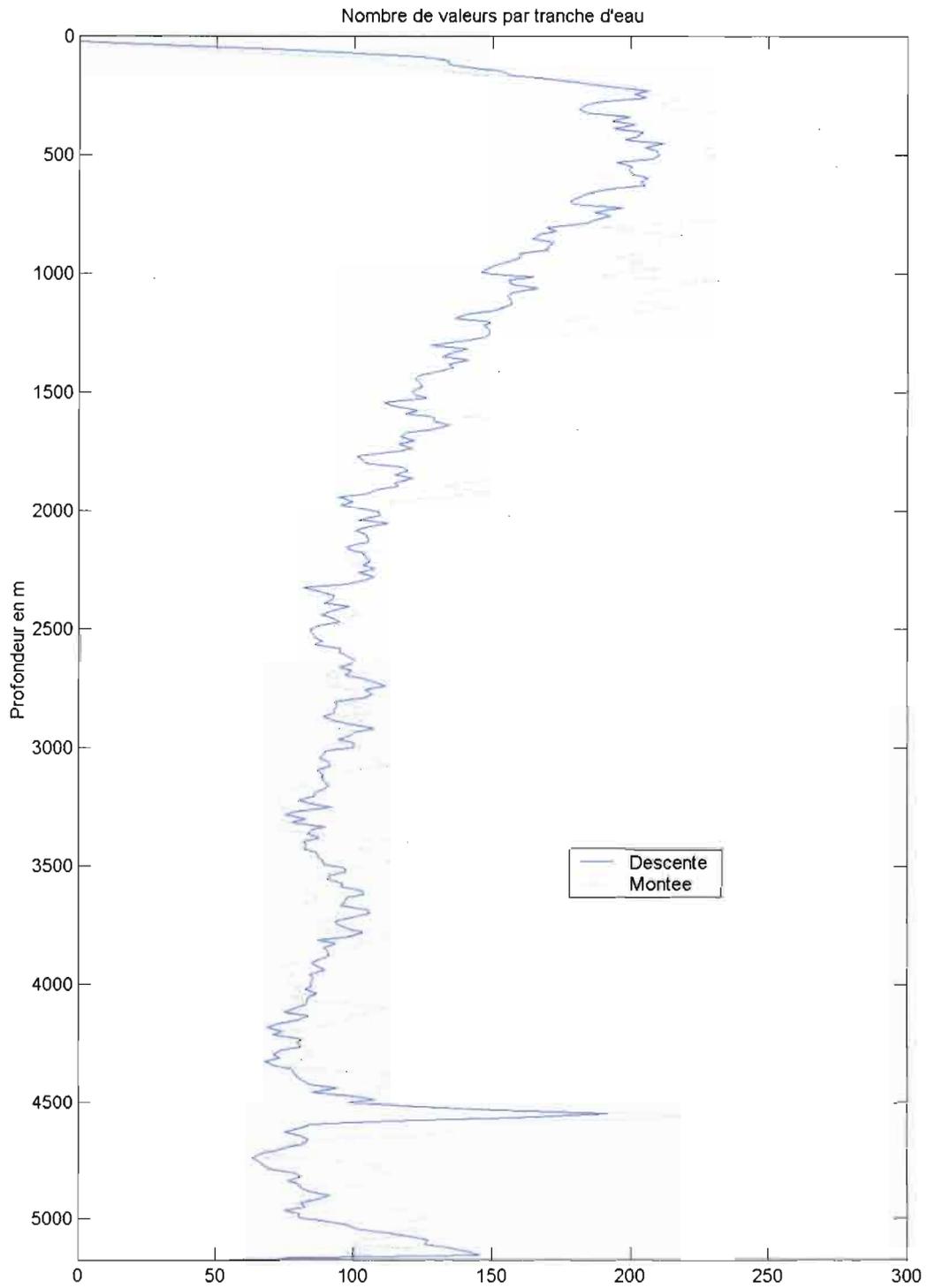
RD Instruments: Direct reading and self-containing Broadband acoustic Doppler current profiler, *RDI, Technical manual*, 1995.

**Figure 1** : Paramètres mesurés par le L-ADCP. Ex. pour la station n°14.

Equalant 2000 station n°014

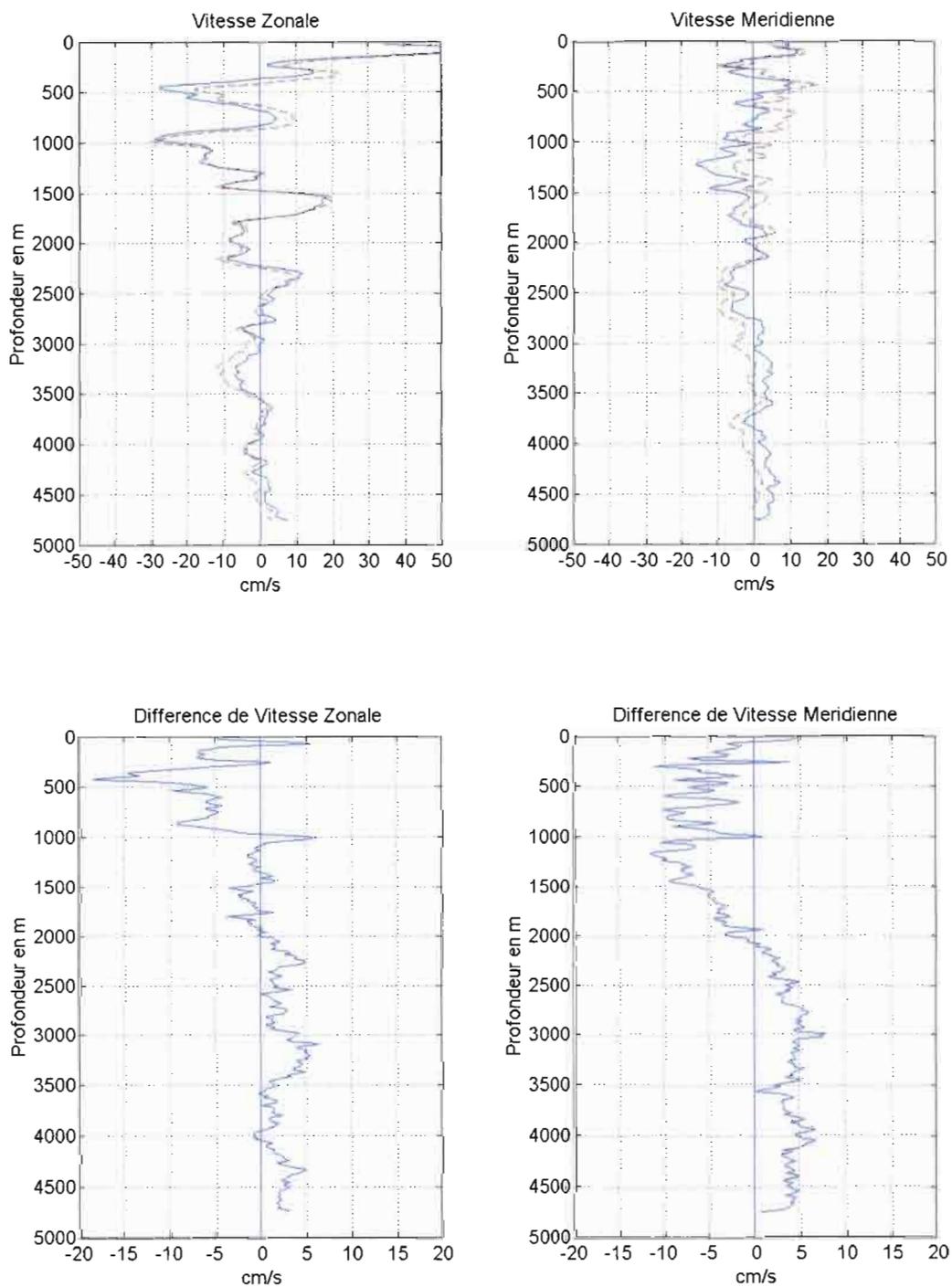


**Figure 2 :** Nombre de valeurs utilisées par tranche d'eau. Ex. pour la station n°14.



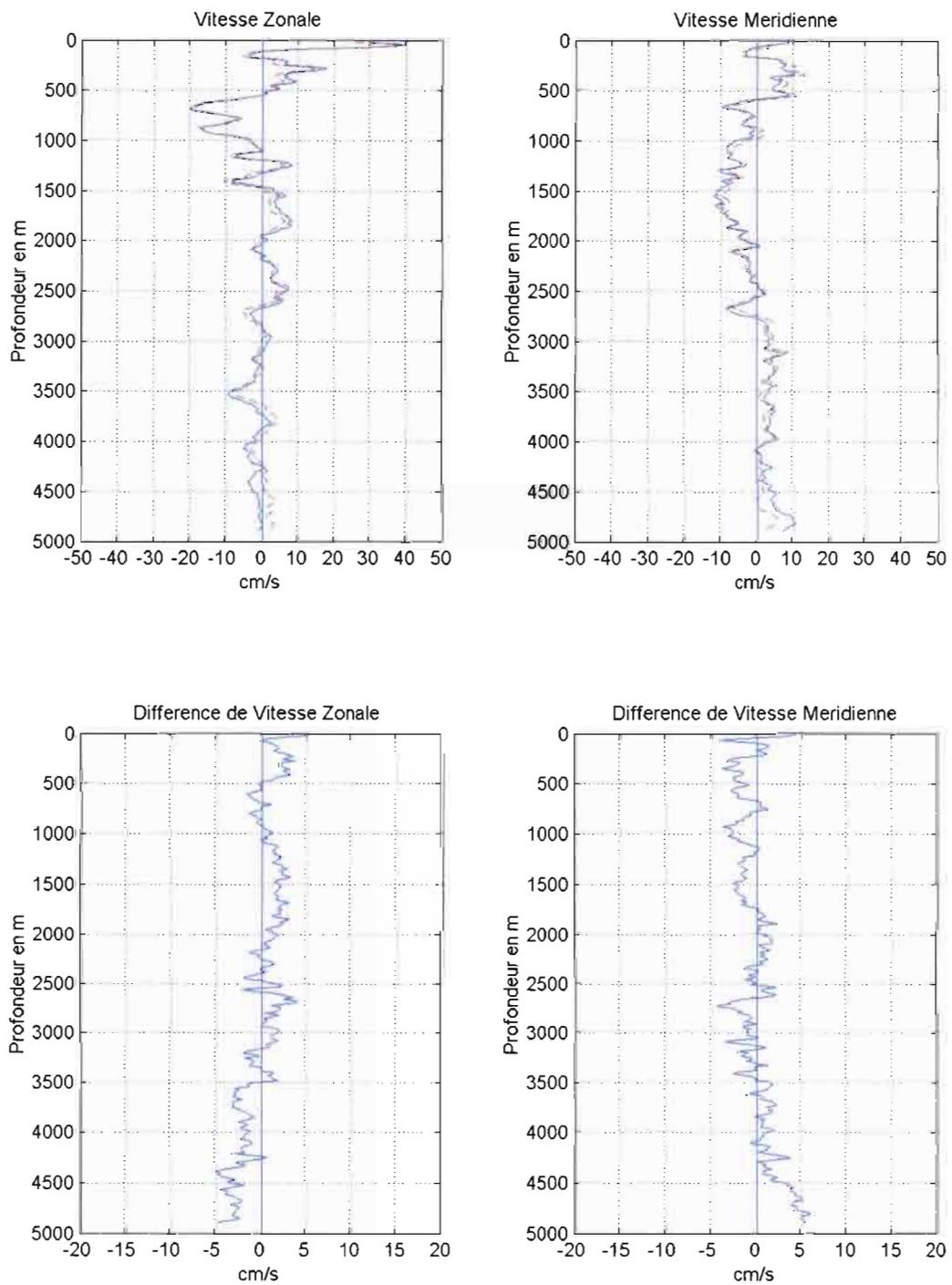
**Figure 3.** Composantes zonale et méridienne des profils de montée et de descente, ainsi que la différence entre ces profils pour chaque composante, pour la station 20 (0°N, 10°W).

EQUALANT 2000 station 020



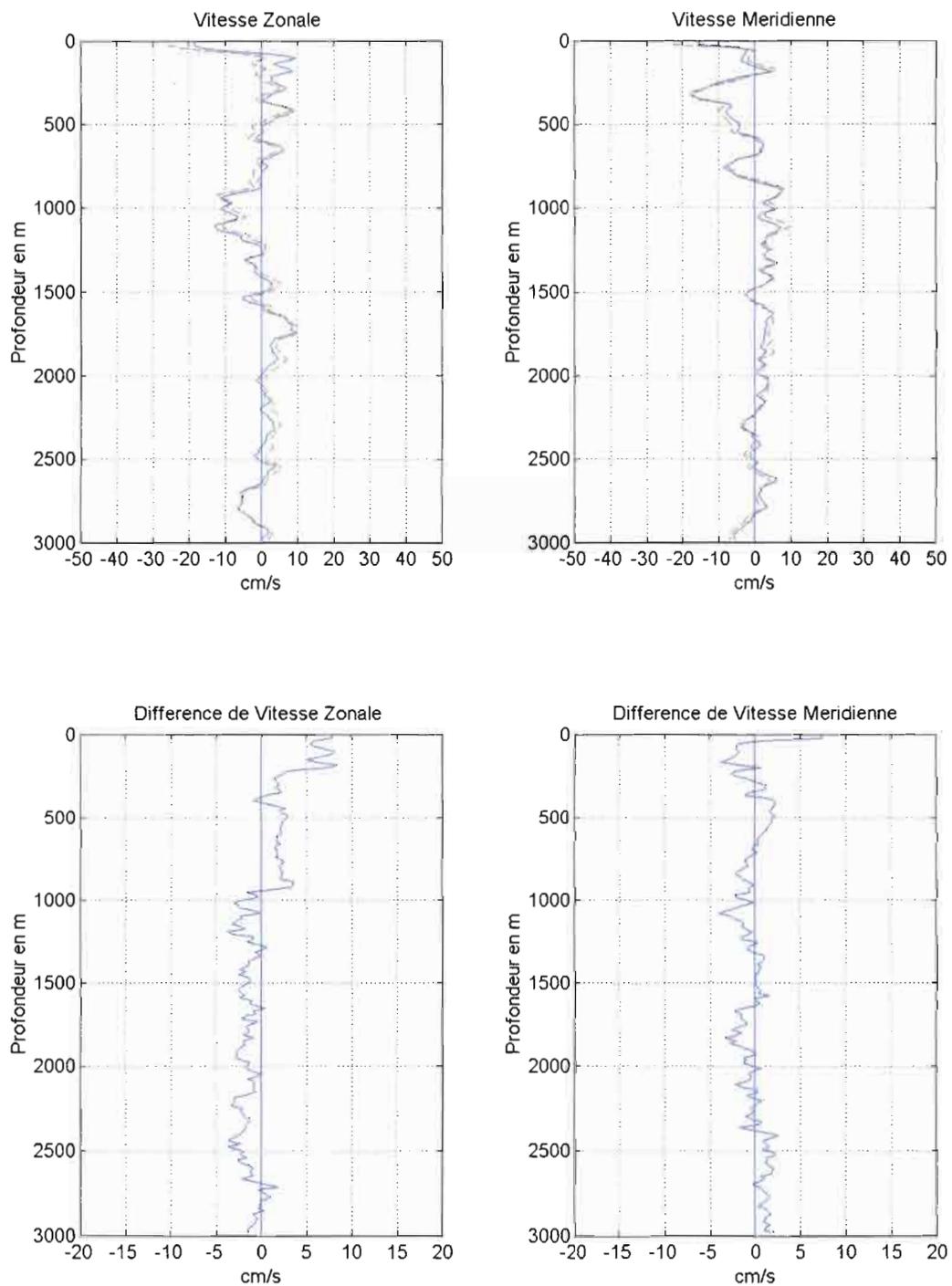
**Figure 4.** Composantes zonale et méridienne des profils de montée et de descente, ainsi que la différence entre ces profils pour chaque composante, pour la station 43 (0°N, 0°E).

EQUALANT 2000 station 043



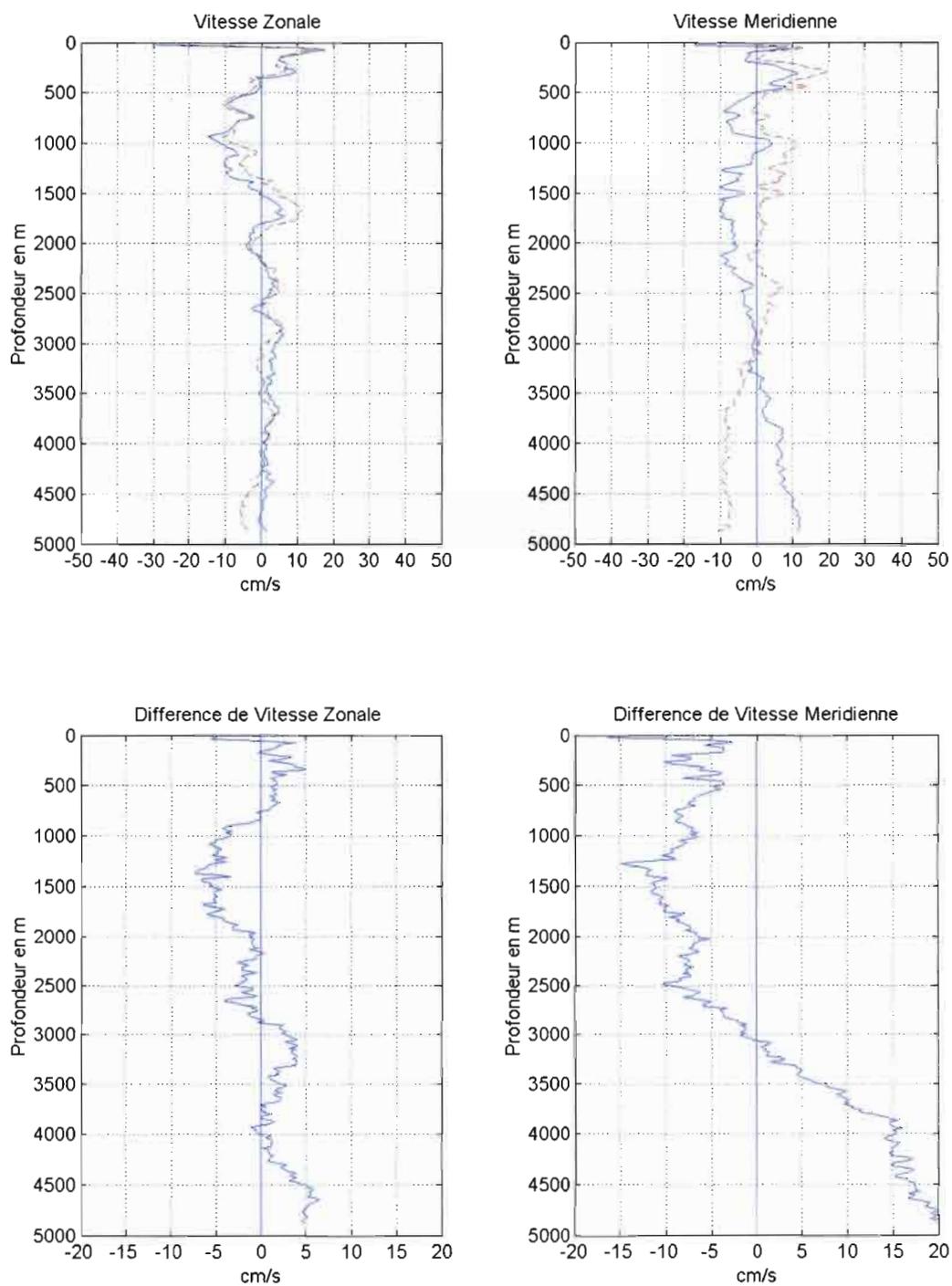
**Figure 5.** Composantes zonale et méridienne des profils de montée et de descente, ainsi que la différence entre ces profils pour chaque composante, pour la station 63 (0°N, 6°E).

EQUALANT 2000 station 063

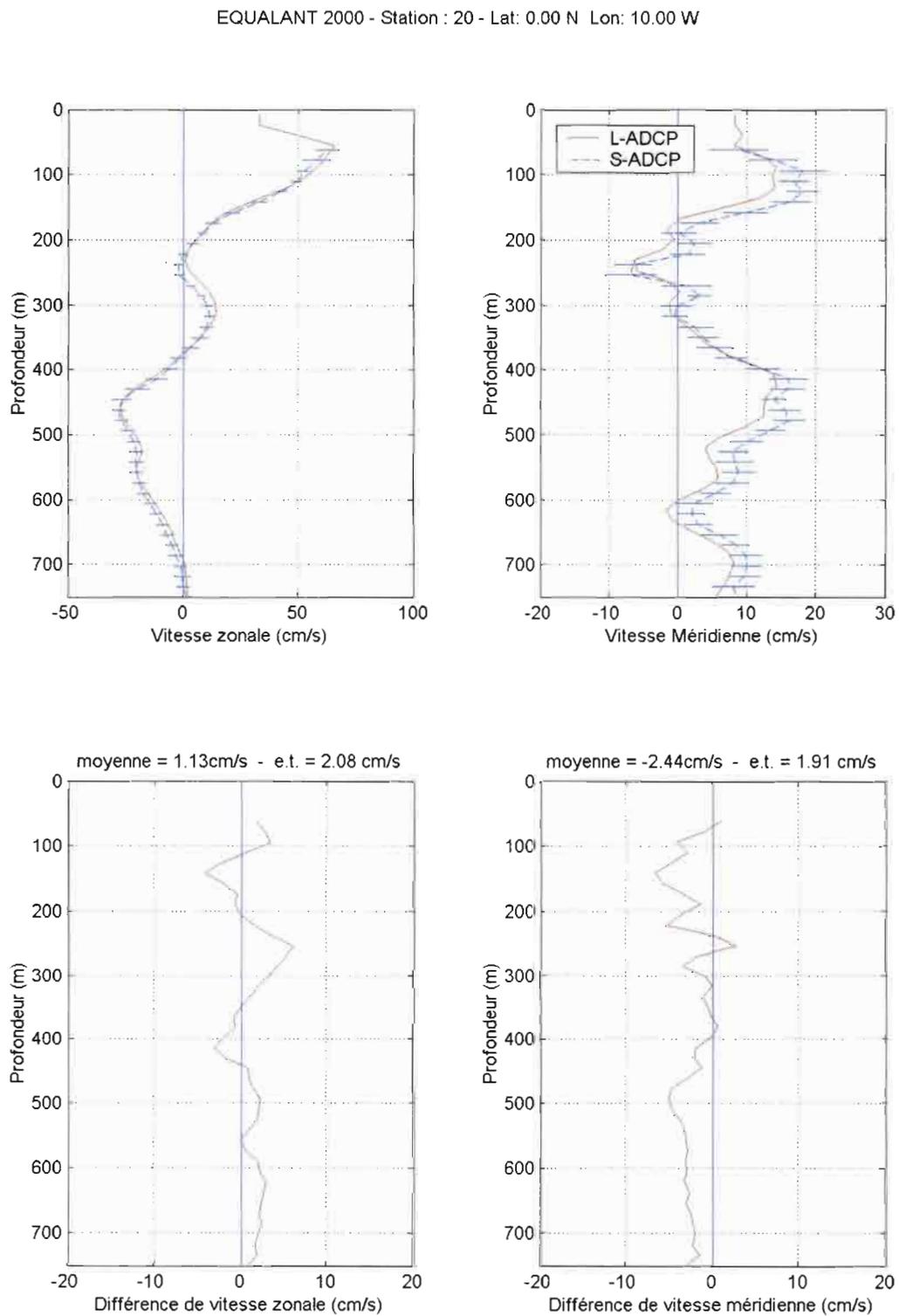


**Figure 6.** Composantes zonale et méridienne des profils de montée et de descente, ainsi que la différence entre ces profils pour chaque composante, pour la station 46 (1°N, 0°E).

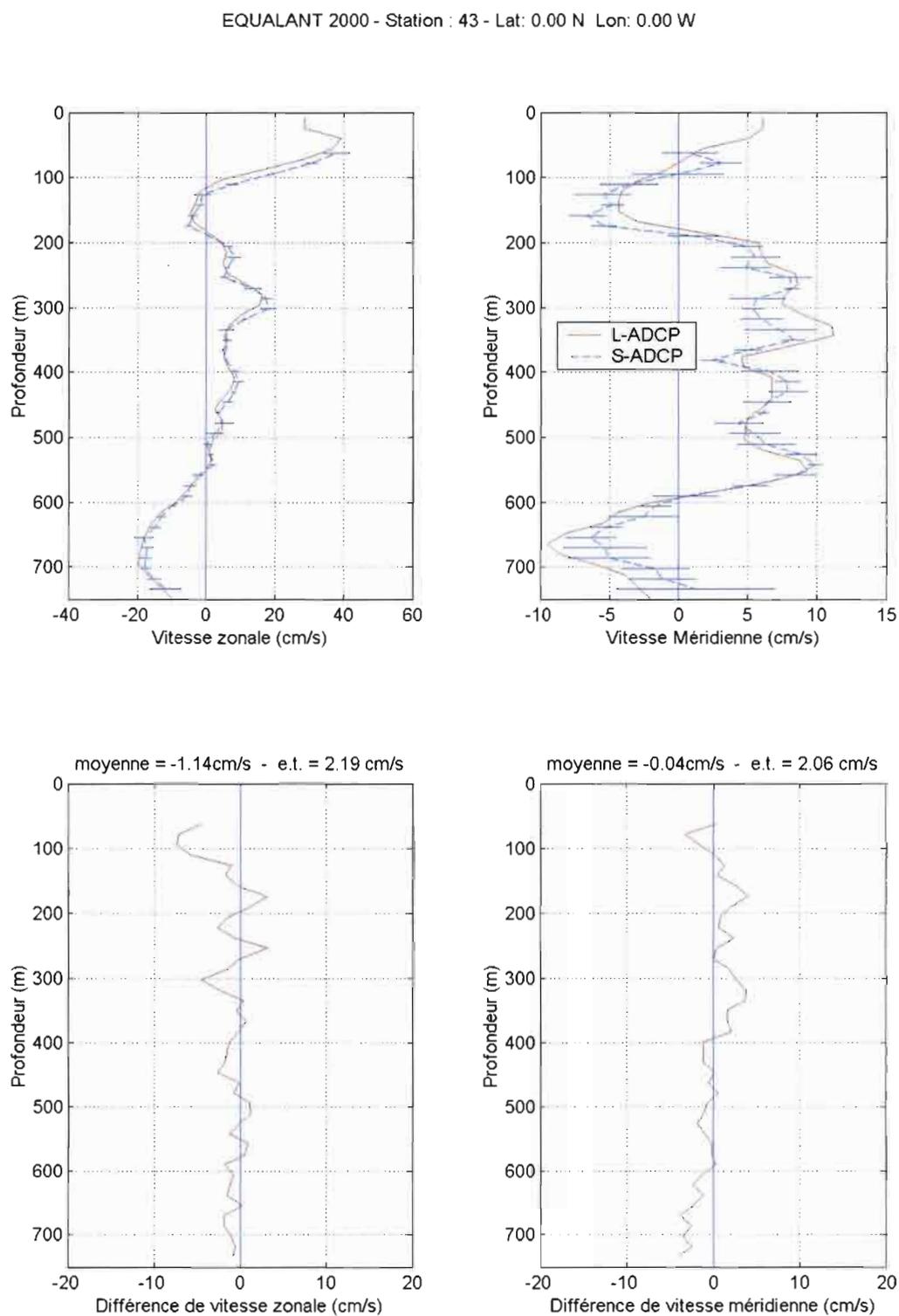
EQUALANT 2000 station 046



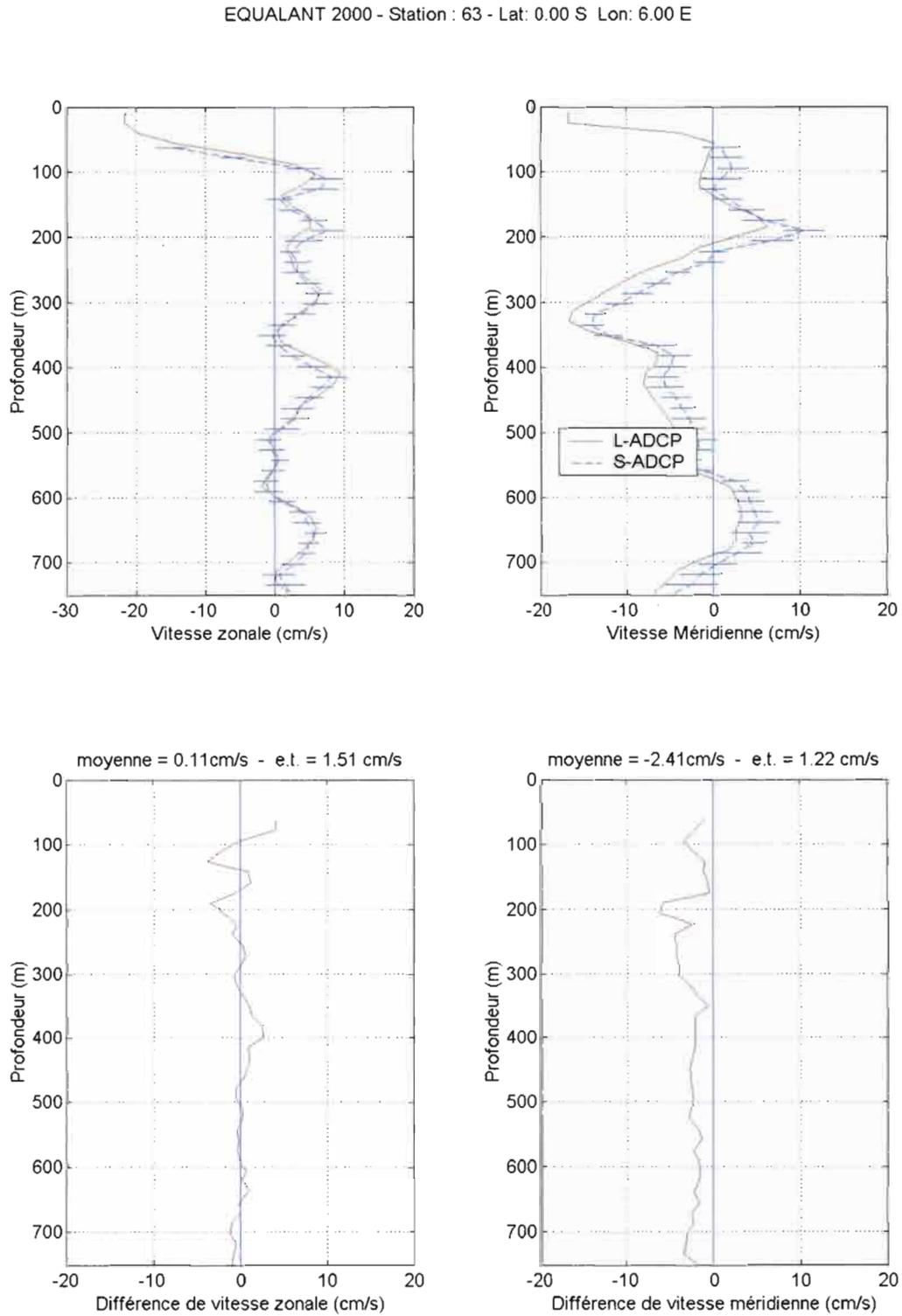
**Figure 7.** Comparaisons des composantes zonale et méridienne des profils obtenus à partir du L-ADCP et du VM-ADCP (75 kHz) pour la station 20 (0°N, 10°W).



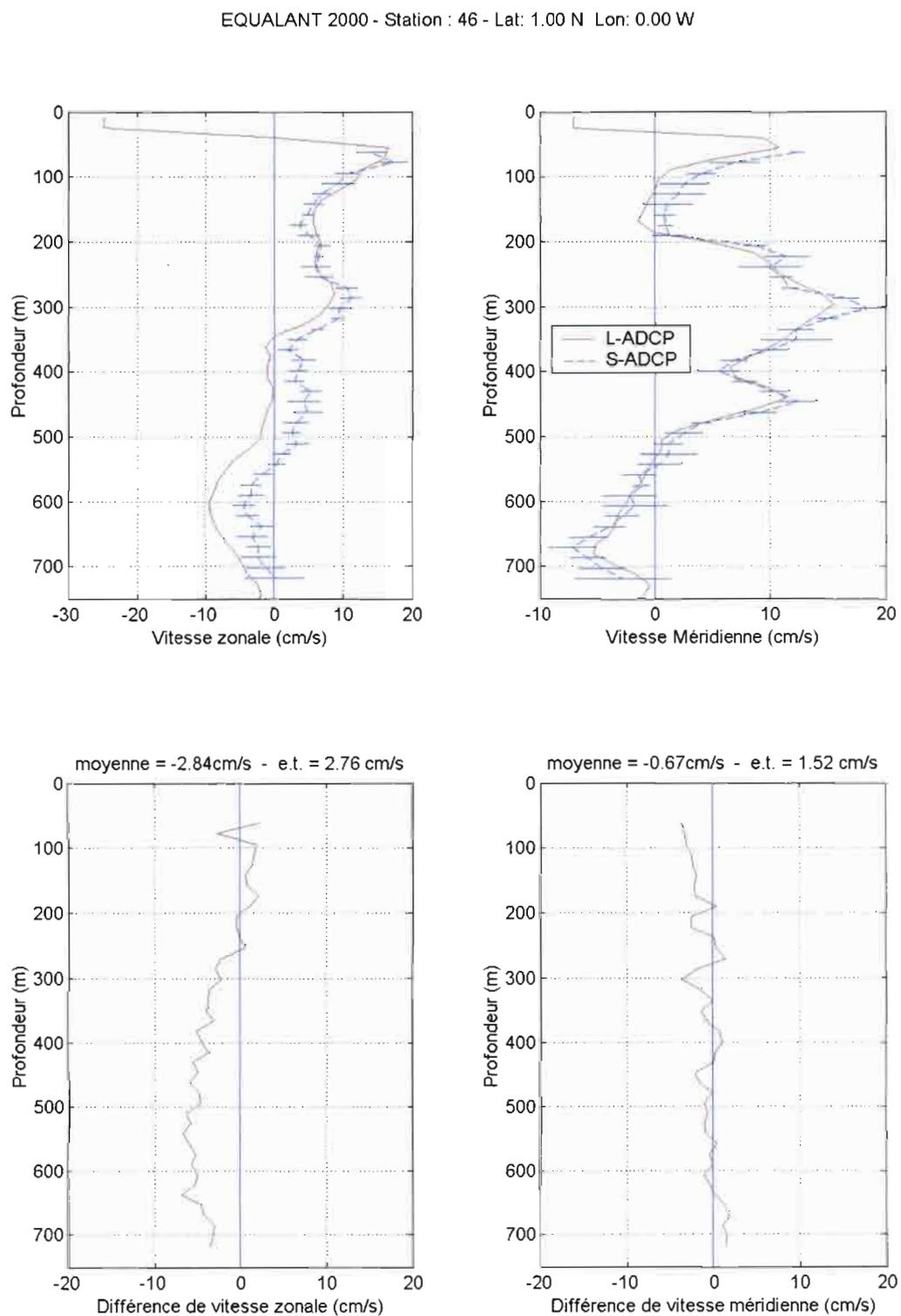
**Figure 8.** Comparaisons des composantes zonale et méridienne des profils obtenus à partir du L-ADCP et du VM-ADCP (75 kHz) pour la station 43 (0°N, 0°E).



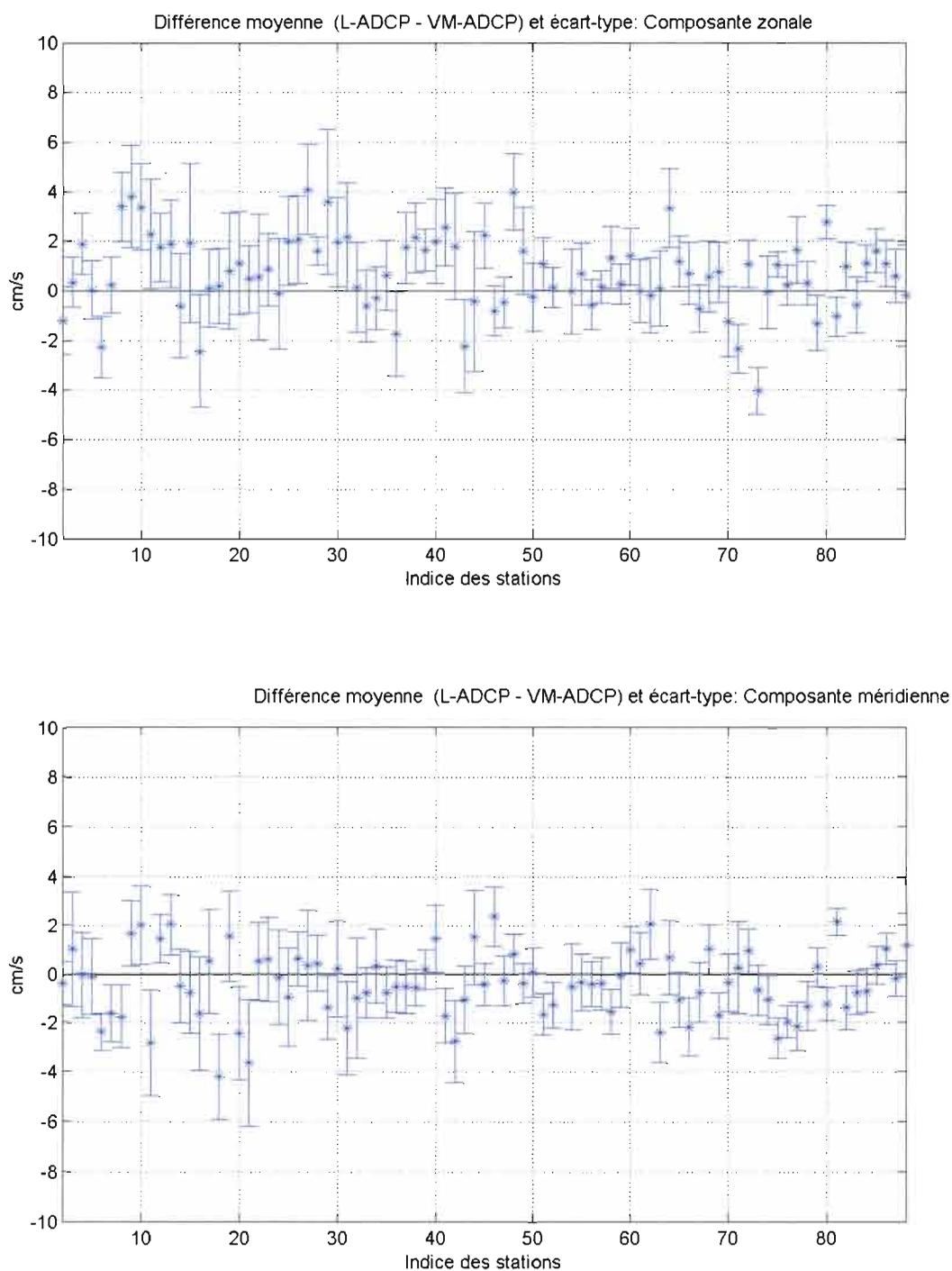
**Figure 9.** Comparaisons des composantes zonale et méridienne des profils obtenus à partir du L-ADCP et du VM-ADCP (75 kHz) pour la station 63 (0°N, 6°E).



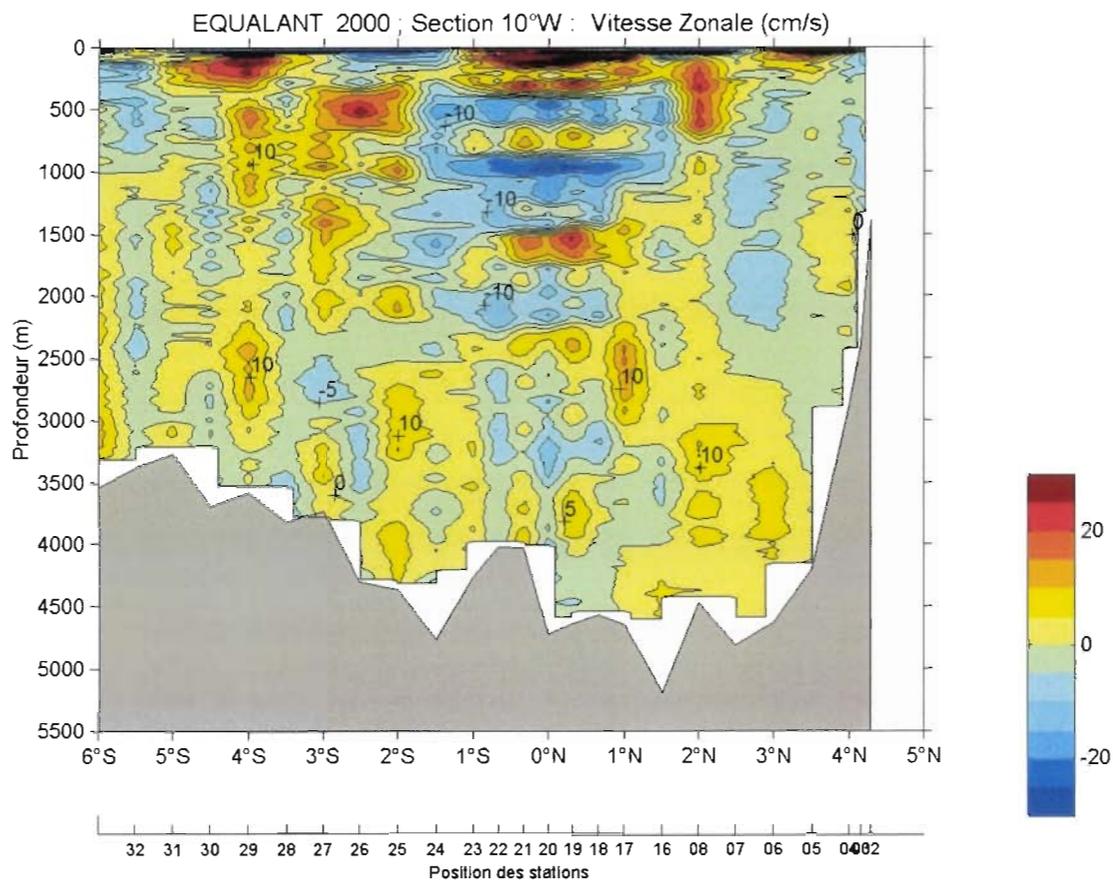
**Figure 10.** Comparaisons des composantes zonale et méridienne des profils obtenus à partir du L-ADCP et du VM-ADCP (75 kHz) pour la station 46 (1°N, 0°E).



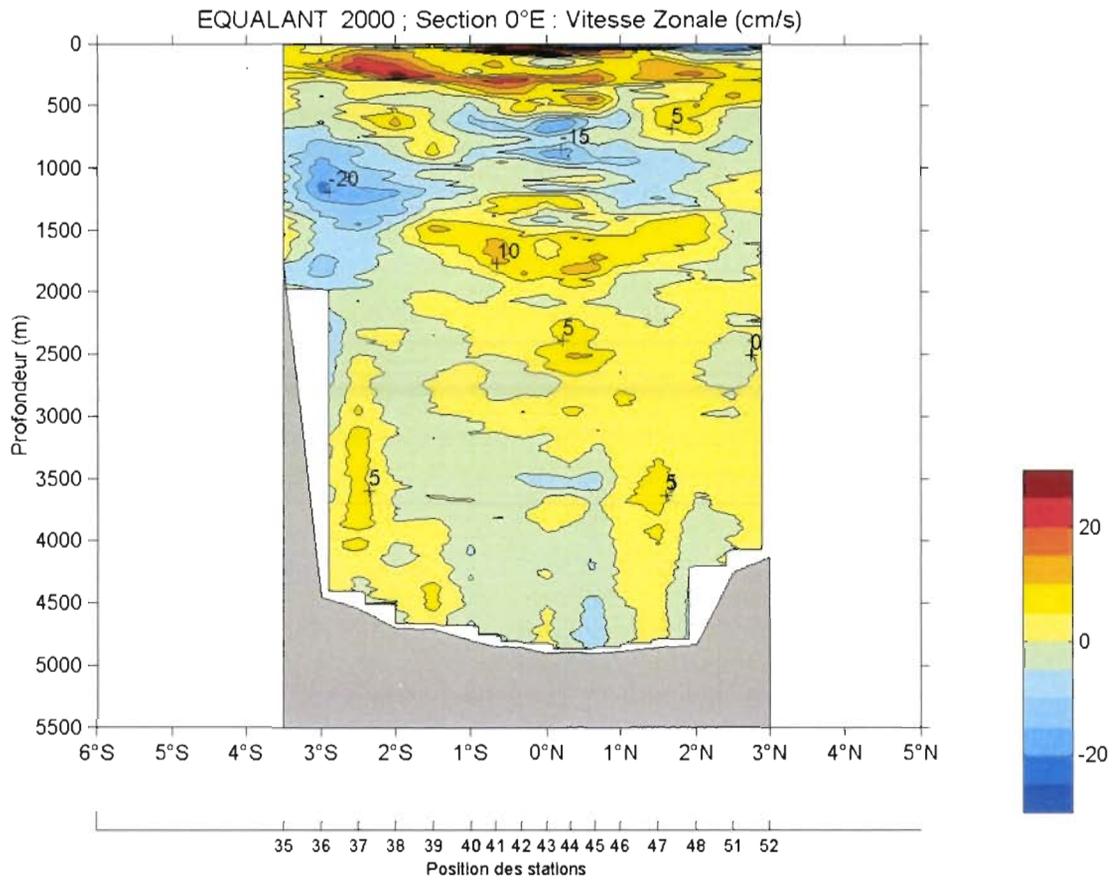
**Figure 11.** Différences moyennes et écarts-type des composantes zonale et méridienne des profils obtenus à partir du L-ADCP et du VM-ADCP (75 kHz), pour l'ensemble des profils.



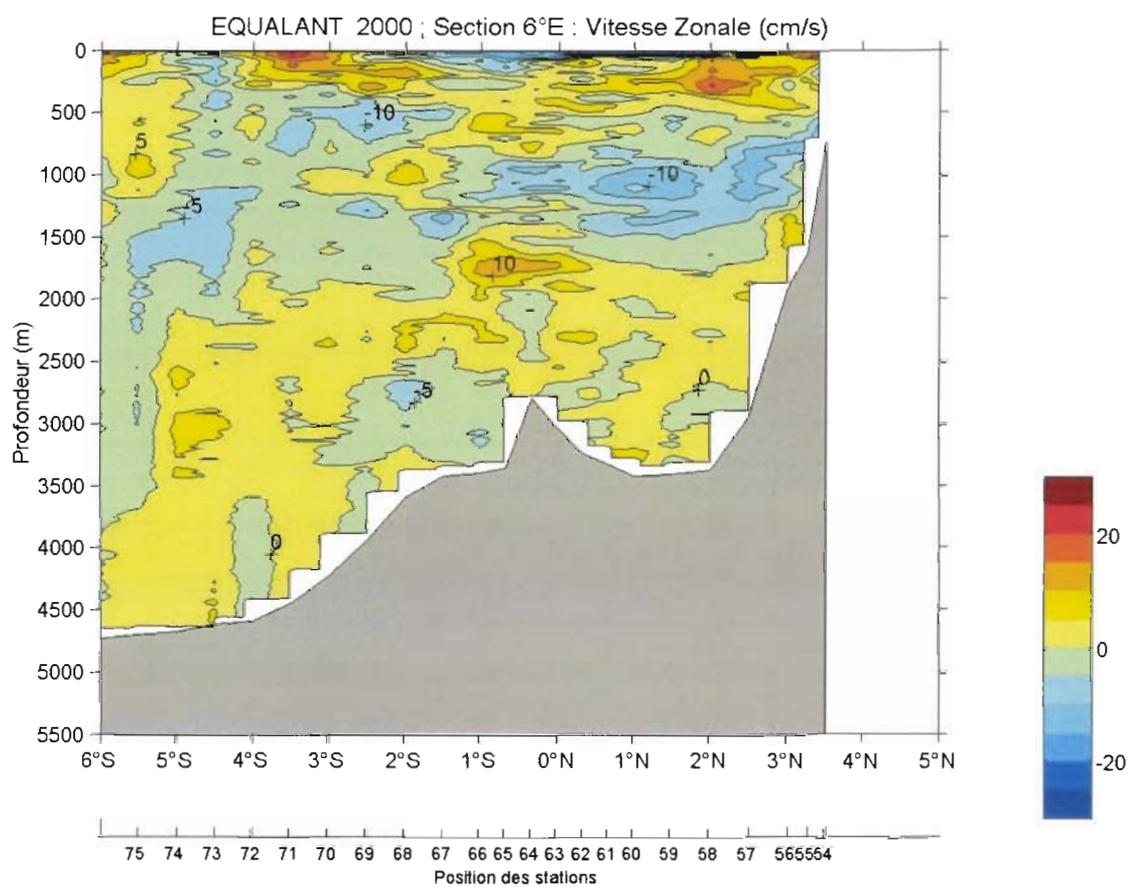
**Figure 12.** Section verticale de la composante zonale du courant (en cm/s) mesurée le long de la section méridienne 10°W (valeurs positives vers l'est).



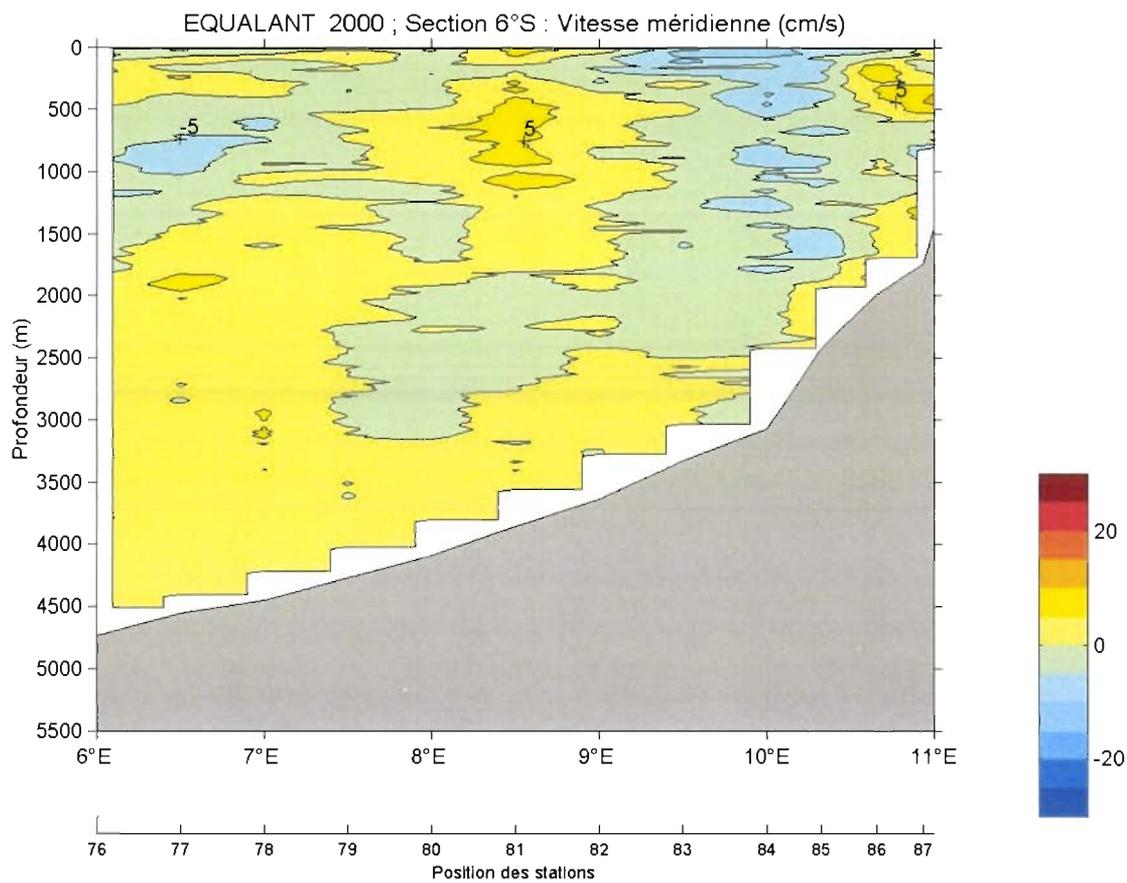
**Figure 13.** Section verticale de la composante zonale du courant (en cm/s) mesurée le long de la section méridienne 0°E (valeurs positives vers l'est).



**Figure 14.** Section verticale de la composante zonale du courant (en cm/s) mesurée le long de la section méridienne 6°E (valeurs positives vers l'est).



**Figure 15.** Section verticale de la composante zonale du courant (en cm/s) mesurée le long de la section zonale 6°S (valeurs positives vers le nord).



Bourlès Bernard, Gouriou Yves.

Mesures avec le profileur de courant à effet Doppler "profond" (L-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. 53-74 multigr.. (Document Scientifique et Technique du Centre IRD de Bretagne (FRA)), 89