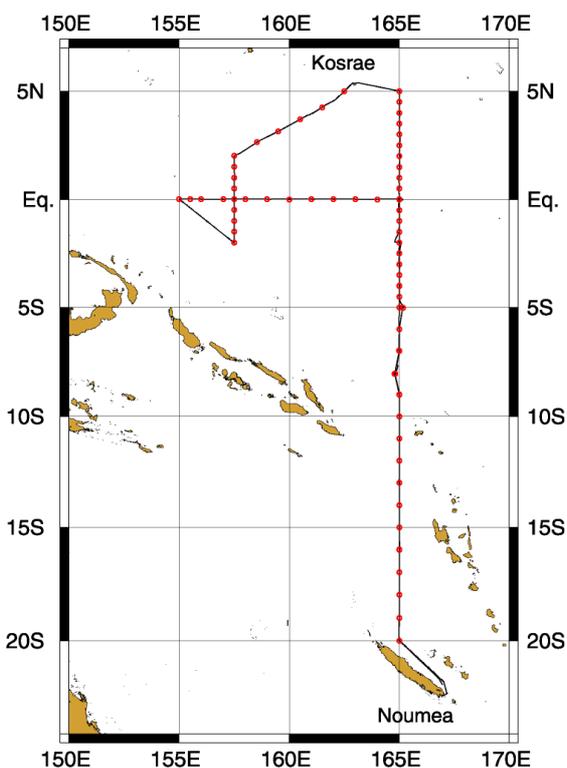


# Rapport de la mission FRONTALIS à bord du Navire Océanographique L'ALIS

(FRONTALIS cruise report)

29 mars – 26 avril 2001 ; 22°S – 5°N / 155°E - 165°E



Thierry Delcroix <sup>(1)</sup>  
François Baurand <sup>(2)</sup>  
Gérard Eldin <sup>(1)</sup>  
Francis Gallois <sup>(3)</sup>  
Yves Gouriou <sup>(3)</sup>  
Martine Rodier <sup>(3)</sup>  
David Varillon <sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup> IRD / LEGOS, Toulouse, France

<sup>(2)</sup> IRD, Brest, France

<sup>(3)</sup> IRD, Nouméa, Nouvelle-Calédonie





## RESUME

Les buts de la campagne FRONTALIS-01 étaient d'observer et d'améliorer la compréhension de la zone frontale située sur le bord est de la « warm pool » du Pacifique équatorial ouest tout en poursuivant la série de campagnes le long de 165°E débutée en 1984 pour appréhender la variabilité décennale. Cette campagne a eu lieu du 29 mars au 26 avril 2001, pendant l'événement La Niña de 1998-2001. Elle s'est déroulée à bord du navire océanographique l'ALIS, le long des méridiens 165°E (20°S-5°N), 157°30'E (2°N-2°S) et le long de l'équateur (165°E-155°E).

Au cours de la campagne FRONTALIS-01, 87 profils de température et salinité à la sonde CTD (0-500 m) et profils de courants (0-600 m) au profileur de courant à effet Doppler (L\_ADCP) monté sur le châssis de la sonde ont été effectués. En parallèle, ont été réalisés des prélèvements discrets sur les bouteilles Niskin pour l'analyse des sels nutritifs et de la chlorophylle "a". Des mesures de courants (0-250 m) en continue ont été réalisées à l'aide de l'ADCP monté sur la coque du navire. La température et la salinité de surface, la pression partielle de CO<sub>2</sub> ainsi que des relevés météorologiques ont été enregistrées toutes les 1 à 5 minutes. Des échantillons de méso-zooplancton (200-2000 µm) ont également été collectés à l'aide de filets à plancton triple WP2 le long de 165°E et de part et d'autre de la zone frontale. Cette campagne a également permis la pose d'un mouillage ADCP-TAO de sub-surface à 0°-165°E, des changements de capteurs météorologiques sur les mouillages TAO à 8°S-165°E et 0°-165°E, ainsi que le largage de 8 bouées dérivantes.

Ce rapport décrit le déroulement de la campagne ainsi que le matériel et les méthodes utilisés. Il présente également les figures préliminaires correspondant aux premiers résultats.

MOTS CLES : Campagne océanographique, Pacifique tropical ouest, température, salinité, courant, El Niño, La Niña, ENSO.

## ABSTRACT

The aims of the FRONTALIS cruise were to observe and improve the understanding of the zonal front located at the eastern edge of the western pacific warm pool, and to pursue the 165°E cruise series started in 1984 to get information about the decadal variability. The cruise took place from March 29 to April 26, 2001, during the 1998-2001 La Nina event. It was conducted on board the research vessel l'ALIS, along 165°E (20°S-5°N), along 157°30'E (2°N-2°S) and along the equator (155°E-165°E).

A total of 87 stations were completed, each of which providing CTD-derived temperature and salinity profiles (0-500 m) together with concurrent L\_ADCP-derived current profiles (0-600 m). At the same time, discrete seawater samples were taken on the Niskin bottles for nutrients analyses and chlorophyll "a" determinations. Continuous current measurements (0-250 m) as well as near-surface temperature and salinity and partial pressure of CO<sub>2</sub> were recorded every 5 minutes, in using respectively a vessel mounted ADCP, two thermosalinographs and an infrared analyzer. Wind speed and direction, air temperature, humidity and atmospheric pressure at the sea level were also recorded every 1 to 5 minutes. Mesozooplankton (200-2000 µm) were caught by triple WP-2 nets along 165°E and on either side of the frontal zone. A TAO-ADCP subsurface mooring was deployed at 0°-165°E, and atmospheric sensors were replaced at the 8°S-165°E and 0°-165°E TAO moorings. A total of 8 drifting buoys were deployed in the equatorial band.

This report describes the cruise chronology, the materials and methods used, and it presents some preliminary figures.

KEY WORDS : Oceanographic cruise, tropical Pacific, temperature, salinity, current, El Niño, La Niña, ENSO.

## REMERCIEMENTS

La campagne hauturière FRONTALIS-01 à bord du navire océanographique L'ALIS de l'IRD n'aurait pu se faire sans la participation active et le dévouement de tout le personnel du bord remarquablement commandé par J.F. Barazer.

L'autorisation de travail dans les eaux territoriales des Pays traversés a été obtenue grâce aux interventions répétées et argumentées de C. Colin, Directeur du Centre IRD de Nouméa, auprès des Ambassades de France à Fidji et en Papouasie Nouvelle Guinée. Nous remercions sincèrement les Gouvernements du Vanuatu, des Iles Salomon, de Nauru et des Etats Fédérés de Micronésie pour leurs autorisations.

De nombreux aspects techniques, informatiques et logistiques nécessaires au bon déroulement de la campagne, à l'acquisition, au traitement et à l'analyse des données ont été menés à bien grâce (pour l'essentiel) à L. Foucher, P. Gode, R. Le Borgne, F. Masia, J.Y. Panché, L. Poircuitte et H. Walico du Centre IRD de Nouméa et au soutien de l'Unité de Service de l'IRD « Moyens à la Mer et Réseaux d'observations ».

Des estimations de la position du front de salinité recherché nous ont été régulièrement fournies avant et pendant la campagne par C. Maes (IRD/LEGOS, Toulouse) grâce à une méthode spécifique utilisant les données TAO récupérées au PMEL (Seattle). Les 8 bouées dérivantes utilisées nous ont été fournies gratuitement par l'AOML (Miami) auprès de qui nous avons également récupéré les données correspondantes. Des techniciens de Météo-France de Nouméa ont généreusement calibrés les capteurs météorologiques avant le départ de la campagne. L'analyseur Li-Cor pour la mesure en continue du pCO<sub>2</sub> nous a été prêté par J.F. Ternon (IRD, Cayenne).

La campagne FRONTALIS a été soutenue par le Programme National de la Dynamique du Climat (PNEDC) et la commission flotte de l'IRD.

## TABLE DES MATIERES

<b>1. Introduction</b>	<b>5</b>
<b>2. Déroulement de la campagne</b>	<b>5</b>
<b>3. Hydrologie</b>	<b>7</b>
<b>4. Courantométrie (ADCP de coque)</b>	<b>9</b>
<b>5. Courantométrie (ADCP descendant)</b>	<b>11</b>
<b>6. Mesures chimiques</b>	<b>15</b>
<b>7. Mesures biologiques</b>	<b>15</b>
<b>8. Bouées dérivantes</b>	<b>16</b>
<b>9. Mouillages TAO</b>	<b>16</b>
<b>10. Météorologie</b>	<b>16</b>
<b>11. Références</b>	<b>18</b>
<b>12. Liste des figures</b>	<b>20</b>
<b>Annexe 1 : Chronologie détaillée de la campagne</b>	<b>23</b>
<b>Annexe 2 : Couverture médiatique</b>	<b>25</b>
<b>Figures</b>	<b>26 à 130</b>

## 1. INTRODUCTION

Le Pacifique équatorial se caractérise en moyenne dans sa partie ouest par des eaux de surface chaudes et dessalées ( $SST > 28^{\circ}\text{C}$ ,  $SSS < 35$ ) qui reflètent l'existence de la warm pool (aussi appelée fresh pool) dont l'extension zonale varie essentiellement à l'échelle interannuelle en phase avec les phases chaudes (El Niño) et froides (La Niña) du phénomène ENSO (El Niño-Oscillation Australe).

Le bord est de la *warm pool* se distingue, le plus souvent, par un front zonal marqué en salinité de surface, en pression partielle de  $\text{CO}_2$  et en concentration de sels nutritifs et plancton. Ce front résulte de la convergence des eaux du Pacifique équatorial ouest et des eaux du Pacifique équatorial central. Cette convergence influence la présence et/ou détermine la genèse de la couche barrière qui joue un rôle important dans les échanges océan - atmosphère au sein de la warm pool. Les déplacements du front zonal précité et de la zone de convergence sont à l'origine de l'extension (El Niño) ou de la réduction (La Niña) de la surface océanique couverte par des eaux supérieures à  $28^{\circ}\text{C}$  qui représente la température critique à partir de laquelle la convection atmosphérique est organisée. Ce faisant, ces déplacements sont à la source du phénomène couplé océan - atmosphère ENSO. Ils sont également liés aux déplacements zonaux de la zone de pêche aux thons la plus riche au monde.

Des informations scientifiques plus complètes sur le déplacement de la warm pool et les liens physiques et biogéochimiques avec la zone frontale et la couche barrière peuvent être obtenues, par exemple, dans les articles de Lukas et Lindstrom (1991), Fu et al. (1986), Picaut et Delcroix (1995), Inoue et al. (1996), Picaut et al. (1996, 2001), Eldin et al. (1997), Lehodey et al. (1997), Vialard et Delecluse (1998), Delcroix et Picaut (1998), Rodier et al. (2000), Delcroix et McPhaden (2002), Leborgne et al. (2002), Vialard et al. (2002), etc., et en consultant les références de ces articles.

Le but principal de la campagne FRONTALIS dans le Pacifique tropical ouest était d'observer en détail la zone frontale située au voisinage du bord est de la warm pool et de tenter de comprendre les mécanismes responsables de sa formation, à la fois d'un point de vue physique et biochimique. Les buts complémentaires de la campagne étaient de poursuivre la série de campagnes à  $165^{\circ}\text{E}$  qui a débuté en 1984 (Delcroix et Eldin, 1995), afin d'appréhender la variabilité décennale, et de contribuer à la maintenance et/ou à l'installation des mouillages TAO le long de  $165^{\circ}\text{E}$  (cf. McPhaden et al., 1998).

Ce rapport décrit le déroulement de la campagne FRONTALIS-1 (section 2), les mesures à la sonde CTD (Conductivity Temperature Depth) et aux thermosalinographes (section 3), les mesures de courant avec l'ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) de coque (section 4) et celui monté sur le châssis de la CTD (section 5), les mesures chimiques (section 6), les largages de bouées dérivantes et leurs trajectoires (section 7), les interventions sur les mouillages TAO (section 8) et les mesures météorologiques (section 9).

## 2. DEROULEMENT DE LA CAMPAGNE FRONTALIS-1

La campagne FRONTALIS-1 à bord du N.O. ALIS s'est déroulée du 29 mars au 26 avril 2001. Des radiales méridiennes ont été réalisées le long de  $165^{\circ}\text{E}$  ( $20^{\circ}\text{S}$ -Equateur puis  $5^{\circ}\text{N}$ - $20^{\circ}\text{S}$ ) et de le long de  $157^{\circ}30'\text{E}$  ( $2^{\circ}\text{N}$ - $2^{\circ}\text{S}$ ). Une radiale a longé l'équateur de  $165^{\circ}\text{E}$  à  $155^{\circ}\text{E}$  et une autre a relié  $2^{\circ}\text{N}$ - $157^{\circ}30'\text{E}$  à  $5^{\circ}\text{N}$ - $163^{\circ}\text{E}$ . La route suivie est présentée sur la Figure 1.

### 2.1. Travaux réalisés en station

87 stations hydrologiques (CTD 0-500 m) et couranto-métriques (0-600m L-ADCP) ont été réalisées le long des différentes radiales. Une chronologie sommaire est donnée ci-dessous, une version plus détaillée des opérations est donnée en Annexe 1.

J01 à J09 :

- Stations CTD et L\_ADPC tous les degrés de  $20^{\circ}\text{S}$  à  $5^{\circ}\text{S}$  puis tous les  $0,5$  degrés entre  $5^{\circ}\text{S}$  et l'équateur le long de  $165^{\circ}\text{E}$  (26 stations).
- Changement du capteur de vent au mouillage TAO à  $8^{\circ}\text{S}$ - $165^{\circ}\text{E}$  (J6).
- Pose du mouillage TAO-ADCP de sub-surface à  $0^{\circ}$ - $165^{\circ}\text{E}$  (J9).
- Changement du capteur de pluie au mouillage TAO à  $0^{\circ}$ - $165^{\circ}\text{E}$  (J9).

- Largage d'une bouée dérivante à 0°-165°E (J9).
- Trait de filet à plancton (0-200 m) à 0°-165°E (J9).

#### J09 à J12 :

- Stations CTD et L\_ADCP tous les degrés de 165°E à 155°E le long de l'équateur, plus une station à 0°-155°30'E (11 stations).
- Trait de filet à plancton (0-200 m) à 0°-164°E (J9)
- Traits de filet à plancton (0-200 m) à 0°-155°30'E et 0°-155°E (J12).
- Largage d'une bouée dérivante à 0°-155°E (J12).

#### J13 à J15 :

- Stations CTD et L\_ADCP tous les 0,5 degrés de 2°S à 2°N le long de 157°30'E (9 stations).
- Traits de filet à plancton (0-200 m) tous les degrés de 2°S à 2°N le long de 157°30'E.
- Largages de bouées dérivantes à 2°S, 0°, 2°N le long de 157°30'E.

#### J15 à J16 :

- Stations CTD et L\_ADCP tous les degrés de longitude de 2°N-157°30'E à 4°30'N-162°30'E (5 stations).
- Traits de filet à plancton (0-200 m) tous 2 degrés de longitude de 2°N-157°30'E à 4°30'N-162°30'E (3 traits).

#### J17 à J19 :

- Escale à Kosrae, Micronésie (5°20'N – 163°E).

#### J20 à J30 :

- Stations CTD et L\_ADCP tous les 0,5 degrés entre 5°S et 5°N puis tous les degrés de 5°S à 20°S le long de 165°E (35 stations).
- Traits de filet à plancton (0-200 m) tous les degrés de 5°N à 10°S le long de 165°E.
- Largages de bouées dérivantes à 5°N, Eq., 10°S le long de 165°E.

### **2.2. Travaux réalisés en route**

- Mesure en continu des courants absolus 0-250 m au moyen d'un profileur acoustique à effet Doppler (ADCP).
- Mesure en continu (enregistrement toutes les 5 minutes) de la température et de la salinité de surface au moyen de deux thermosalinographes.
- Mesure en continu de la température de l'air, pression atmosphérique, humidité relative, vitesse et direction du vent (enregistrement toutes les minutes) avec la station Batos.
- Mesure en continu du pCO<sub>2</sub> dans l'eau de mer de surface, au moyen d'un analyseur infrarouge LI-COR et après équilibrage de l'eau de mer avec l'air prélevé au même endroit.

### **2.3. Personnel scientifique embarqué**

Thierry Delcroix	DR, Chef de mission	IRD Nouméa
François Baurand	ASIN	IRD Brest
Gérard Eldin	CR	IRD Toulouse
Francis Gallois	IE	IRD Nouméa
Martine Rodier	CR	IRD Marseille
David Varillon	IE	IRD Nouméa

### **2.4. Personnel du bord embarqué**

Jean François Barazer	Comandant
Loic Legoff	Second
Patrick Donval	Lieutenant
Yvon Faes	Chef mécanicien
Alain David	Second mécanicien
Marcel Sajel	Graisneur
Christian Fitialeta	Matelot

Jean Paul Garcia	Matelot
Jacques Qenenoj	Cuisinier
Felix Liufau	Bosco
Albert Iopue	Maître d'hôtel

### 3. HYDROLOGIE

#### 3.1. Sonde CTD

Une sonde CTD SeaBird modèle 911+ a été utilisée pour les 87 profils verticaux de température et de salinité de 0 à 500 m. Cette sonde était montée sur un châssis aluminium, au-dessous d'une rosette 12 bouteilles Niskin et à côté du système L\_ADCP et de ses batteries (Figure 2). L'acquisition s'est faite à l'aide des logiciels Seasoft. Le rythme d'acquisition des données à la descente et à la remontée a été de 24 enregistrements par seconde. Enregistrées sur PC, les données ont été moyennées tous les 1 dbar. La liste des stations CTD est donnée en Annexe 1.

Les deux capteurs de température N° 2551 et 2552 ont été pré-étalonnés chez SeaBird le 21 novembre 2000 ; ils étaient associés respectivement aux deux capteurs de conductivité N° 2340 et 2343 pré-étalonnés chez SeaBird le 07 octobre 2000. Des mesures suspectes de salinité basées sur les capteurs 2551 (T) et 2340 (C), montés en capteurs primaires, sont apparues aux stations 53 (4°30'N-165°E), 54 (4°N-165°E) et 55 (3°30'N-165°E). Une analyse du problème<sup>1</sup> nous a conduit à remplacer le capteur 2551 (T) pour la station 56 (3°N-165°E) et suivantes par le capteur 2589 (T) pré-étalonné chez Seabird le 13 janvier 1999. Seules les valeurs de salinité utilisant les capteurs 2552 (T) et 2343 (C), montés en capteurs secondaires, doivent être utilisées pour les stations 53 à 55. Outre les stations 53 à 55, les différences en température et en salinité fournies par la série des deux capteurs pour les autres stations se sont avérées négligeables.

Les capteurs de T et S (Conductivité) ont été post-étalonnés chez Seabird Inc. le 05 juin 2001. Des différences minimales ont été trouvées en utilisant les coefficients de pré et post-étalonnages (voir table 1). Les données enregistrées sur Sun/Unix tiennent cependant compte du pré- et post-étalonnage, en supposant une dérive linéaire dans le temps.

Stations	Capteurs de température				Capteurs de conductivité			
	Numéro	Pré	Post	Dérive	Numéro	Pré	Post	Dérive
1-55	2551	21/11/00	05/06/01	-0.00207	2340	07/10/00	05/06/01	0.0001
	2552	21/11/00	05/06/01	0.00031	2343	07/10/00	05/06/01	0.0001
53-55	2552	21/11/00	05/06/01	0.00031	2343	07/10/00	05/06/01	0.0001
56-87	2589	13/01/99	05/06/01	0.00141	2340	07/10/00	05/06/01	0.0001
	2552	21/11/00	05/06/01	0.00031	2343	07/10/00	05/06/01	0.0001

Table 1. Capteurs de température et de salinité à utiliser selon les stations, dates de pré- et post-étalonnages chez SeaBird Inc., et dérives observées entre ces dates (°C/an pour T et équivalent en psu/mois pour la conductivité mesurée à 3.0 S/m).

Les profils 0-500 dbar de température, de salinité et de densité potentielle, les courbes Température / Salinité et les valeurs numériques à niveaux standard sont présentés sur les Figures 3 à 46. Les valeurs numériques reportées au niveau P=0 dbar correspondent à l'intervalle 1-3 dbar. Les sections méridiennes et zonales de température et de salinité sont présentées Figures 47 à 50.

#### 3.2. Thermosalinographe

La température et la salinité de surface (ou de la proche surface) ont été mesurées en toutes les minutes pendant toute la durée de la campagne par deux thermosalinographes (TSG) SBE-21 et SBE-45 du fabricant SeaBird. L'acquisition des données TSG et de la position a été réalisée avec le logiciel LapView. Le TSG SBE-21 muni d'un débulleur était identique aux TSG installés par le programme ECOP sur les navires de commerce. L'installation est décrite Grelet et al. (1992), Hénin et Grelet

<sup>1</sup> Les mesures du capteur 2551 (T) présentaient des pics non-physiques de l'ordre de 0.02 à 0.05°C qui induisaient des erreurs sur le calcul de salinité.

(1996) et Prunier-Mignot et al. (1999). Le système SBE-45, beaucoup moins onéreux, a été installé spécialement pour la campagne dans le but de tester cet appareil pour une utilisation éventuelle sur les navires marchands. Le SBE-45 a été monté en parallèle avec le SBE-21 (Figure 51).

Les capteurs des 2 TSG ont été pré- et post- étalonnés chez Seabird Inc. selon le tableau 2. Les dérives se sont avérées négligeables.

Capteurs	Pré-étalonnage	Post-étalonnage	Dérive
SBE21, T	29/09/00	11/10/01	$12. 10^{-5}$
SBE21, S, s/n 462	29/09/00	11/10/01	$3. 10^{-4}$
SBE45, T	24/01/01	18/06/01	xx
SBE45, S	24/01/01	18/06/01	xx

Tableau 2. Dates de pré- et post- étalonnages des capteurs de température et de salinité et dérives observées entre ces dates (°C/an pour T et équivalent en psu/mois pour la conductivité mesurée à 3.0 S/m).

Des problèmes dans le circuit de débullage liés au débit et/ou au mauvais réglage de la pompe alimentant les 2 TSG ont été constatés au cours de la campagne. Pour minimiser les pics de salinité résultants, une médiane toutes les 11 minutes a été calculée à partir des valeurs par minutes.

Les mesures TSG (médianes à 11 minutes) ont été comparées aux mesures CTD à 2 m pour chaque station (Figure 52). Les comparaisons entre mesures CTD et mesures TSG ont mis en évidence des dérives quasi-linéaire des TSG que nous avons interprétées comme liées à l'encrassement de la cellule de conductivité et/ou aux changements trop fréquents du réglage de débit effectués en raison de la chauffe de la pompe. Des dérives linéaires ont été calculées sur plusieurs périodes différentes en fonction des capteurs ; elles sont indiquées dans le Tableau 3.

S-SBE 21	J1 à J3.5	Salinité (TSG-CTD) = $0.0019.dt + 0.0411$
S-SBE 21	J4 à J7.5	Salinité (TSG-CTD) = $0.0008.dt + 0.0094$
S-SBE21	J8 à J11	Salinité (TSG-CTD) = $0.0033.dt + 0.0331$
S-SBE21	J12 à J15	Salinité (TSG-CTD) = $0.0029.dt - 0.0112$
S-SBE21	J19 à J27	Salinité (TSG-CTD) = $0.0036.dt - 0.0222$
T-SBE21	J0 à J4	Température (TSG-CTD) = 0.536
T-SBE21	J5 à J27	Température (TSG-CTD) = 0.316
S-SBE45	J1 à J3.5	Salinité (TSG-CTD) = $0.0637.dt - 0.0709$
S-SBE45	J3.5 à J15	Salinité (TSG-CTD) = $0.0085.dt + 0.1273$
S-SBE45	J19 à J27	Salinité (TSG-CTD) = $0.0053.dt + 0.1266$
T-SBE45	J0 à J4	Température (TSG-CTD) = 0.52
T-SBE45	J5 à J27	Température (TSG-CTD) = 0.305

Tableau 3. Ajustements linéaires de l'écart entre les mesures de salinité (psu) et de température (°C) effectuées avec les TSG (SBE21 et SBE45) et la CTD (à 2 m) pour différentes périodes Jx à Jy. Le terme "dt" est exprimé en jours dans les calculs de dérive linéaire.

Les données TSG de salinité de surface ont ainsi été corrigées en considérant les mesures CTD comme représentant la vérité terrain. Après avoir enlevé les tendances linéaires sur les périodes distinctes, la moyenne et l'écart type des différences entre mesures TSG et CTD ont été calculées et sont reportées dans la tableau 4.

	Moyenne des différences	Ecart type des différences
Salinité (SBE21 versus CTD, psu)	0.0059	0.0240
Salinité (SBE45 versus CTD, psu)	0.0080	0.0307
Temp. (SBE21 versus CTD, °C)	-0.0012	0.0264
Temp. (SBE45 versus CTD, °C)	-0.0007	0.0318

Tableau 4. Moyennes et écart-types des différences entre les salinités et températures mesurées par TSG (SBE21 et SBE45) et celles mesurées par CTD à 2 m, après correction des mesures TSG basée sur un ajustement aux mesures CTD (cf. Tableau 3).

Les valeurs TSG de température et salinité de surface des 4 sections de la campagne sont présentées Figures 53 à 55 en fonction de la latitude ou de la longitude. Noter que seules les valeurs issues de la sonde SBE21 sont présentées sur ces figures, celles issues de la sonde SBE45 sont graphiquement identiques.

#### 4. Mesures de courants par le profileur de coque à effet Doppler (VM-ADCP)

Introduction. Les mesures de courant dans les premières centaines de mètres de l'océan permettent de décrire précisément la circulation océanique de surface associée à la variabilité climatique dans les tropiques. Pour cela, les profileurs de coque à effet Doppler (VM-ADCP) procurent des profils de courant en continu le long de la route du navire. De plus, ces mesures permettent une inter-comparaison avec les mesures du courant effectuées par le courantomètre à effet Doppler installé sur la bathysonde (L-ADCP).

Equipement. Le N.O. Alis est équipé depuis octobre 1999 d'un VM-ADCP fabriqué par la société RDI, un modèle BB-150 installé auparavant sur le N.O. Antéa. Cet appareil (« broadband », 150 kHz) est normalement de portée moyenne (~200-300 m), et s'utilise avec une résolution verticale de 4-8 m. Pour cette campagne, et dans le but d'obtenir une amélioration de la qualité des signaux acoustiques, le transducteur est placé directement dans l'eau de mer. L'unité de pont est interfacée au gyroscope de passerelle du navire par liaison synchro 1/1. Un récepteur GPS multi-antennes Sercel NR-230 fournit au PC d'acquisition des trames de navigation GPGGA par liaison directe RS-232, ainsi que des données d'attitude (cap, roulis, tangage), à une cadence de 0.6 s.

Acquisition. L'acquisition se fait sur un PC de classe Pentium III, avec enregistrement des données sur disque dur. La configuration d'acquisition est résumée dans le Tableau 5. Avant le départ de la campagne, les tests logiciels de l'ADCP ont été effectués avec succès.

L'acquisition (Tableau 5) s'est déroulée tout au long de la campagne, avec quelques interruptions momentanées (quelques heures) dues à des « plantages » informatiques. Du fait de l'immersion directe du transducteur dans la mer, la qualité du signal acoustique était meilleure qu'au cours des campagnes précédentes, et on n'a pas constaté d'interruption d'acquisition due à la mauvaise qualité du signal. La dérive d'horloge interne des ADCPs a été vérifiée tous les deux jours et est restée négligeable. Les données de positionnement GPS ont été obtenues sans interruption et stockées dans les fichiers « navigation » de Transect. Le programme NAVSOFT de RDI a été utilisé seulement pour l'affichage des profils en temps réel.

Acquisition BB-150 pour Frontalis 01	
Programme d'acquisition	Transect v. BB 3.05
Longueur de « bin »	8 m
« Blanking interval »	4 m
Mode d'acquisition	7
Durée d'ensemble	300 s
Passage en coordonnées géographiques à chaque « ping »	oui
Corrections roulis/tangage	non
Calcul vitesse du son à chaque « ping »	oui
Prof. du premier « bin »	17 m
Premier profil	29/03/2001 02:01 TU
Dernier profil	25/04/2001 11:37 TU

Tableau 5: Caractéristiques d'acquisition du VM\_ADCP.

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., 1989). Une partie est effectuée à bord au fur et à mesure de l'acquisition. C'est la version Linux de ce logiciel qui a été utilisée ici, sur un PC tournant sous « PhatLinux ». Après la campagne le traitement est repris et un étalonnage de l'appareil peut être fait.

*Constitution d'une base de données.* Les fichiers « processed » issus de Transect sont chargés dans une base de données au format CODAS.

*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 56) 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.

*Intégration de la navigation.* Les positions GPS GPGGA enregistrées à la fin de chaque profil et les vitesses relatives ADCP permettent de calculer le courant absolu dans une couche de référence (ici 40-100 m). Ce courant est filtré (filtre de Blackman de ½ largeur 30 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.

*Etalonnage.* Deux types d'erreur 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 l'amplitude de la vitesse calculée par effet Doppler. L'erreur d'orientation provient de l'erreur sur les indications du gyroscope et d'une éventuelle erreur sur l'orientation de l'embase au montage. L'erreur d'amplitude 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 le GPS d'attitude, moyennés sur la durée de chaque profil. On a constaté pendant les 4 premiers jours de campagne un dérive de l'écart cap gyro – cap GPS, atteignant 1.5°, due à un mauvais réglage de la correction automatique du gyro avec la latitude (Figure 57). Après correction de ce problème, l'écart est resté négligeable, de l'ordre de 0.3 °.

Il a été montré (Pollard et Read, 1989) que la comparaison des vitesses de courant absolues avant/après les changements importants de vitesse du navire (stations) permet une estimation statistique d'un angle  $\phi$  et d'un facteur multiplicatif  $A$  à appliquer aux profils relatifs. Dans le cas présent  $\phi$  représentera l'angle résiduel entre l'axe des antennes du GPS d'attitude et l'axe de l'ADCP ; les valeurs trouvées sont données au Tableau 6. Les rotation et homothétie correspondantes sont appliquées aux profils relatifs et le calcul de navigation (4.4.3) est de nouveau effectué.

Frontalis 01	BB-150
$A$	0.999
$\phi$	-0.4°

Tableau 6 : Coefficients d'étalonnage déterminés après correction des erreurs dues au gyro du navire.

La valeur de  $A$ , très proche de 1, est différente de celles trouvées pour les campagnes précédentes (~0.98) : la cause peut en être un meilleur calcul de la vitesse du son avec le transducteur en eau de mer.  $\phi$  est du même ordre que précédemment (-0.4 à -1°) La Figure 58 présente les histogrammes des valeurs calculées de  $A, \phi$  et de l'écart d'horloge ADCP-GPS, après correction de +5s (qui influe peu sur les données).

*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 du

pourcentage de bon « pings » en fonction de la profondeur (PGOOD) renseignent sur la portée utile des appareils. La portée moyenne (donnée par la profondeur où PGOOD = 30%) est de 285 m en stations et de 245 m en route, soit une augmentation de 45 et 65 m, respectivement, par rapport aux campagnes précédentes. Cette amélioration est due principalement à l'utilisation du transducteur directement immergé dans l'eau de mer.

*Présentation des résultats.* Le logiciel CODAS permet d'obtenir des sections et séries temporelles pour tracés de coupes ou de vecteurs. Les coupes des composantes de vitesse U et V sont présentées Figures 59 à 62 pour les 4 sections les plus significatives de la campagne.

## 5. Mesures avec le profileur de courant à effet Doppler 'Profond' (L-ADCP)

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 LADCP (Fischer et Visbeck, 1993). Nous décrivons ici brièvement le principe des mesures effectuées par cet appareil et de leur traitement, avant de présenter les résultats obtenus.

Principes de la mesure. Le courantomètre à effet Doppler est un appareil BroadBand de la marque RD Instruments (RDI), fonctionnant à une fréquence de 150 Khz. Cet appareil est fixé à une bathysonde et effectuée lors de la descente et de la remontée de celle-ci des mesures de courant simultanément à la sonde CTD. Cet appareil émet une onde sonore ('ping') qui se réfléchit sur les particules, supposées sans mouvement propre, en suspension dans l'eau de mer; ainsi, leur mouvement est 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.

Le LADCP 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 LADCP évalue les composantes horizontales et verticales 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 LADCP 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 LADCP 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 LADCP mesurés par le capteur interne, la vitesse du son utilisée.

Pour chaque cellule, le LADCP 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. Pendant l'acquisition, les mesures de vitesse sont transformées et enregistrées en coordonnées terrestres.

Traitement des mesures. Le traitement des mesures LADCP est 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 et 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).

Contrairement au VM-ADCP (voir section précédente), le LADCP, 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, c'est-à-dire en associant tous les profils effectués au cours du mouvement vertical du LADCP.

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

- Par intégration de la vitesse verticale mesurée par le LADCP. Ce calcul suppose que les mouvements verticaux des particules d'eau sont très faibles par rapport à la vitesse de descente de l'appareil.
- En utilisant les mesures de pression fournies par la sonde CTD. La comparaison des mesures de temps de l'horloge interne du LADCP et l'enregistrement du temps GPS à chaque mesure de la sonde permet d'attribuer une profondeur à chaque mesure du LADCP (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, 24 Hz).

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 de la sonde CTD.

Les mesures effectuées par le LADCP 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.

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 LADCP en début et en fin de la station (Fischer et Visbeck, 1993; Gouriou et 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.

Acquisition des mesures et résultats. Le LADCP est fixé au corps de la bathysonde. Il est alimenté par une batterie externe, rechargée durant le transit entre 2 stations. Le LADCP est muni d'une mémoire interne lui permettant d'enregistrer jusqu'à 20 Mo 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 LADCP est ensuite vidée et la charge des batteries vérifiée. Les résultats bruts sont pré-visualisés afin d'observer prioritairement : l'allure générale des profils des différents paramètres enregistrés et le comportement des différents faisceaux.

Les valeurs des paramètres définies lors de la configuration préalable du LADCP pendant la campagne Frontalis 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, 87 profils CTD et LADCP ont été effectués de la surface à 500 m. Nous disposons donc de la vitesse absolue du courant de la surface à 800 m de profondeur environ pour l'ensemble de ces profils.

Le compas et les capteurs de roulis et tangage placés dans le LADCP permettent d'avoir une image du comportement du châssis de la bathysonde lors des profils. Ces mesures sont reportées sur les Figures 63 et 64 pour les stations n°2 et n°80, représentatives de l'ensemble des stations. Ces figures montrent qu'il y avait peu de rotation du châssis, par contre celui-ci était mal équilibré car il présente des inclinaisons de l'ordre de 10° (Figure 63). Celles-ci sont acceptables pour la qualité de la mesure. Par contre un certain nombre de profils présente des angles de tangage proche de 20°, lors de la remontée (Figure 64). Cet angle est un seuil au-delà duquel l'appareil ne fait plus de mesures. Le profil final de vitesse étant formé par la moyenne des mesures faites à la descente et à la montée il est difficile de porter un jugement définitif sur la précision des mesures. A titre indicatif voici les stations donc les angles de tangage sont proches de 20° lors du profil de montée :

5, 11, 12, 21, 38, 46, 49, 50, 52, 55, 57, 58, 60, 61, 63, 68, 69, 70, 72, 77, 78, 79, 80, 81.

En surface les angles de tangage et de roulis étant systématiquement supérieurs à 20° les mesures ont été utilisées à partir de 4 mètres de profondeur, lorsque la bathysonde est en mouvement.

Le logiciel SEA-BIRD d'acquisition des données de la CTD permet d'enregistrer les informations GPS (temps et position) pour chaque mesure de la CTD. La comparaison des mesures de temps de l'horloge interne du LADCP et l'enregistrement du temps GPS à chaque mesure de la sonde permet d'attribuer une profondeur à chaque mesure du LADCP. Afin de contrôler les décalages entre l'horloge interne du LADCP et l'enregistrement du temps à chaque mesure de la sonde, les séries temporelles de profondeur mesurées par la CTD et calculées par intégration de la vitesse verticale mesurée par le LADCP ont été comparées systématiquement pour chaque station. Le décalage entre les 2 horloges a varié de 1 seconde, en début de campagne, à 6 secondes en fin de campagne. Les séries temporelles de chaque station ont été recalées à 1 seconde près, soit pour une vitesse de descente de 1 m/s, à 1 m près. Les mesures de pression de la CTD ont donc été utilisées pour attribuer une profondeur à chaque enregistrement du LADCP. Par ailleurs les mesures de température et de salinité de la CTD ont permis de calculer avec précision la vitesse du son qui permet de corriger les vitesses mesurées et la taille des cellules de mesure.

En l'absence de mesures de vitesse indépendantes en profondeur, il est impossible d'évaluer quantitativement l'erreur sur les vitesses calculées. Une première indication de la qualité des mesures est donnée par la comparaison entre les profils de descente et de montée en chaque station. Cette comparaison n'est qu'une indication imparfaite de la qualité du profil final car celui-ci utilise les mesures du profil de montée et du profil de descente. La Figure 65 montre une station représentative de la majorité des profils de la campagne. Les plus fortes différences sont observées au-dessus de 300 m. En dessous de 400 m les différences sont faibles, inférieures à 5 cm/s. Les différences observées pour la station n°80 excèdent rarement 5 cm/s (Figure 66) alors que ce profil montraient des angles de tangage importants lors de la montée (Figure 4). La plus mauvaise comparaison entre les profils de montée et de descente est observée à la station n°81 (Figure 67).

Un autre moyen de se rendre compte de la qualité des profils LADCP est de les comparer à ceux obtenus à partir des mesures du VM-ADCP (150 kHz) effectuées pendant la durée de chaque station. Il faut garder à l'esprit qu'il existe des différences de base entre les 2 types de mesures. En effet, le VM-ADCP moyenne les profils à intervalle de temps réguliers (5 minutes), à des immersions fixes. Dans la gamme de profondeur des profils VM-ADCP, le LADCP effectue quant à lui des mesures en début et fin de station, soit approximativement à 40 minutes d'intervalle. En général 8 profils sont réalisés pendant la durée d'une station. Enfin le VM-ADCP du N/O/ ALIS a une

résolution verticale de 8 m qui permet d'obtenir une meilleure définition des cisaillements verticaux de courant qu'avec le LADCP dont la résolution verticale est de 16 m.

Ces comparaisons sont présentées sur les Figures 68 pour les stations 1 à 87. Les barres horizontales représentent la variabilité, l'écart-type, des mesures VM-ADCP pendant la durée de la station. Nous observons, en général, que :

- La référence absolue des profils est correcte. Nous n'observons pas de biais.
- Les cisaillements verticaux de courant sont en général bien reproduits. Lors de cisaillement importants le LADCP a tendance à sous-estimer la vitesse. Ce lissage des pics de vitesse est non seulement dû à la différence de résolution verticale des 2 appareils mais surtout au mauvais équilibrage du LADCP.

La plus mauvaise comparaison est observée pour la composante zonale de la station N°80.

Enfin les profils LADCP ont été corrigés de la marée barotrope grâce aux résultats du modèle de marée global TPXO (Egbert *et al.*, 1994).

Format des fichiers résultats. Il y a un fichier par profil LADCP. Les noms de fichier sont écrits de la manière suivante :

fr1xxxyy.prf avec :

- fr1 : campagne FRONTALIS
- 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 030   CASTNO 1   NOMBRE ENR. = 51
DATE DEBUT : 07/04/2001   HEURE DEBUT : 05:34:17
DATE FIN   : 07/04/2001   HEURE FIN   : 06:00:41
LAT. DEBUT : 0.00350   LON. DEBUT : 161.00200
LAT. FIN   : 0.00750   LON. FIN   : 161.01031
DERIVE NAVIRE EN CM/S
U = 58.3   V = 28.1
PROF.      U      V      NOMBRE
M          CM/S   CM/S   OBS.
*****
8.0        7.9    1.4    0.0
24.0       7.9    1.4    0.0
40.0       15.2   -0.9    8.4
56.0       26.4   -2.0   46.6
72.0       33.9   -0.6   82.2
88.0       36.2    2.1  126.9
104.0      36.4    3.1  178.9
120.0      32.4    1.8  221.3
136.0      23.4   -1.0  251.3
152.0      14.3   -4.5  278.5

```

.....

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 degrés décimaux.

LON. DEBUT	Longitude de début de profil en degrés 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.

Présentation des coupes verticales. Les coupes verticales de la composante zonale U et méridienne V du courant sont représentées Figures 69 à 76 pour les gammes de profondeur 0-300 m et 0-800 m. Les vitesses sont comptées positives (négatives) vers l'est (ouest) et le nord (sud).

## 6. MESURES CHIMIQUES

Mesure en continu de la pression partielle du CO<sub>2</sub>. La pression partielle du CO<sub>2</sub> (pCO<sub>2</sub>) est mesurée sur l'eau de surface qui alimente les thermosalinographes. Pour déterminer la valeur de la pression partielle du CO<sub>2</sub> dans l'eau superficielle, on met en équilibre l'eau de mer avec l'air prélevé au même endroit, dans une cellule en plexiglas® (ou "équilibrateur") comportant une série de chicanes: c'est la teneur en CO<sub>2</sub> de la phase gazeuse qui est ensuite mesurée à l'aide d'un analyseur infrarouge. La pression partielle du CO<sub>2</sub> est également mesurée dans l'air 2 fois par jour à 20 m au dessus de l'eau. L'ensemble du dispositif d'analyse est décrit en détail dans Dandonneau (1995). L'analyseur infrarouge utilisé lors de la campagne était un LI-COR, étalonné avant la campagne.

L'acquisition des données a été réalisée avec le logiciel LabView, avec une cycle d'interrogation de l'analyseur infrarouge de 5 mn. Les données sont exprimées en ppm (µmol/mol).

Sels nutritifs (nitrates, nitrites, phosphates et silicates). Les prélèvements ont été réalisés sur les 12 bouteilles de prélèvement Niskin grées à la rosette. L'analyse des sels nutritifs a été effectuée à bord, immédiatement après le prélèvement (en général < 1h) sauf pour les silicates qui ont été analysés après congélation à -20°C.

Les sels nutritifs (nitrates, nitrites, phosphates, et silicates) sont déterminés par dosage colorimétrique automatisé à flux continu sur un autoanalyseur Bran+Luebbe de type Autoanalyzer 3 (A3). Les protocoles analytiques sont adaptés de ceux décrits dans Strickland and Parsons (1972) et Tréguer et Le Corre (1975). Une description détaillée de ces protocoles est donnée dans Oudot et Baurand (1994). Notons cependant que pour les concentrations de nitrates inférieures à 1µM, l'analyse a été réalisée selon la méthode "haute sensibilité" (HS) décrite par Oudot et Montel (1988).

L'acquisition automatique et informatique des données est assurée par le logiciel AACE fournie par Bran+Luebbe. Les résultats sont exprimés en micromoles par litre (µM).

Présentation des figures. Les sections de CO<sub>2</sub> ainsi que les coupes verticales de nitrates, nitrites et phosphate et Chl-a sont présentées Figures 78 à 81.

## 7. MESURES BIOLOGIQUES

Chlorophylle "a" et phéopigments. Les prélèvements ont été effectués sur les bouteilles de prélèvement de type Niskin, aux mêmes profondeurs que les sels nutritifs. Les pigments contenus dans 100 ml d'eau de mer sont récupérés sur des filtres Whatman GF/F de 25 mm de diamètre et stockés à -20C. L'analyse des échantillons a été réalisée au laboratoire au retour de campagne

La chlorophylle est analysée après extraction dans le méthanol à 95% pendant 15min à l'aide d'un fluorimètre Turner Designs TD-700, selon le protocole décrit par Le Bouteiller et al. (1992). L'étalonnage du fluorimètre est réalisé avec de la chlorophylle "a" pure Sigma dosée au

spectrophotomètre. Les phéopigments sont obtenus en calculant la différence entre les concentrations de pigments mesurés avant et après acidification.

Les résultats sont exprimés en  $\mu\text{g.l}^{-1}$ .

Présentation des figures. Les coupes verticales de Chl-a sont présentées Figures 78 à 81.

Mésozooplancton (200-2000  $\mu\text{m}$ ). Un seul type de prélèvement a été utilisé: les filets triples WP-2 (UNESCO, 1968) en traits verticaux de 0-200 m. Ces filets ont une section d'ouverture de 0.25  $\text{m}^2$  et une longueur de 2.61 m. Ils sont grésés en soie de 200  $\mu\text{m}$  de maille. Tous les traits de filet ont été faits avec des débitmètres T.S.K. afin de connaître le volume filtré exact. Les échantillons ainsi collectés sont ensuite passés sur un tamis de 2000  $\mu\text{m}$  afin de sélectionner le mésozooplancton dont la taille est comprise entre 200-2000 $\mu\text{m}$ .

L'échantillon de zooplancton contenu dans un des 3 collecteurs a été fixé au formol à 10% neutralisé au borax et servira à l'identification des principales entités taxonomiques.

Les échantillons contenus dans les deux autres collecteurs sont destinés à la mesure de la biomasse. Rincé avec 100 ml d'eau douce, le zooplancton recueilli sur une soie pré-pesée, est ensuite séché à l'étuve à 60°C pendant 24h, et conservé à -20°C jusqu'au retour à terre. Le poids sec (PS) a été déterminé sur ces échantillons, une fois transférés dans des coupelles en aluminium puis passés au four pendant 1h30 à 550°C.

Les données de biomasse du zooplancton exprimés en PS sont ramenées au volume d'eau échantillonné et exprimées en  $\text{mg.m}^{-3}$ , ou en  $\text{mg.m}^{-2}$  si elles sont ramenées à la colonne d'eau échantillonnée (200m).

## 8. BOUEES DERIVANTES

Dans le cadre du programme SVP (Surface Velocity Programme), et afin d'appréhender la convergence et/ou divergence des eaux au voisinage du front de sel situé sur la bord est de la warm pool, 8 bouées dérivantes ont été déployées (Tableau 7). Ces bouées sont munies d'émetteur Argos et d'un capteur de température de surface.

Les trajectoires et valeurs associées de ces bouées ont été récupérées sur le site web de l'AOML (Atlantic Oceanographic and Meteorological Laboratory) à Miami (cf. <http://www.aoml.noaa.gov/phod/dac/dac.html>). Les procédures de traitement de ces données sont décrits par Hansen et Poulain (1996). Les trajectoires des bouées sont présentées Figure 82 de la date de largage jusqu'à la fin de l'année 2001.

No Bouées	Latitude	Longitude	Date (jj/mm/aa)	Heure (TU)
30469 / 52670	0°	165°E	06/04/2001	00 :59
30414 / 52669	0°	155°E	09/04/2001	03 :50
30417 / 52668	2°S	157°30'E	10/04/2001	03 :00
30435 / 52608	0°	157°30'E	10/04/2001	20 :31
30436 / 52667	2°03'N	157°34'E	11/04/2001	13 :48
30470 / 52675	5°N	165°E	16/04/2001	16 :43
30472 / 52674	0°	165°E	18/04/2001	12 :00
30471 / 52673	10°18'S	165°E	21/04/2001	21 :23

Tableau 7. Numéros d'identification (ID/WMO), positions et dates de largage des bouées dérivantes.

## 9. MOUILLAGES TAO

Les mouillages TAO (Tropical Atmosphere Ocean) et TRITON de la bande 8°N-8°S sont maintenus par les USA (à l'est de, et à, 165°E) et le Japon (à l'ouest de 165°E), avec une contribution partielle de la France (IRD) pour la section à 165°E et le financement de plusieurs TSG dans la warm pool.

Le PMEL (Pacific Marine Environmental Laboratory) de Seattle (Etats-Unis) a sollicité notre concours avant le départ de la campagne pour plusieurs interventions. Nous avons procédé au changement du capteur de vent sur le mouillage à 8°S-165°E, au capteur de pluie à 0°-165°E et avons effectué la pose d'un mouillage ADCP de sub-surface à 0°-165°E. Un technicien du PMEL à Seattle est venu à bord avant le départ de la campagne pour nous aider au déploiement de cet ADCP de subsurface. L'inspection visuelle des mouillages à 5°N, 2°N, Eq., 2°S, 5°S et 8°S a eu lieu sur la radiale 165° après l'escale de Kosrae ; cela n'a pas révélé de problèmes particuliers. Une partie du matériel récupéré et/ou non utilisé a été envoyé au PMEL à partir de Kosrae.

## **10. MESURES METEOROLOGIQUES**

Une station de type Batos était installée pendant la campagne. Elle a été contrôlée au départ par les techniciens de Météo-France à Nouméa. Les paramètres mesurés ont été les suivants : température de l'air, température de la mer, pression atmosphérique, humidité relative, vitesse et direction du vent. L'ensemble des paramètres a été mesuré toutes les 2 heures jusqu'au 7 avril 2001 (0°-160°E) puis toutes les minutes via le logiciel Lab\_view installé sur PC. Le capteur d'humidité spécifique n'a fonctionné qu'à partir du 7 avril 2001.

Les observations de vents toutes les 2 heures sont représentées sur la Figure 83 et les mesures des autres paramètres sur les Figures 84 à 86.

## 11. REFERENCES

- Bahr, F., E. Firing et 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.
- Dandonneau, Y. Sea-surface partial pressure of carbon dioxide in the eastern equatorial Pacific (August 1991 to October 1992): A multivariate analysis of physical and biological factors. *Deep-Sea Res. II*, 42, 349-364, 1995.
- Delcroix T. et G. Eldin, 1995. Observations Hydrologiques dans l'Océan Pacifique Tropical Ouest. Campagnes SURTROPAC 1 à 17, de janvier 1984 à août 1992, campagnes COARE156 1 à 3, d'août 1991 à octobre 1992. TDM 141, ORSTOM Editions, Paris, 78 pages.
- Delcroix T. et J. Picaut, 1998. Zonal displacement of western equatorial Pacific "fresh pool". *J. Geophys. Res.*, **103**, 1087-1098.
- Delcroix, T. and M. McPhaden, 2002 : Interannual sea surface salinity and temperature changes in the western Pacific warm pool during 1992-2000. *J. Geophys. Res.*, in press.
- Eldin G., M. Rodier, and M.H. Radenac, Physical and nutrient variability in the upper equatorial Pacific associated with westerly wind forcing and wave activity in October 1994, *Deep Sea Res.*, 44, 1783-1800, 1997.
- Egbert G., Bennett, A., Foreman, M., 1994. TOPEX/Poseidon tides estimated using a global inverse model, *Journal of Geophysical Research*, 99, C12, 24,821-24,852.
- Fischer, J., et M. Visbeck. Deep velocity profiling with self-contained ADCPs. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 10(5), 764-773, 1993.
- Fu, C., H. Diaz, and J. Fletcher, Characteristics of the response of sea-surface temperature in the central Pacific associated with warm episodes of the southern oscillation, *Mon. Wea. Rev.*, 114, 1716-1738, 1986.
- Gouriou, Y., et C. Hémon. Traitement des données L-ADCP. *Centre ORSTOM de Cayenne, documents scientifiques n° O.P. 21*, 56pp, 1997.
- Grelet, J., B. Buisson et C. Hénin. Installation et utilisation d'un thermosalinographe à bord d'un navire marchand. *Notes Techniques, Sciences de la Mer, Océanogr. Phys., Centre ORSTOM de Nouméa*, 7, 99 pp., 1992.
- Hansen, D.V. et P.-M. Poulain, 1996. Quality Control and Interpolations of WOCE/TOGA Drifter Data. *J. Atmos. Oceanic Tech.*, 13, 900-909.
- Hénin, C. et J. Grelet. A merchant ship thermosalinograph network in the Pacific ocean. *Deep Sea Res.*, 11-12, 1833-1856, 1996.
- Inoue, H., M. Ishii, H. Matsueda, and M. Ahoyama, Changes in longitudinal distribution of the partial pressure of CO<sub>2</sub> (pCO<sub>2</sub>) in the central and western equatorial Pacific, *Geophys. Res. Lett.*, 14, 1781-1784, 1996.
- Le Borgne, R., R. Barber, T. Delcroix, H. Inoue, D. Mackey, and M. Rodier, 2002 : Pacific warm pool and divergence : temporal and zonal variations on the equator and their effects on the biological pump. *Deep Sea Res.*, ., 49, 2471-2512.
- Le Bouteiller, A., J. Blanchot, et M. Rodier. Size distribution patterns of phytoplankton in the western Pacific: towards a generalization for the tropical ocean. *Deep-Sea Res.*, 39, 803-823, 1992.
- Lehodey, P., M. Bertignac, J. Hampton, A. Lewis and J. Picaut. El Niño Southern Oscillation and tuna in the western Pacific. *Nature*, 389, 715-718, 1997.
- Lukas, R., and E. Lindstrom, The mixed layer of the western equatorial Pacific ocean, *J. Geophys. Res.*, 96, 3343-3358, 1991.
- McPhaden, M J., A. J. Busalacchi, R. Cheney, J-R. Donguy, K. S. Gage, D. Halpern, M. Ji, P. Julian, G. Meyers, G. Mitchum, P. P. Niiler, J. Picaut, R. W. Reynolds, N. Smith, and K. Takeuchi, The Tropical Ocean Global Atmosphere (TOGA) observing system: A decade of progress, *J. Geophys. Res.*, 103, 14169-14240, 1998.
- 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*, 66 pp, 1995.
- Oudot C. et F. Baurand. Mesures de sels nutritifs. In : Recueil de données, Campagne CITHER 1, volume ¾ : Traceurs Géochimiques. *Doc. Scient. ORSTOM Cayenne, N°O.P. 15*, 31-66, 1994.

- Oudot, C. et Y. Montel. A high sensitivity method for the determination of nanomolar concentrations of nitrate and nitrite in seawater with a Technicon AutoAnalyzer II. *Mar. Chem.*, 24, 239-252, 1988.
- Picaut J. et T. Delcroix, 1995. Equatorial wave sequence associated with the warm pool displacement during the 1986-1989 El Niño and La Niña. *J. Geophys. Res.*, **100**, 18393-18408.
- Picaut J., M. Ioualalen, C. Menkes, T. Delcroix et M.J. McPhaden, 1996. Mechanism of the zonal displacements of the Pacific Warm Pool, implications for ENSO. *Science*, **274**, 1486-1489.
- Picaut J., M. Ioualalen, T. Delcroix, F. Masia, R. Murtugudde, and J. Vialard, 2001. The oceanic zone of convergence on the eastern edge of the Pacific Warm Pool: A synthesis of results and implications for ENSO and biogeochemical phenomena. *J. Geophys. Res.*, 106, 2363-2386.
- Prunier-Mignot, M., D. Varillon, L. Foucher, J.-M. Ihily, B. Buisson, F. Masia, C. Hénin, M. Ioualalen et T. Delcroix. Manuel d'installation et de maintenance d'un thermosalinographe embarqué. *Notes techniques, Sciences de la Mer, Océanogr. Phys., Centre IRD/ORSTOM de Nouméa*, 13, 102 pp., 1999.
- Pollard, R. et J. Read. A method for calibrating shipmounted acoustic Doppler profilers, and the limitations of gyro compasses. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 6, 859-865, 1989.
- RD Instruments. Direct reading and self-containing Broadband acoustic Doppler current profiler, *RDI, Technical manual*, 1995.
- Rodier, M., G. Eldin, et R. Le Borgne, The western boundary of the equatorial Pacific upwelling : some consequences of climatic variability on hydrological and planktonic properties, *J. Oceanogr.*, 56, 463-471, 2000.
- Strickland, J., et T. Parsons. A practical handbook of seawater analysis. Fisheries Research Board of Canada, 167, 310pp., 1972.
- Tréguer P. et P. Le Corre. Manuel d'analyse des sels nutritifs dans l'eau de mer (utilisation de l'AutoAnalyzer II Technicon). *Université de Bretagne Occidentale*, Brest, 2<sup>ème</sup> édition., 110 pp., 1975.
- UNESCO. Zooplankton sampling. *Monographs on Oceanographic Methodology*, 2, Paris, 174pp, 1968.
- Vialard, J. and P. Delecluse, An OGCM study for the TOGA decade. Part II: Barrier-layer formation and variability, *J. Phys. Oceanogr.*, 28, 1089-1106, 1998.
- Vialard, J., P. Delecluse, and C. Menkes, A modeling study of salinity variability and its effects in the tropical Pacific during the 1993-1999 period, *J. Geophys. Res.*, in press, 2002.

## 12. LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Route suivie pendant la campagne Frontalis.

Figure 2 : Photographie de la sonde CTD, de la rosette 12 bouteilles et du L\_ADCP sur la plage arrière du N/O l'ALIS.

Figures 3 à 46 : Profils verticaux de température, salinité, densité potentielle à chaque station CTD (1 à 87). Courbes Température – Salinité correspondantes et valeurs de la température et de la salinité à 15 niveaux standards.

Figure 47: Coupes verticales 0-500 m de la température (°C) et de la salinité (psu) mesurées par la sonde CTD pour la section aller le long de 165°E, de 20°S le 30/03/01 à 0° le 05/04/01.

Figure 48: Coupes verticales 0-500 m de la température (°C) et de la salinité (psu) mesurées par la sonde CTD pour la section équatoriale, de 165°E le 05/04/01 à 155° le 09/04/01.

Figure 49: Coupes verticales 0-500 m de la température (°C) et de la salinité (psu) mesurées par la sonde CTD pour la section le long de 157.5°E de 2°S le 10/04/01 à 2°N le 11/04/01, puis pour la section orientée SW-NE de 2°N-157.5°E le 11/04/01 à 5°N-162.5°E le 13/04/01.

Figure 50: Coupes verticales 0-500 m de la température (°C) et de la salinité (psu) mesurées par la sonde CTD pour la section retour le long de 165°E, de 5°N le 16/04/01 à 20°S le 24/04/01.

Figure 51 : Photographie du montage en parallèle des thermosalinographes SBE-21 avec son débulleur (à l'arrière plan) et du SBE-45 (au premier plan).

Figure 52 : (En haut) Ecart en fonction du jour de la salinité de surface entre les mesures TSG et CTD pour les TSG SBE45 (en gris) et SBE21 (en noir). (Au milieu) Ecart en fonction du numéro de station entre les mesures SBE21 et CTD après correction des dérives reportées au Tableau 3. (En bas) Même chose qu'au milieu pour le SBE45.

Figure 53 : Température (en haut ; °C) et salinité (en bas ; psu) de surface le long de 165°E. Les traits pleins dénotent la route vers le nord (aller, 20°S à 0°, du 30/03 au 05/04/02) et les pointillés la route vers le sud (retour, 5°N à 20°S, du 16 au 24/04/02).

Figures 54 : Température (trait plein ; °C) et salinité (trait pointillé ; psu) de surface le long de 157.5°E de 2°S le 10/04/01 à 2°N le 11/04/01, puis pour la section orientée SW-NE de 2°N-157.5°E le 11/04/01 à 5°N-162.5°E le 13/04/01.

Figures 55 : Température (trait plein ; °C) et salinité (trait pointillé ; psu) de surface de la mer le long de l'équateur de 165°E le 05/04/01 à 155° le 09/04/01.

Figure 56 : Série temporelle de la température de l'embase du VM-ADCP.

Figure 57 : Différence cap GPS - cap gyroscope au cours du temps pendant les premiers 10 jours de campagne : valeur moyenne à chaque profil (points), après application d'un filtre médian sur 5 points (en noir), après changement de signe, interpolation des trous et passage d'une moyenne mobile sur 5 points (en bleu).

Figure 58: Histogrammes de A et  $\phi$  et différences d'horloges GPS-ADCP.

Figure 59: Coupes verticales 0-300 m des composantes zonales et méridiennes du courant mesurées par le VM-ADCP pour la section aller le long de 165°E, de 20°S le 30/03/01 à 0° le 05/04/01. Les valeurs positives désignent des courants U vers l'est et V vers le nord, en cm/s.

Figure 60: Coupes verticales 0-300 m des composantes zonales et méridiennes du courant mesurées par le VM-ADCP pour la section équatoriale, de 165°E le 05/04/01 à 155° le 09/04/01. Les valeurs positives désignent des courants U vers l'est et V vers le nord, en cm/s.

Figure 61: Coupes verticales 0-300 m des composantes zonales et méridiennes du courant mesurées par le VM-ADCP pour la section le long de 157.5°E de 2°S le 10/04/01 à 2°N le 11/04/01, puis pour la section orientée SW-NE de 2°N-157.5°E le 11/04/01 à 5°N-162.5°E le 13/04/01. Les valeurs positives désignent des courants U vers l'est et V vers le nord, en cm/s.

Figure 62: Coupes verticales 0-300 m des composantes zonales et méridiennes du courant mesurées par le VM-ADCP pour la section retour le long de 165°E, de 5°N le 16/04/01 à 20°S le 24/04/01. Les valeurs positives désignent des courants U vers l'est et V vers le nord, en cm/s.

Figure 63 : Paramètres mesurés par le LADCP. Exemple pour la station 2.

Figure 64 : Paramètres mesurés par le LADCP. Exemple pour la station 80.

Figure 65 : Composante zonale et méridienne des profils de vitesse L-ADCP à la montée (traits pointillés) et à la descente (traits pleins) ainsi que la différence entre ces profils. Exemple pour la Station 62.

- Figure 66 : Composante zonale et méridienne des profils de vitesse L-ADCP à la montée (traits pointillés) et à la descente (traits pleins) ainsi que la différence entre ces profils. Exemple pour la Station 80.
- Figure 67 : Composante zonale et méridienne des profils de vitesse L-ADCP à la montée (traits pointillés) et à la descente (traits pleins) ainsi que la différence entre ces profils. Exemple pour la Station 81.
- Figure 68 : Profils verticaux des composantes zonale et méridienne de la vitesse du courant mesurée par l'ADCP de coque (traits pointillés ; 0-200/300 m) et le L-ADCP (traits pleins ; 0-800 m) pour les stations 1 à 87 de la campagne.
- Figure 69: Coupes verticales 0-300 m des composantes zonales et méridiennes du courant mesurées par le LADCP pour la section aller le long de 165°E, de 20°S le 30/03/01 à 0° le 05/04/01. Les valeurs positives désignent des courants U vers l'est et V vers le nord, en cm/s.
- Figure 70: Coupes verticales 0-300 m des composantes zonales et méridiennes du courant mesurées par le LADCP pour la section équatoriale, de 165°E le 05/04/01 à 155° le 09/04/01. Les valeurs positives désignent des courants U vers l'est et V vers le nord, en cm/s.
- Figure 71: Coupes verticales 0-300 m des composantes zonales et méridiennes du courant mesurées par le LADCP pour la section le long de 157.5°E de 2°S le 10/04/01 à 2°N le 11/04/01, puis pour la section orientée SW-NE de 2°N-157.5°E le 11/04/01 à 5°N-162.5°E le 13/04/01. Les valeurs positives désignent des courants U vers l'est et V vers le nord, en cm/s.
- Figure 72: Coupes verticales 0-300 m des composantes zonales et méridiennes du courant mesurées par le LADCP pour la section retour le long de 165°E, de 5°N le 16/04/01 à 20°S le 24/04/01. Les valeurs positives désignent des courants U vers l'est et V vers le nord, en cm/s.
- Figure 73: Coupes verticales 0-800 m des composantes zonales et méridiennes du courant mesurées par le LADCP pour la section aller le long de 165°E, de 20°S le 30/03/01 à 0° le 05/04/01. Les valeurs positives désignent des courants U vers l'est et V vers le nord, en cm/s.
- Figure 74: Coupes verticales 0-800 m des composantes zonales et méridiennes du courant mesurées par le LADCP pour la section équatoriale, de 165°E le 05/04/01 à 155° le 09/04/01. Les valeurs positives désignent des courants U vers l'est et V vers le nord, en cm/s.
- Figure 75: Coupes verticales 0-800 m des composantes zonales et méridiennes du courant mesurées par le LADCP pour la section le long de 157.5°E de 2°S le 10/04/01 à 2°N le 11/04/01, puis pour la section orientée SW-NE de 2°N-157.5°E le 11/04/01 à 5°N-162.5°E le 13/04/01. Les valeurs positives désignent des courants U vers l'est et V vers le nord, en cm/s.
- Figure 76: Coupes verticales 0-800 m des composantes zonales et méridiennes du courant mesurées par le LADCP pour la section retour le long de 165°E, de 5°N le 16/04/01 à 20°S le 24/04/01. Les valeurs positives désignent des courants U vers l'est et V vers le nord, en cm/s.
- Figure 77: Variations de la pression partielle de CO<sub>2</sub> (ppm) mesurée, de haut en bas : a) pour la section aller le long de 165°E, de 20°S le 30/03/01 à 0° le 05/04/01 ; b) pour la section équatoriale, de 165°E le 05/04/01 à 155° le 09/04/01 ; c) pour la section le long de 157.5°E de 2°S le 10/04/01 à 2°N le 11/04/01, puis pour la section orientée SW-NE de 2°N-157.5°E le 11/04/01 à 5°N-162.5°E le 13/04/01 ; d) pour la section retour le long de 165°E, de 5°N le 16/04/01 à 20°S le 24/04/01.
- Figure 78: Coupes verticales 0-200 m du nitrate (NO<sub>3</sub>, micromoles par litre), du nitrite (NO<sub>2</sub>, micromoles par litre) du phosphate (PO<sub>4</sub>, micromoles par litre) et de la Chlorophylle a (Chla, µg.l<sup>-1</sup>) mesurés à intervalles discrets (signes +) lors des stations CTD pour la section aller le long de 165°E, de 20°S le 30/03/01 à 0° le 05/04/01.
- Figure 79: Coupes verticales 0-200 m du nitrate (NO<sub>3</sub>, micromoles par litre), du nitrite (NO<sub>2</sub>, micromoles par litre) du phosphate (PO<sub>4</sub>, micromoles par litre) et de la Chlorophylle a (Chla, µg.l<sup>-1</sup>) mesurés à intervalles discrets (signes +) lors des stations CTD pour la section équatoriale, de 165°E le 05/04/01 à 155° le 09/04/01.
- Figure 80: Coupes verticales 0-200 m du nitrate (NO<sub>3</sub>, micromoles par litre), du nitrite (NO<sub>2</sub>, micromoles par litre) du phosphate (PO<sub>4</sub>, micromoles par litre) et de la Chlorophylle a (Chla, µg.l<sup>-1</sup>) mesurés à intervalles discrets (signes +) lors des stations CTD pour la section le long de 157.5°E de 2°S le 10/04/01 à 2°N le 11/04/01, puis pour la section orientée SW-NE de 2°N-157.5°E le 11/04/01 à 5°N-162.5°E le 13/04/01.

- Figure 81: Coupes verticales 0-200 m du nitrate ( $\text{NO}_3$ , micromoles par litre), du nitrite ( $\text{NO}_2$ , micromoles par litre) du phosphate ( $\text{PO}_4$ , micromoles par litre) et de la Chlorophylle a (Chla,  $\mu\text{g.l}^{-1}$ ) mesurés à intervalles discrets (signes +) lors des stations CTD pour la section retour le long de  $165^\circ\text{E}$ , de  $5^\circ\text{N}$  le 16/04/01 à  $5^\circ\text{S}$  le 20/04/01.
- Figures 82 : Trajectoire des 8 bouées dérivantes larguées au cours de la campagne. Les carrés le long des trajectoires dénotent les positions le premier jour des mois de mai à décembre 2001. Noter que les trajectoires ne sont plus tracées en 2002, quand elles sortent de la figure ou à la mort de la bouée et/ou de l'émetteur Argos.
- Figure 83 : Vents observés durant la campagne Frontalis. Seules les valeurs instantanées mesurées toutes les 2 heures (0h,2h,4h...) sont tracées.
- Figure 84 : Variations (du haut vers le bas) de la température l'air en  $^\circ\text{C}$ , de la température de surface de la mer en  $^\circ\text{C}$ , de la pression atmosphérique en hPa et de l'humidité de l'air en % mesurées le long du méridien  $165^\circ\text{E}$  lors de la campagne Frontalis. Les traits pleins dénotent la route vers le nord (voyage aller, de  $20^\circ\text{S}$  à  $0^\circ$ , du 30/03 au 05/04/02) et les pointillés la route vers le sud (voyage retour, de  $5^\circ\text{N}$  à  $20^\circ\text{S}$ , du 16 au 24/04/02).
- Figures 85 : Variations de la température l'air en  $^\circ\text{C}$ , de la température de surface de la mer en  $^\circ\text{C}$ , de la pression atmosphérique en hPa et de l'humidité de l'air en % mesurées le long de  $157.5^\circ\text{E}$  de  $2^\circ\text{S}$  le 10/04/01 à  $2^\circ\text{N}$  le 11/04/01, puis pour la section orientée SW-NE de  $2^\circ\text{N}$ - $157.5^\circ\text{E}$  le 11/04/01 à  $5^\circ\text{N}$ - $162.5^\circ\text{E}$  le 13/04/01.
- Figures 86 : Variations de la température l'air en  $^\circ\text{C}$ , de la température de surface de la mer en  $^\circ\text{C}$ , de la pression atmosphérique en hPa et de l'humidité de l'air en % mesurées le long de l'équateur de  $165^\circ\text{E}$  le 05/04/01 à  $155^\circ$  le 09/04/01.

## ANNEXE 1

### Chronologie détaillée des opérations de la campagne FRONTALIS-01

Opérations	No Sta.	Latitude		Long.		Dist.	Vit.	Temps transit		Temps station		Jour mis	Arrivée (TU)	Départ (TU)	Milles Total
		'	"	'	"										
Départ		-22°	17'	166°	26'	0							----	28/03/01 23:00	
Havanah		-22°	19'	167°	4'	38	8	0 J	04h43	0 J	00h00	1	29/03/01 03:43	29/03/01 03:43	38
chang. route		-21°	46'	167°	1'	33	8	0 J	04h08	0 J	00h00	1	29/03/01 07:51	29/03/01 07:51	71
chang. route		-20°	28'	165°	31'	119	8,5	0 J	14h00	0 J	00h00	2	29/03/01 21:52	29/03/01 21:52	190
Station CTD	1	-20°	0'	165°	0'	42	10	0 J	04h10	0 J	01h30	2	30/03/01 02:03	30/03/01 03:33	232
Station CTD	2	-19°	0'	165°	0'	60	9,6	0 J	06h15	0 J	00h32	2	30/03/01 09:48	30/03/01 10:20	292
Station CTD	3	-18°	0'	165°	0'	60	8,3	0 J	07h13	0 J	00h39	3	30/03/01 17:33	30/03/01 18:12	352
Station CTD	4	-17°	0'	165°	0'	60	8,7	0 J	06h53	0 J	00h30	3	31/03/01 01:06	31/03/01 01:36	412
Station CTD	5	-16°	0'	165°	0'	60	9,3	0 J	06h27	0 J	00h30	3	31/03/01 08:03	31/03/01 08:33	472
Station CTD	6	-15°	0'	165°	0'	60	9,4	0 J	06h22	0 J	00h33	4	31/03/01 14:56	31/03/01 15:29	532
Station CTD	7	-14°	0'	165°	0'	60	9,1	0 J	06h35	0 J	00h30	4	31/03/01 22:05	31/03/01 22:35	592
Station CTD	8	-13°	0'	165°	0'	60	9,3	0 J	06h27	0 J	00h35	4	01/04/01 05:02	01/04/01 05:37	652
Station CTD	9	-12°	0'	165°	0'	60	8,9	0 J	06h44	0 J	00h30	4	01/04/01 12:21	01/04/01 12:51	712
Station CTD	10	-11°	0'	165°	0'	60	8,3	0 J	07h13	0 J	00h31	5	01/04/01 20:05	01/04/01 20:36	772
Station CTD	11	-10°	0'	165°	0'	60	8,8	0 J	06h49	0 J	00h35	5	02/04/01 03:25	02/04/01 04:00	832
Station CTD	12	-9°	0'	165°	0'	60	8,2	0 J	07h19	0 J	00h32	5	02/04/01 11:19	02/04/01 11:51	892
CTD + TAO 8°S	13	-8°	0'	165°	0'	60	8,3	0 J	07h13	0 J	03h25	6	02/04/01 19:05	02/04/01 22:30	952
Station CTD	14	-7°	0'	165°	0'	60	9,2	0 J	06h31	0 J	00h35	6	03/04/01 05:01	03/04/01 05:36	1012
Station CTD	15	-6°	0'	165°	0'	60	8,7	0 J	06h53	0 J	00h30	7	03/04/01 12:30	03/04/01 13:00	1072
Station CTD	16	-5°	0'	165°	0'	60	8,6	0 J	06h58	0 J	00h31	7	03/04/01 19:59	03/04/01 20:30	1132
Station CTD	17	-4°	30'	165°	0'	30	8,5	0 J	03h31	0 J	00h31	7	04/04/01 00:01	04/04/01 00:32	1162
Station CTD	18	-4°	0'	165°	0'	30	8,6	0 J	03h29	0 J	00h39	7	04/04/01 04:02	04/04/01 04:41	1192
Station CTD	19	-3°	30'	165°	0'	30	8,4	0 J	03h34	0 J	00h30	7	04/04/01 08:15	04/04/01 08:45	1222
Station CTD	20	-3°	0'	165°	0'	30	8,8	0 J	03h24	0 J	00h31	7	04/04/01 12:10	04/04/01 12:41	1252
Station CTD	21	-2°	30'	165°	0'	30	9	0 J	03h20	0 J	00h39	8	04/04/01 16:01	04/04/01 16:40	1282
Station CTD	22	-2°	0'	165°	0'	30	8,7	0 J	03h26	0 J	00h34	8	04/04/01 20:06	04/04/01 20:40	1312
Station CTD	23	-1°	30'	165°	0'	30	5,7	0 J	05h15	0 J	00h30	8	05/04/01 01:56	05/04/01 02:26	1342
Station CTD	24	-1°	0'	165°	0'	30	7,8	0 J	03h50	0 J	00h32	8	05/04/01 06:17	05/04/01 06:49	1372
Station CTD	25	-0°	30'	165°	0'	29	6,9	0 J	04h15	0 J	00h28	8	05/04/01 11:05	05/04/01 11:33	1401
CTD + 2 TAO EQ	26	0°	0'	165°	0'	31	4,05	0 J	07h33	0 J	06h00	9	05/04/01 19:06	06/04/01 01:06	1432
Station CTD	27	0°	0'	164°	0'	60	9,4	0 J	06h22	0 J	01h05	9	06/04/01 07:29	06/04/01 08:34	1492
Station CTD	28	0°	0'	163°	0'	60	9,3	0 J	06h27	0 J	00h30	10	06/04/01 15:01	06/04/01 15:31	1552
Station CTD	29	0°	0'	162°	0'	60	8,9	0 J	06h44	0 J	00h27	10	06/04/01 22:16	06/04/01 22:43	1612
Station CTD	30	0°	0'	161°	0'	60	8,8	0 J	06h49	0 J	00h35	10	07/04/01 05:32	07/04/01 06:07	1672
Station CTD	31	0°	0'	160°	0'	60	8,8	0 J	06h49	0 J	00h26	11	07/04/01 12:56	07/04/01 13:22	1732
Station CTD	32	0°	0'	159°	0'	60	9	0 J	06h40	0 J	00h31	11	07/04/01 20:02	07/04/01 20:33	1792
Station CTD	33	0°	0'	158°	0'	60	9,1	0 J	06h35	0 J	00h25	11	08/04/01 03:08	08/04/01 03:33	1852
Station CTD	34	0°	0'	157°	0'	60	8,5	0 J	07h03	0 J	00h31	11	08/04/01 10:37	08/04/01 11:08	1912
Station CTD	35	0°	0'	156°	0'	60	8,4	0 J	07h08	0 J	00h33	12	08/04/01 18:16	08/04/01 18:49	1972
Station CTD	36	0°	0'	155°	30'	30	8,3	0 J	03h36	0 J	01h00	12	08/04/01 22:26	08/04/01 23:26	2002
Station CTD	37	0°	0'	155°	0'	30	8,5	0 J	03h31	0 J	00h56	12	09/04/01 02:58	09/04/01 03:54	2032
Station CTD	38	-2°	0'	157°	30'	192	8,6	0 J	22h20	0 J	00h55	13	10/04/01 02:14	10/04/01 03:09	2224
Station CTD	39	-1°	30'	157°	30'	30	8,3	0 J	03h36	0 J	00h35	13	10/04/01 06:46	10/04/01 07:21	2254
Station CTD	40	-1°	0'	157°	30'	30	8,2	0 J	03h39	0 J	01h00	13	10/04/01 11:01	10/04/01 12:01	2284
Station CTD	41	-0°	30'	157°	30'	30	8,5	0 J	03h31	0 J	00h30	14	10/04/01 15:32	10/04/01 16:02	2314
Station CTD	42	0°	0'	157°	30'	30	8,4	0 J	03h34	0 J	01h00	14	10/04/01 19:37	10/04/01 20:37	2344
Station CTD	43	0°	30'	157°	30'	30	8,8	0 J	03h24	0 J	00h25	14	11/04/01 00:01	11/04/01 00:26	2374
Station CTD	44	1°	0'	157°	30'	30	8,5	0 J	03h31	0 J	00h55	14	11/04/01 03:58	11/04/01 04:53	2404
Station CTD	45	1°	30'	157°	30'	30	9	0 J	03h20	0 J	00h30	14	11/04/01 08:13	11/04/01 08:43	2434
Station CTD	46	2°	0'	157°	30'	30	8,5	0 J	03h31	0 J	01h00	15	11/04/01 12:15	11/04/01 13:15	2464
Station CTD	47	2°	39'	158°	32'	73	8,5	0 J	08h37	0 J	00h30	15	11/04/01 21:52	11/04/01 22:22	2537
Station CTD	48	3°	9'	159°	31'	66	8	0 J	08h16	0 J	01h00	15	12/04/01 06:38	12/04/01 07:38	2603
Station CTD	49	3°	41'	160°	30'	67	7,5	0 J	08h56	0 J	00h40	16	12/04/01 16:35	12/04/01 17:15	2670
Station CTD	50	4°	16'	161°	30'	69	7,7	0 J	09h01	0 J	01h00	16	13/04/01 02:16	13/04/01 03:16	2740
Station CTD	51	4°	59'	162°	30'	74	7,05	0 J	10h28	0 J	00h31	17	13/04/01 13:45	13/04/01 14:16	2814
Escale Kosrae		5°	20'	163°	0'	37	8,5	0 J	04h18	2 J	06h00	19	13/04/01 18:34	16/04/01 00:34	2500
Station CTD	52	5°	0'	164°	0'	63	9	0 J	07h01	0 J	00h35	19	16/04/01 07:36	16/04/01 08:11	2600
Station CTD	52	5°	0'	165°	0'	60	8	0 J	07h30	0 J	01h15	20	16/04/01 15:41	16/04/01 16:56	2660
Station CTD	53	4°	30'	165°	0'	30	9,2	0 J	03h15	0 J	00h32	20	16/04/01 20:11	16/04/01 20:43	2690
Station CTD	54	4°	0'	165°	0'	30	7,8	0 J	03h50	0 J	01h00	20	17/04/01 00:34	17/04/01 01:34	2720
Station CTD	55	3°	30'	165°	0'	30	8,5	0 J	03h31	0 J	00h35	20	17/04/01 05:06	17/04/01 05:41	2750

Station CTD	56	3°	0'	165°	0'	30	8,3	0 J	03h36	0 J	01h00	20	17/04/01 09:18	17/04/01 10:18	2780
Station CTD	57	2°	30'	165°	0'	30	8,3	0 J	03h36	0 J	00h35	21	17/04/01 13:55	17/04/01 14:30	2810
Station CTD	58	2°	0'	165°	0'	30	8,1	0 J	03h42	0 J	01h00	21	17/04/01 18:12	17/04/01 19:12	2840
Station CTD	59	1°	30'	165°	0'	30	8,2	0 J	03h39	0 J	00h30	21	17/04/01 22:51	17/04/01 23:21	2870
Station CTD	60	1°	0'	165°	0'	30	8,1	0 J	03h42	0 J	01h00	21	18/04/01 03:04	18/04/01 04:04	2900
Station CTD	61	0°	30'	165°	0'	30	8,9	0 J	03h22	0 J	00h30	21	18/04/01 07:26	18/04/01 07:56	2930
Station CTD	62	0°	0'	165°	0'	30	8,9	0 J	03h22	0 J	01h00	21	18/04/01 11:18	18/04/01 12:18	2960
Station CTD	63	-0°	30'	165°	0'	30	10,2	0 J	02h56	0 J	00h30	22	18/04/01 15:15	18/04/01 15:45	2990
Station CTD	64	-1°		165°	0'	30	9	0 J	03h20	0 J	01h00	22	18/04/01 19:05	18/04/01 20:05	3020
Station CTD	65	-1°	30'	165°	0'	30	9,5	0 J	03h09	0 J	00h28	22	18/04/01 23:14	18/04/01 23:42	3050
Station CTD	66	-2°	0'	165°	0'	30	8,1	0 J	03h42	0 J	01h00	22	19/04/01 03:24	19/04/01 04:24	3080
Station CTD	67	-2°	30'	165°	0'	30	8,2	0 J	03h39	0 J	00h30	22	19/04/01 08:04	19/04/01 08:34	3110
Station CTD	68	-3°	0'	165°	0'	30	8,6	0 J	03h29	0 J	01h00	23	19/04/01 12:03	19/04/01 13:03	3140
Station CTD	69	-3°	30'	165°	0'	30	9,8	0 J	03h03	0 J	00h30	23	19/04/01 16:07	19/04/01 16:37	3170
Station CTD	70	-4°	0'	165°	0'	30	9	0 J	03h20	0 J	01h00	23	19/04/01 19:57	19/04/01 20:57	3200
Station CTD	71	-4°	30'	165°	0'	30	9,3	0 J	03h13	0 J	00h30	23	20/04/01 00:10	20/04/01 00:40	3230
Station CTD	72	-5°	1'	165°	10'	33	7,7	0 J	04h13	0 J	00h50	23	20/04/01 04:54	20/04/01 05:44	3263
Station CTD	73	-6°	0'	165°	0'	60	9,7	0 J	06h10	0 J	01h00	23	20/04/01 11:54	20/04/01 12:54	3323
Station CTD	74	-7°	0'	165°	0'	60	9,3	0 J	06h27	0 J	01h00	24	20/04/01 19:21	20/04/01 20:21	3383
Station CTD	75	-8°	2'	164°	47'	63	8,1	0 J	07h49	0 J	00h50	24	21/04/01 04:11	21/04/01 05:01	3446
Station CTD	76	-9°	0'	165°	0'	59	8,9	0 J	06h40	0 J	00h50	24	21/04/01 11:41	21/04/01 12:31	3506
Station CTD	77	-10°	0'	165°	0'	60	9,6	0 J	06h15	0 J	00h50	25	21/04/01 18:46	21/04/01 19:36	3566
Station CTD	78	-11°	0'	165°	0'	60	9,4	0 J	06h22	0 J	00h32	25	22/04/01 01:59	22/04/01 02:31	3626
Station CTD	79	-12°	0'	165°	0'	60	9,6	0 J	06h15	0 J	00h30	25	22/04/01 08:46	22/04/01 09:16	3686
Station CTD	80	-13°	0'	165°	0'	60	9,4	0 J	06h22	0 J	00h30	26	22/04/01 15:39	22/04/01 16:09	3746
Station CTD	81	-14°	0'	165°	0'	60	9,5	0 J	06h18	0 J	00h31	26	22/04/01 22:28	22/04/01 22:59	3806
Station CTD	82	-15°	0'	165°	0'	60	10,4	0 J	05h46	0 J	00h25	26	23/04/01 04:45	23/04/01 05:10	3866
Station CTD	83	-16°	0'	165°	0'	60	8,9	0 J	06h44	0 J	00h30	26	23/04/01 11:55	23/04/01 12:25	3926
Station CTD	84	-17°	0'	165°	0'	60	9,1	0 J	06h35	0 J	00h30	27	23/04/01 19:01	23/04/01 19:31	3986
Station CTD	85	-18°	0'	165°	0'	60	9	0 J	06h40	0 J	00h30	27	24/04/01 02:11	24/04/01 02:41	4046
Station CTD	86	-19°	0'	165°	0'	60	8,7	0 J	06h53	0 J	00h30	27	24/04/01 09:34	24/04/01 10:04	4106
Station CTD	87	-20°	0'	165°	0'	60	8,7	0 J	06h53	0 J	00h35	28	24/04/01 16:58	24/04/01 17:33	4166
chang. route		-20°	28'	165°	31'	42	9	0 J	04h38	0 J	00h00	28	24/04/01 22:12	24/04/01 22:12	4207
chang. route		-21°	46'	167°	1'	119	9	0 J	13h13	0 J	00h00	28	25/04/01 11:26	25/04/01 11:26	4326
Havannah		-22°	19'	167°	4'	33	9	0 J	03h40	0 J	01h00	29	25/04/01 15:07	25/04/01 16:07	4360
Arrivée	Néa	-22°	17'	166°	26'	38	9	0 J	04h13	0 J	00h00	29	25/04/01 20:20	25/04/01 20:20	4398
						Moy.	8,64								

## ANNEXE 2

Couverture médiatique : Les Nouvelles Calédoniennes, 30 mars (en haut) et 23 mai 2001 (en bas)

# L'Alis sur les traces d'El Niño

Première du genre, la mission océanographique Frontalis a pour but d'éclaircir quelques-uns des mystères qui entourent encore le phénomène El Niño. Un courant marin qui a son berceau dans le Pacifique ouest et affecte le climat de la planète.

Le phénomène El Niño se caractérise par un déplacement vers l'est des eaux chaudes (warm pool), habituellement concentrées dans le Pacifique ouest. Un phénomène dont la périodicité est ancienne mais irrégulière et

qui provoque cyclones, sécheresses, inondations, perturbations en tout genre du continent américain à l'Asie.

« Cela fait une quinzaine d'années seulement qu'El Niño est observé systématiquement par les scientifiques

du monde entier, explique Thierry Delcroix, océanographe à l'IRD. Si les conséquences climatiques induites par le phénomène ont été comprises, il reste beaucoup de questions. »

C'est donc pour tenter de répondre à quelques-unes de ces interrogations qu'une équipe d'océanographes de l'IRD a embarqué sur l'Alis qui a appareillé hier en direction de l'équateur, berceau du phénomène.

« Nous allons tenter de mettre en évidence le bord est

de la zone des eaux chaudes marquée par un degré de salinité inférieur par rapport aux eaux situées plus à l'est », poursuit Thierry Delcroix. Les scientifiques vont aussi en profiter pour réviser les balises d'observation mouillées sur leur route.

J.G.

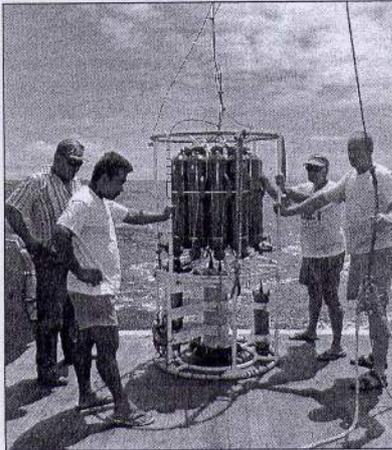
**L'équipe de scientifiques de l'IRD va passer un mois à bord de l'Alis pour une mission océanographique qui la conduira le long de la Ligne.**



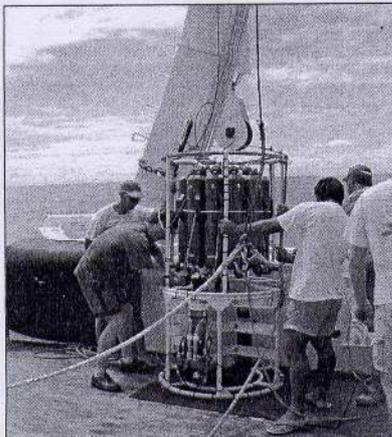
## RECHERCHE

# Les océanographes traquent les secrets d'El Nino

Connaîtra-t-on un jour les phénomènes qui régissent le courant El Nino. Pourra-t-on les expliquer ? Les prévoir ? Ce sont en tout cas les buts que se sont fixés les océanographes de l'Institut de la recherche pour le développement (IRD) qui planchent depuis plusieurs années sur le phénomène.



Au cours de la mission "Frontalis" les scientifiques ont immergé 80 fois en 80 différents endroits cette sonde. Jusqu'à 500 mètres de fond elle permet de mesurer les courants, la température et la salinité de l'eau de mer de la surface à 800 mètres de profondeur.



El Nino, un courant marin qui a son berceau dans le Pacifique ouest, affecte le climat de toute la planète. Il se caractérise par un déplacement vers l'est des eaux chaudes (warm pool), habituellement concentrées dans le Pacifique ouest. Un phénomène dont la périodicité est ancienne mais irrégulière et qui provoque, cyclones, sécheresses, inondations, perturbations en tout genre du continent américain à l'Asie.

### Un mois en mer

Pour essayer de mieux comprendre les variations du courant El Nino une mission d'océanographes, dirigée par Thierry Delcroix, s'est rendue sur le bord est de la "warm pool", approximativement située vers le méridien 165 est, autour de la zone équatoriale. Les chercheurs ont passé un mois en mer à bord de l'Alis, le navire océanographique de l'IRD.

« Pourquoi nous intéressons-nous à cette zone ? Car à l'ouest de cette région on observe des températures d'eau de mer supérieures à 28°. C'est un seuil à partir duquel existe une forte influence de l'océan sur l'atmosphère. C'est en fait le berceau d'El Nino. » Et, cette "warm pool" est caractérisée par une faible salinité. Logique d'ailleurs. La température élevée de la mer dans cette région entraîne une forte évaporation qui est source de grosses précipitations. Un apport important d'eau douce qui fait baisser le taux de sel dans l'océan à cet endroit. Et donc, l'eau moins salée a tendance à glisser sur celle plus salée et plus froide. Un phénomène que les scientifiques ont baptisé la subduction, et qu'ils ont pu constater au cours de la mission Frontalis qui s'est déroulée au mois d'avril dernier.

### Curieuse découverte

« Notre but était de situer la frontière est de la "warm pool" et d'observer in situ ce qu'il s'y passe. Nous



avons remonté le 165e méridien jusqu'à l'équateur, raconte Thierry Delcroix. Nous avons d'ailleurs croisé entre le Vanuatu et les Iles Salomon la zone d'eau chaude (jusqu'à 31°) qui a provoqué la formation de la dépression Sose. A notre retour trois semaines plus tard et après le cyclone la température avait perdu un degré. »

Les scientifiques disposent depuis quelques années d'un éventail de moyens, bouées fixes, balises dérivantes, sondes en tous genres, etc. pour mesurer température et salinité de l'eau. Ils ont aussi établi des modèles informatiques à partir de ces observations. Bref, ils pensaient tout savoir de ce qu'ils allaient observer en réalité.

« Nous avons bien trouvé un front de sel nutritif (nitrates) et de gaz carbonique, comme prévu dans nos modèles, en revanche nous n'avons pas observé une baisse de salinité marquée mais plutôt graduelle, avoue Thierry Delcroix, et surtout nous avons mis en évidence une convergence de courants que nous ne nous attendions pas à trouver là. » Une nouvelle énigme à résoudre pour les océanographes que le phénomène El Nino n'a donc pas fini de surprendre.

J.G.

Cette bouée "courantomètre" a été installée par les chercheurs de l'IRD dans la zone frontière de la warm pool. Elle coulera puis se stabilisera à une profondeur de 300 mètres. Son rôle est de mesurer les courants de 300 mètres de fond jusqu'à la surface.

## La Nina bien installée

Contrairement à son grand frère El Nino, La Nina est caractérisée par des eaux plus chaudes dans le Pacifique ouest, donc la zone de convergence de la "warm pool" est plus basse en latitude, entraînant des précipitations plus importantes sur l'ouest de l'Australie, la Nouvelle-Calédonie et la Nouvelle-Zélande.

Depuis 1998, c'est donc cette situation qui prévaut dans le Pacifique. Vers la fin 2000, un léger refroidissement a autorisé les scientifiques à émettre l'hypothèse d'un retour vers une situation moyenne ou un éventuel basculement vers un nouvel El Nino. Mais les températures enregistrées les premiers mois de l'année 2001 montrent un net retour à une situation de Nina.

## METEO

### Un petit coup d'ouest et s'en va

Balayée par une dépression hier en milieu de journée, la côte sud-ouest a subi des vents de 25 à 30 nœuds, avec des rafales allant jusqu'à 40 nœuds. Pas de quoi faire de gros dégâts, les Calédoniens sont habitués aux coups d'ouest, mais un sujet d'inquiétude pour ceux qui rêvaient déjà à l'approche du long week-end de l'Ascension. Qu'ils se rassurent !

A part quelques passages nuageux qui persisteront aujourd'hui sur le sud, avec des risques d'averses dans le courant de la journée, le ciel devrait rapidement se dégager sur l'est et les Loyautés.

Ensuite, le baromètre sera au beau fixe sur tout le territoire. Selon les prévisionnistes de Météo-France, rien ne devrait donc obscurcir le ciel de ce week-end.

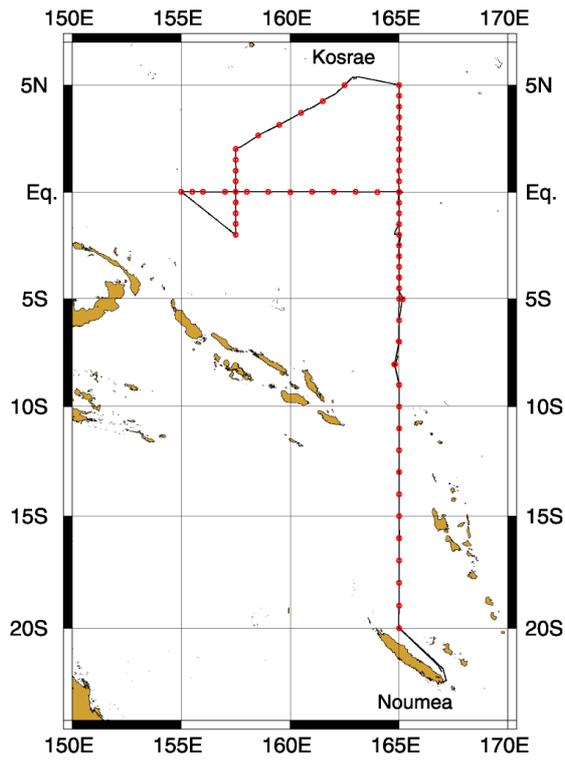


Figure 1 : Route suivie pendant la campagne Frontalis (29 mars – 26 avril 2001). Les points rouges indiquent la position des stations (CTD et L\_ADCP)



Figure 2 : Photographie de la sonde CTD, de la rosette 12 bouteilles et du L\_ADCP avec ses deux batteries, sur la plage arrière du N/O l'Alis avant immersion.

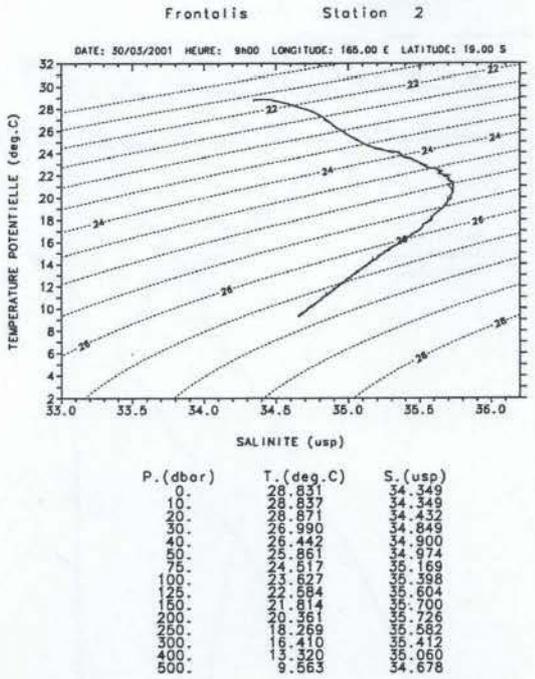
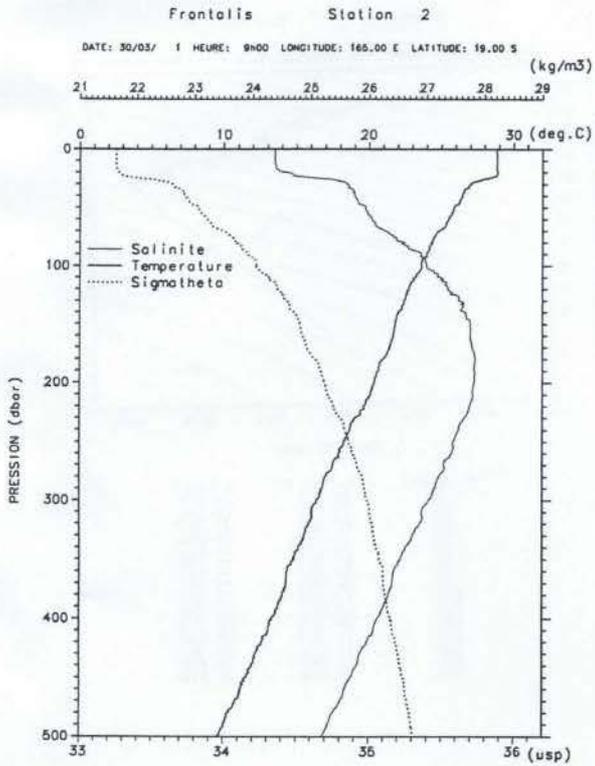
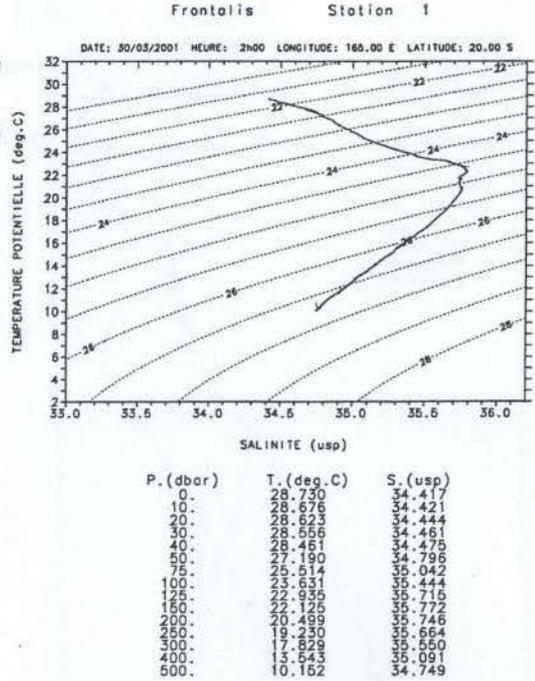
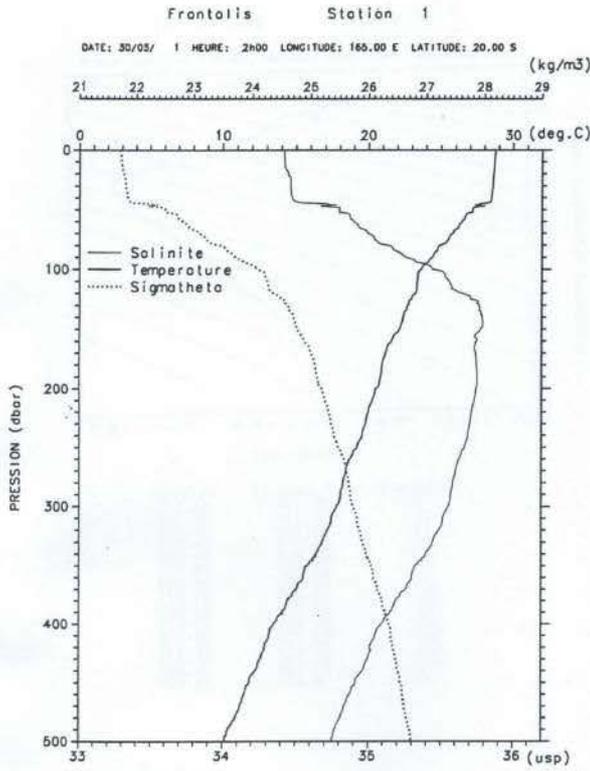


Figure 3

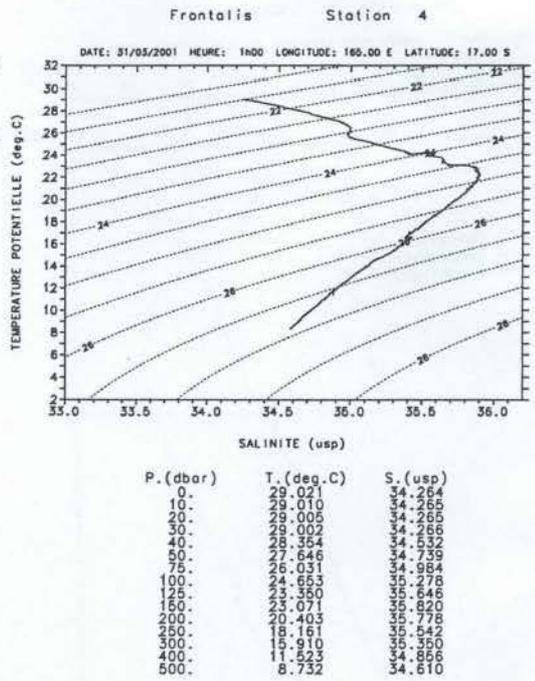
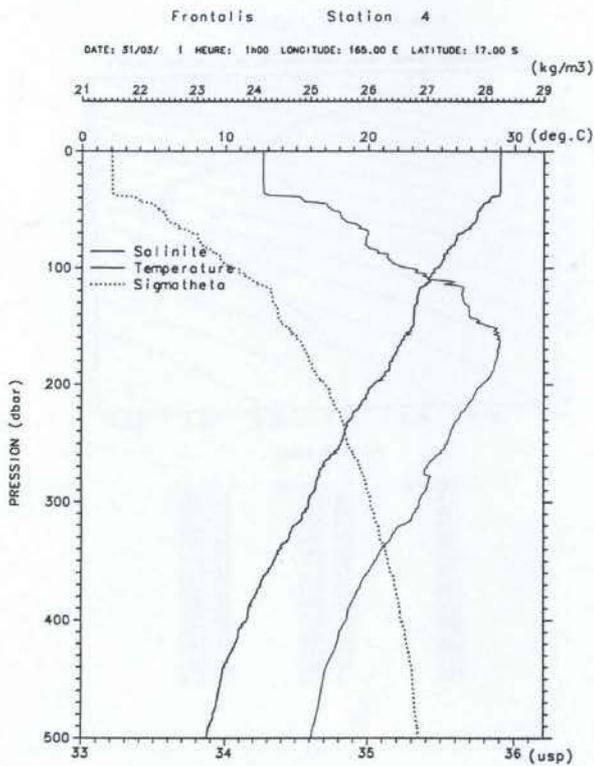
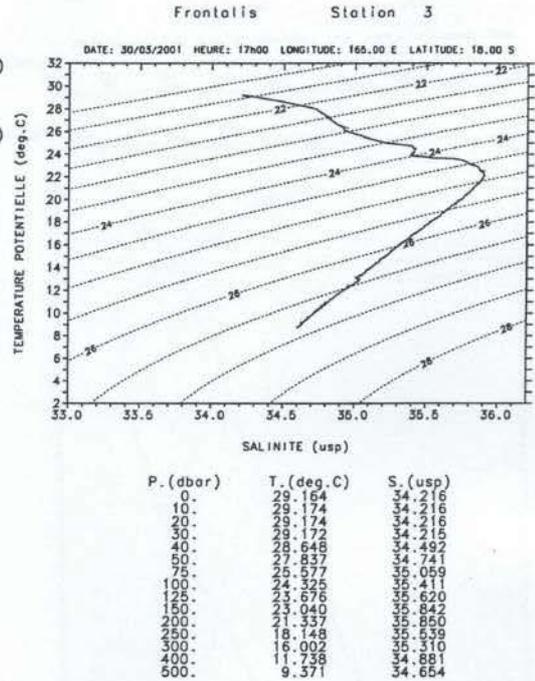
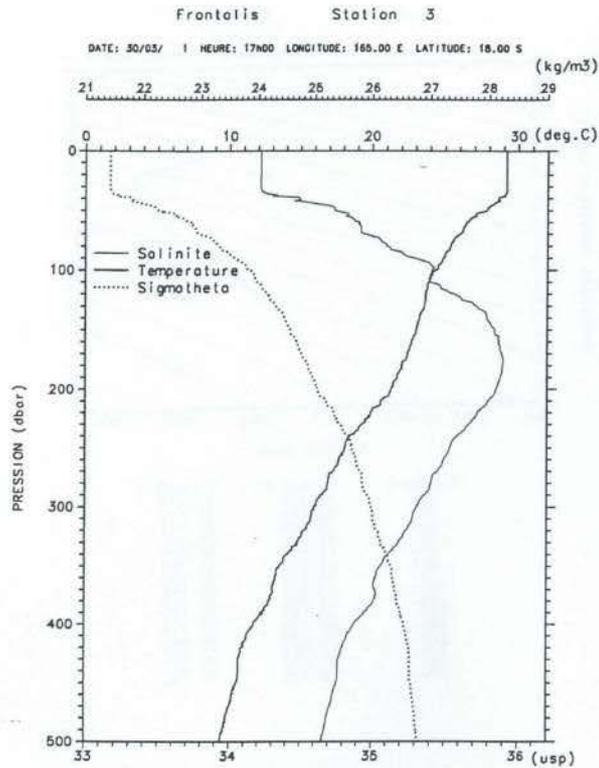


Figure 4

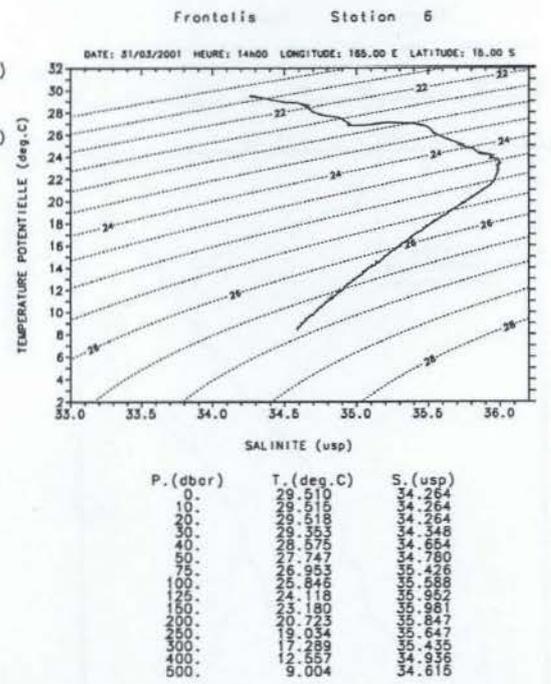
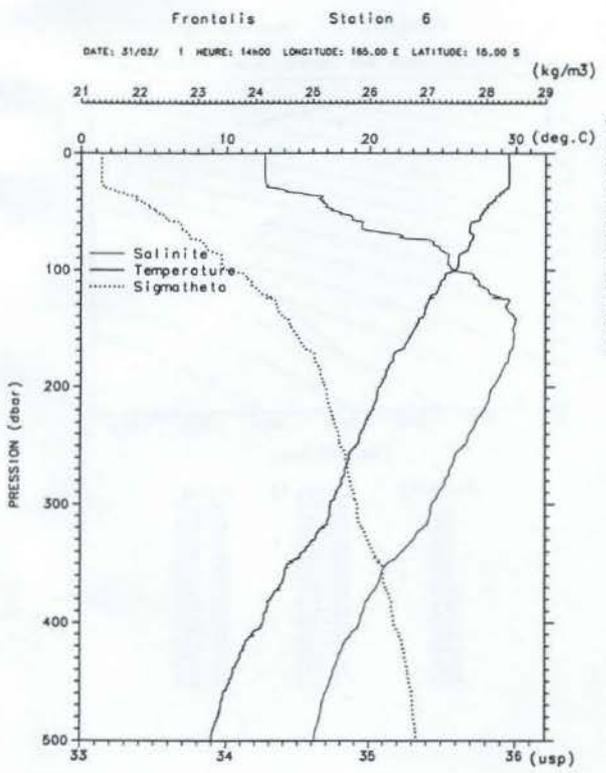
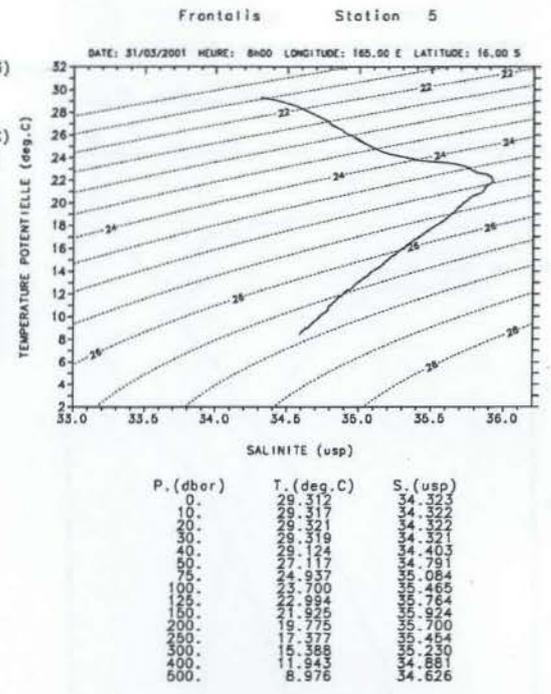
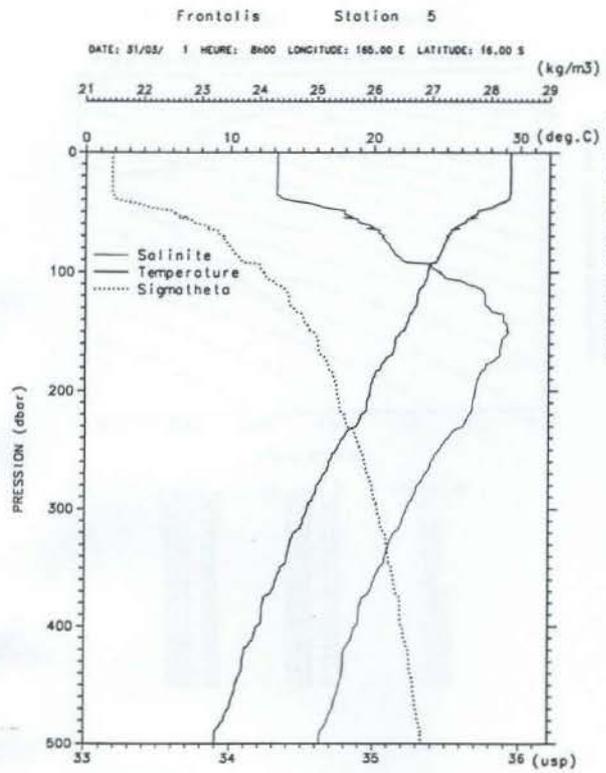


Figure 5

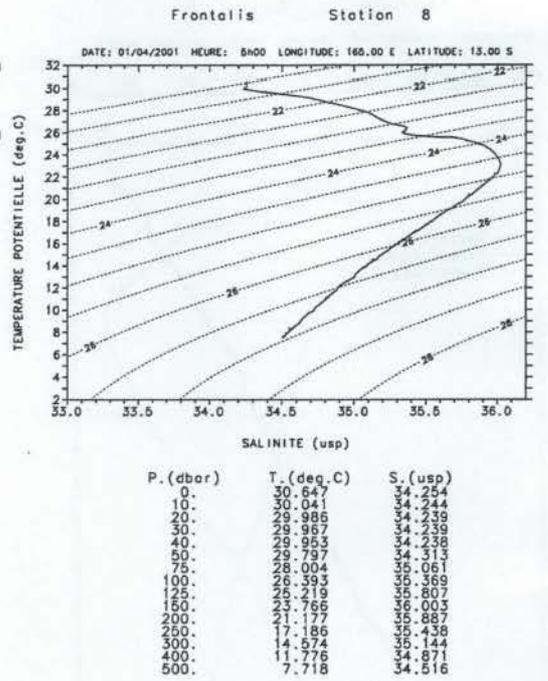
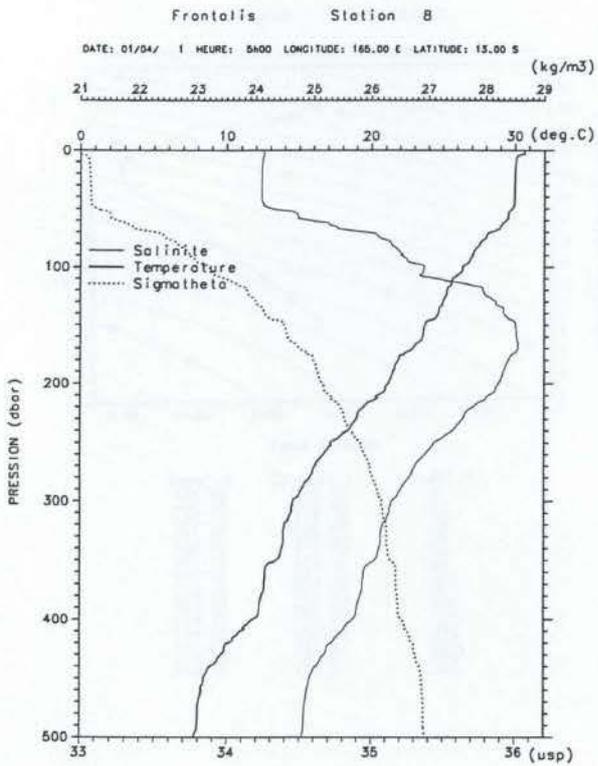
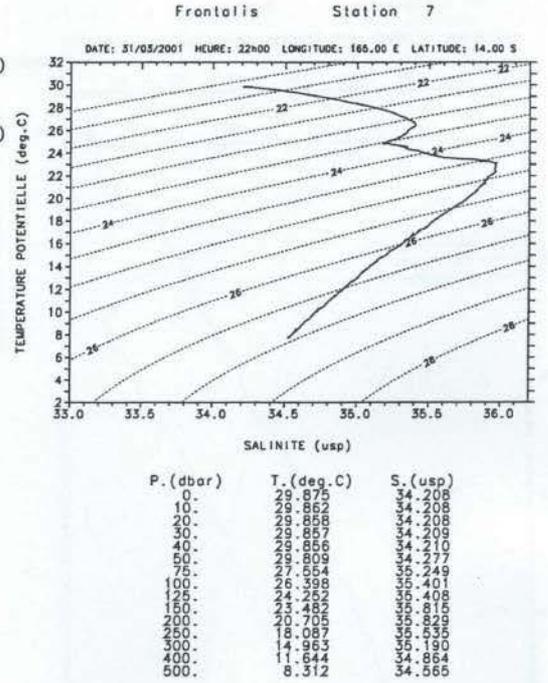
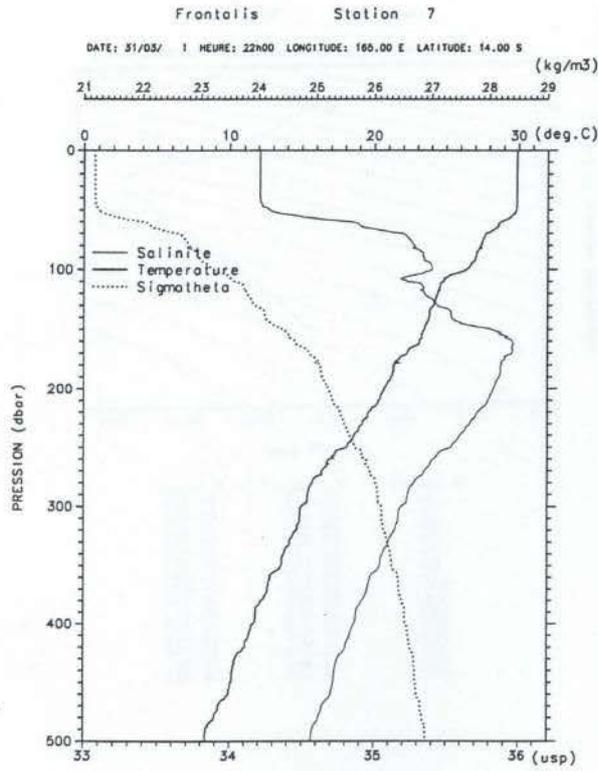


Figure 6

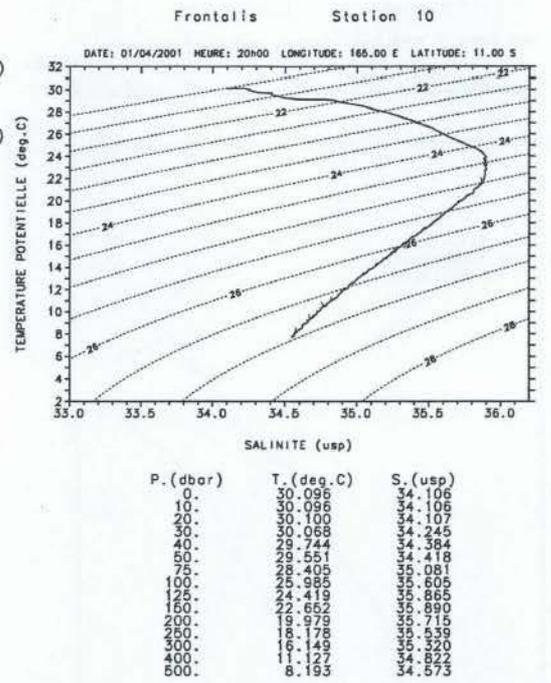
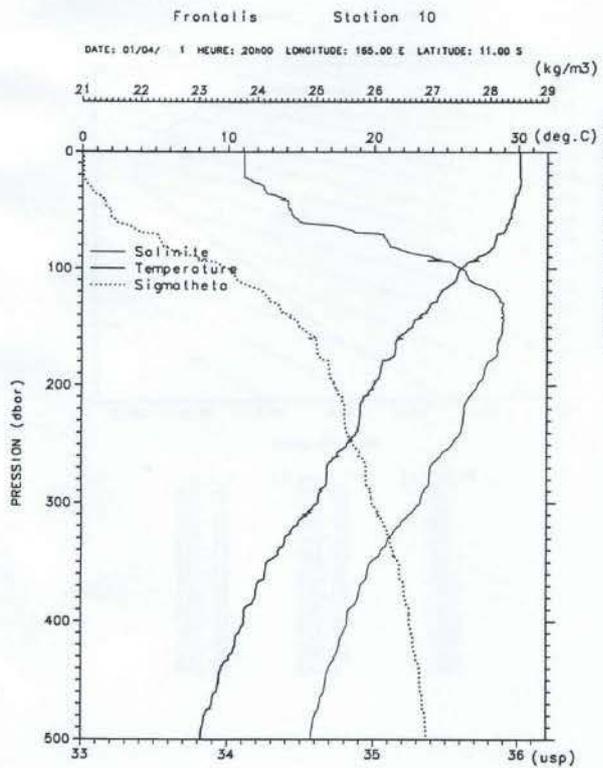
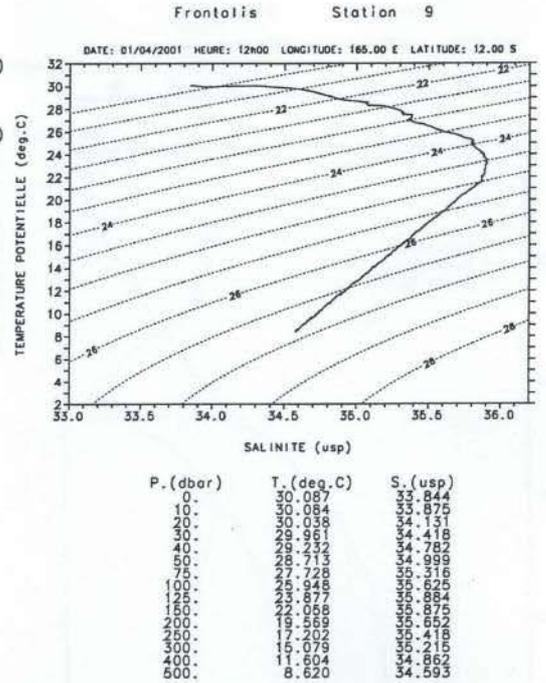
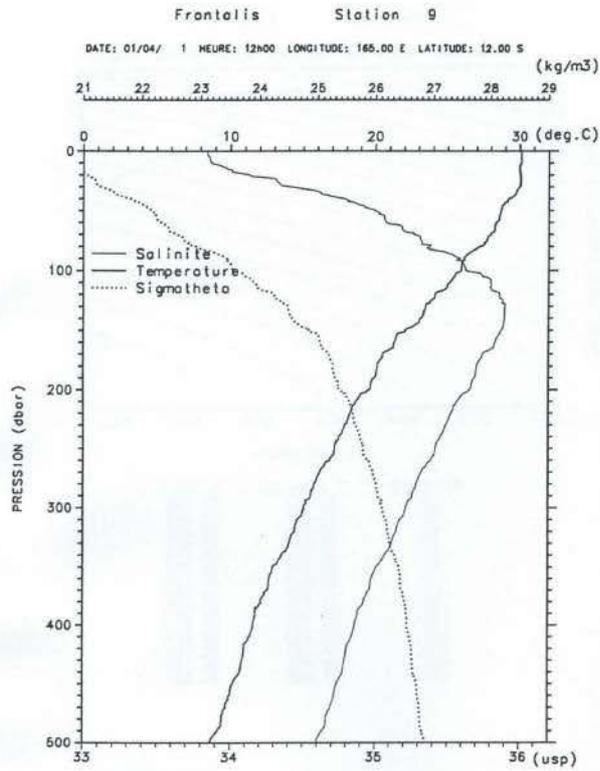


Figure 7

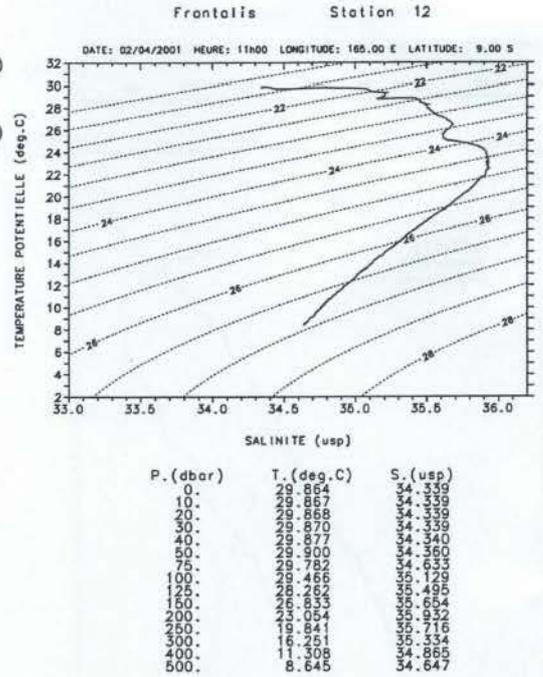
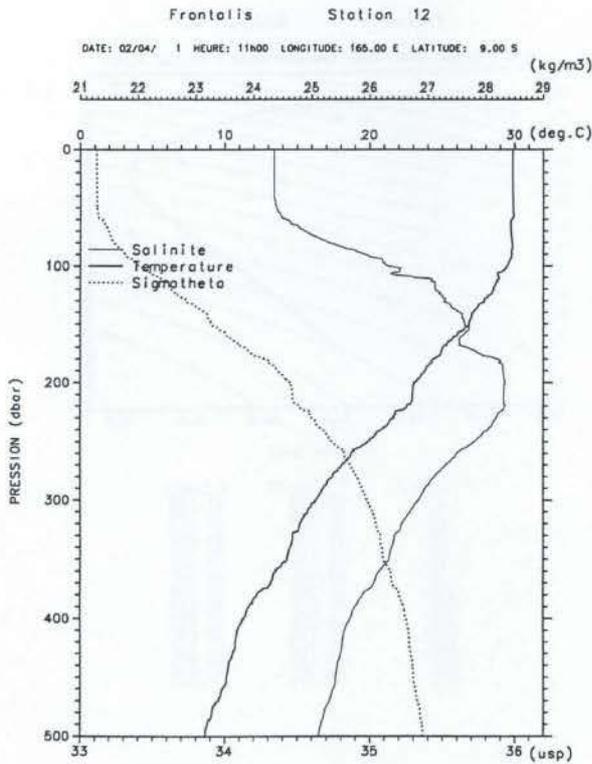
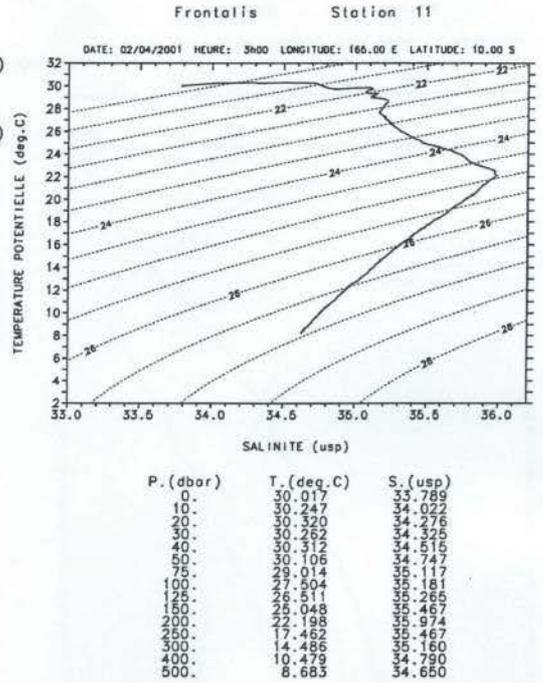
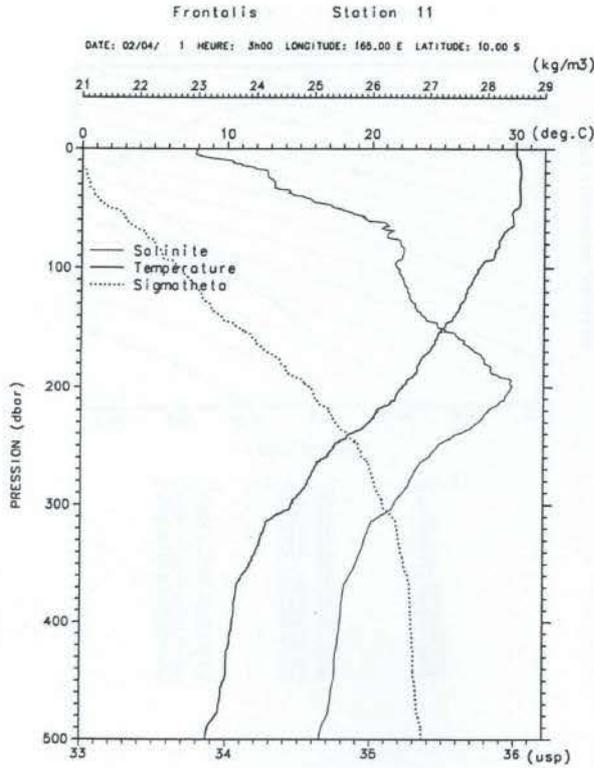


Figure 8

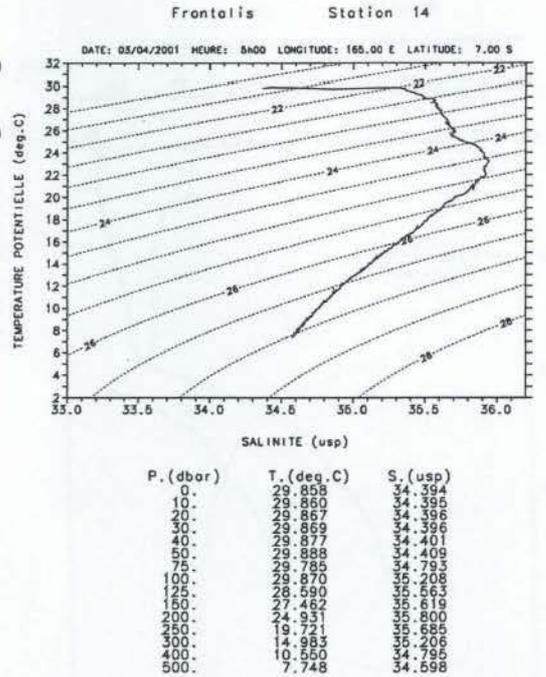
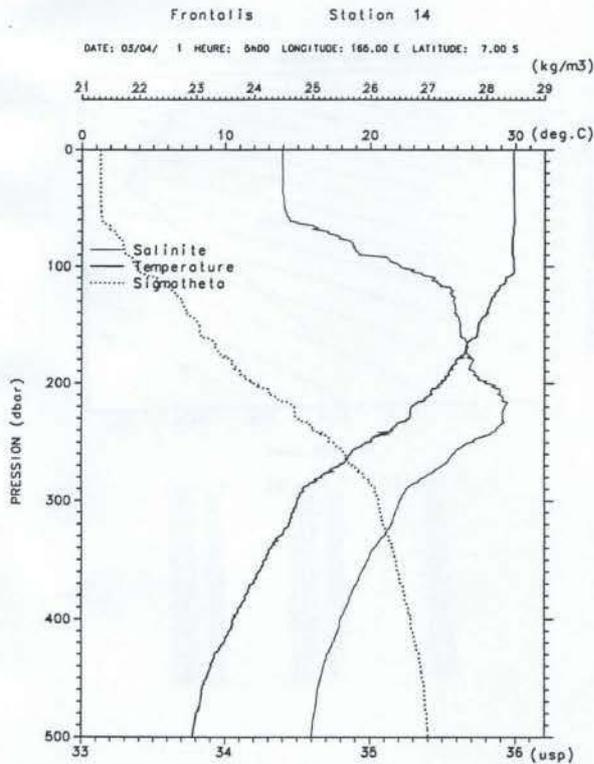
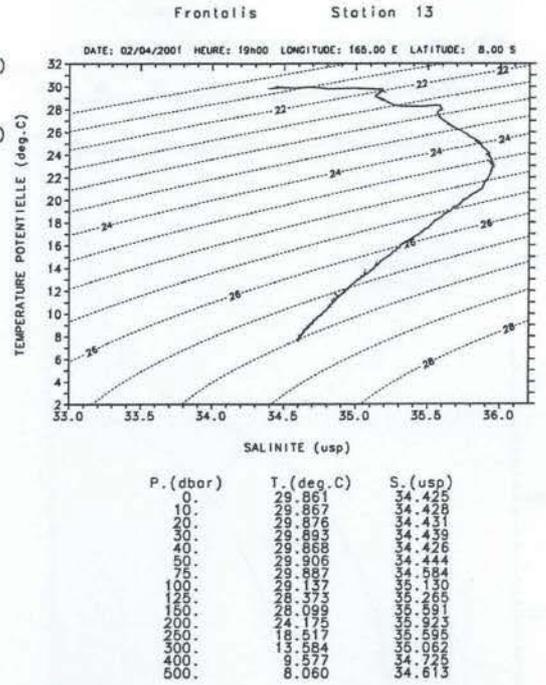
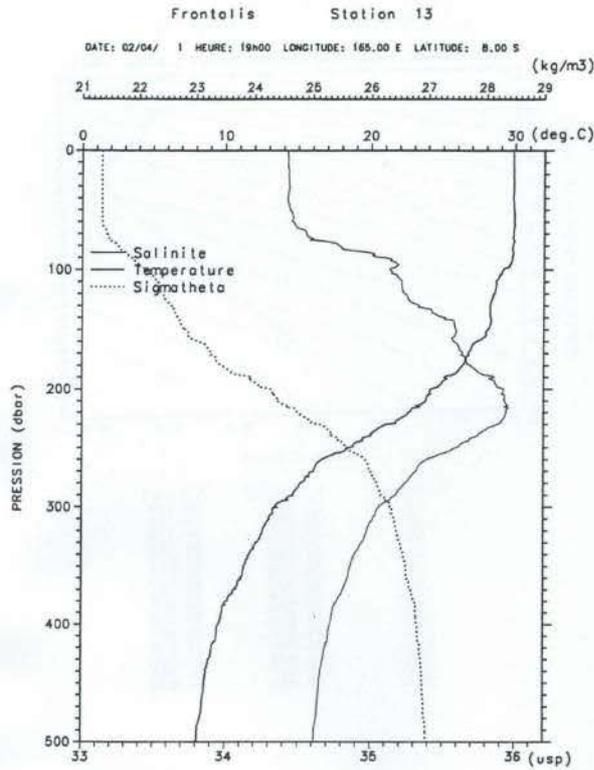


Figure 9

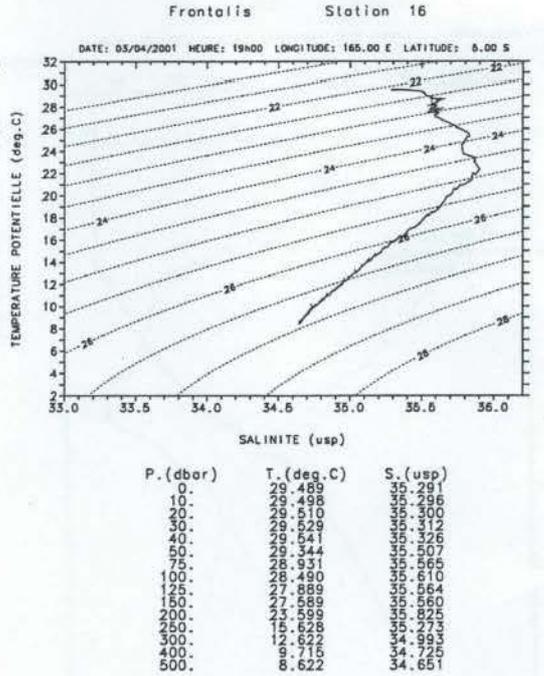
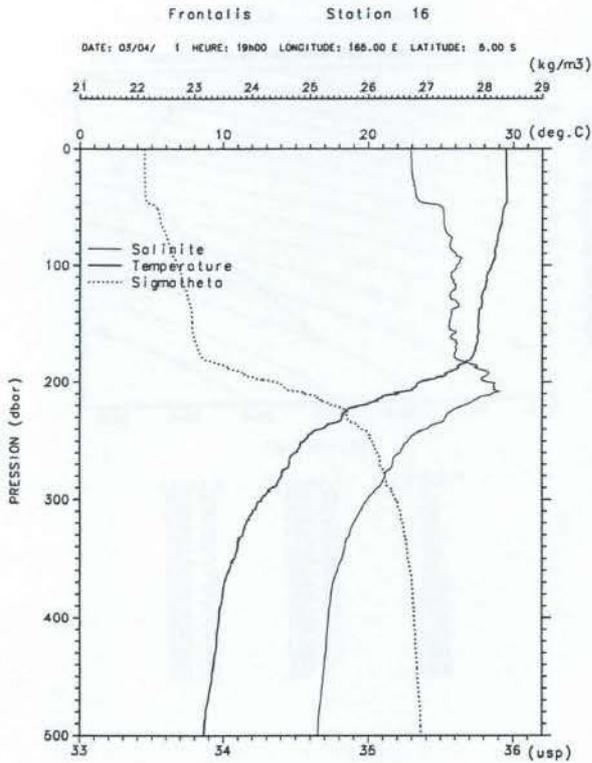
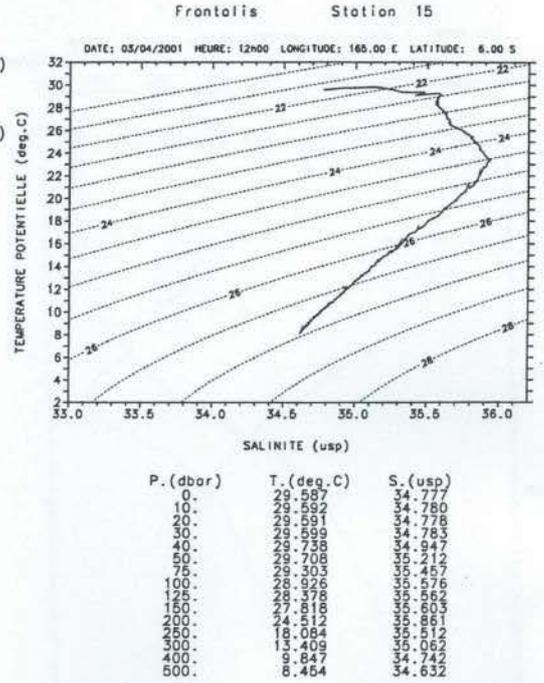
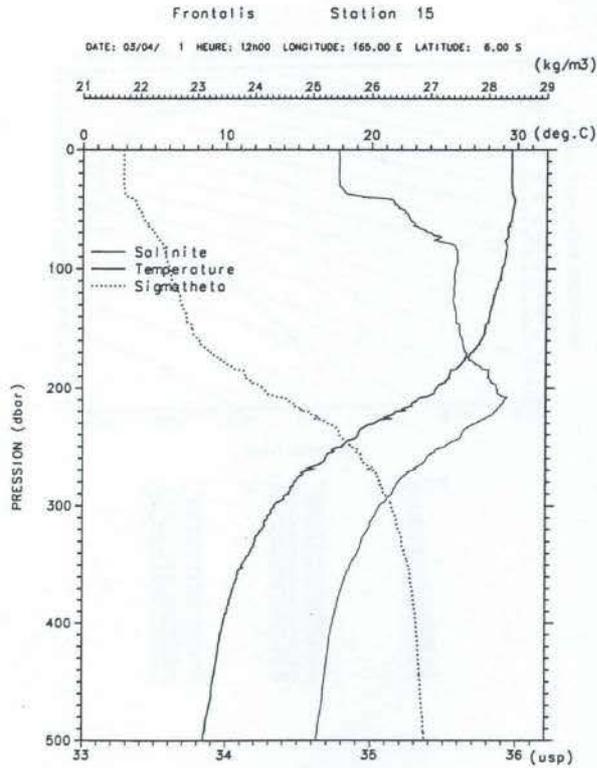


Figure 10

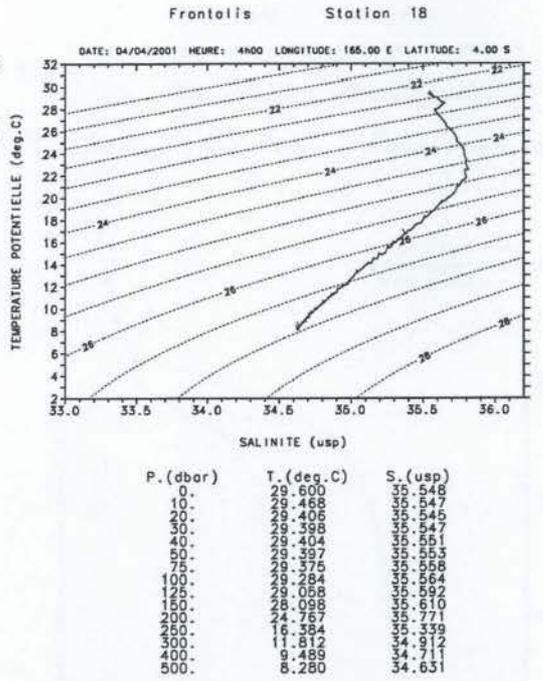
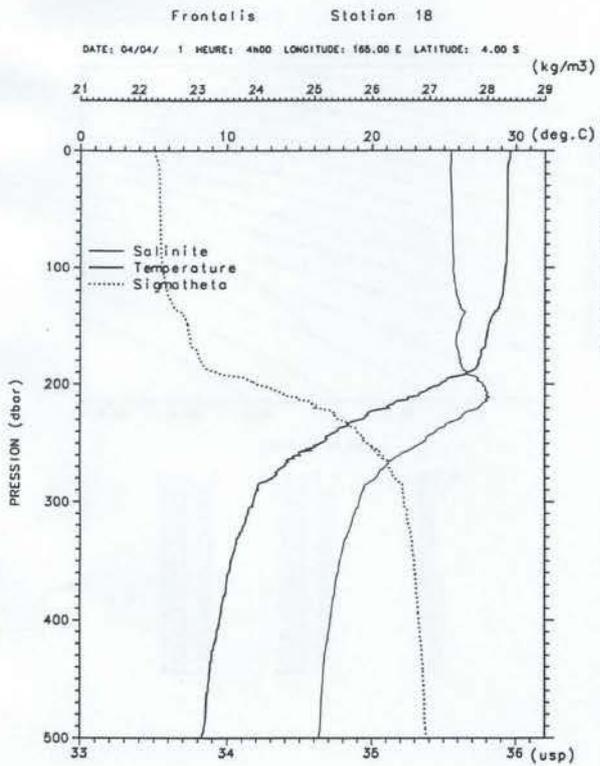
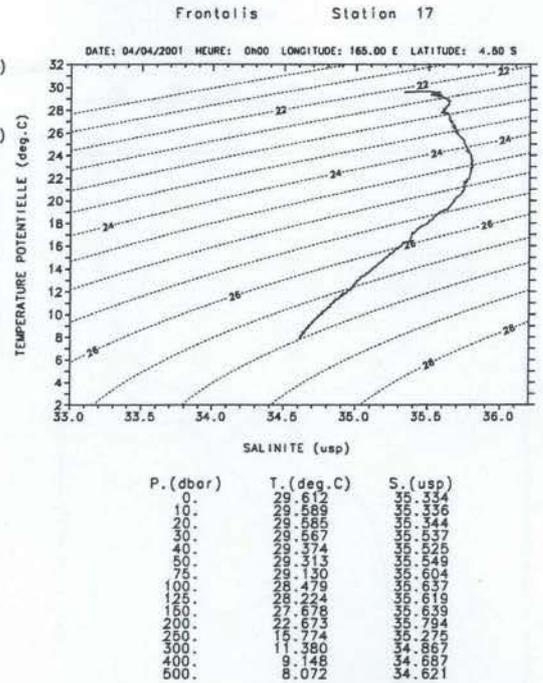
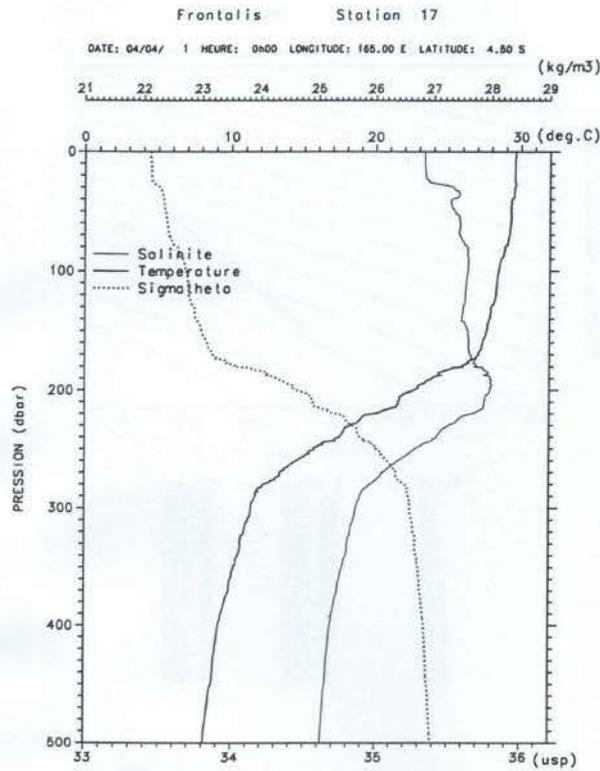


Figure 11

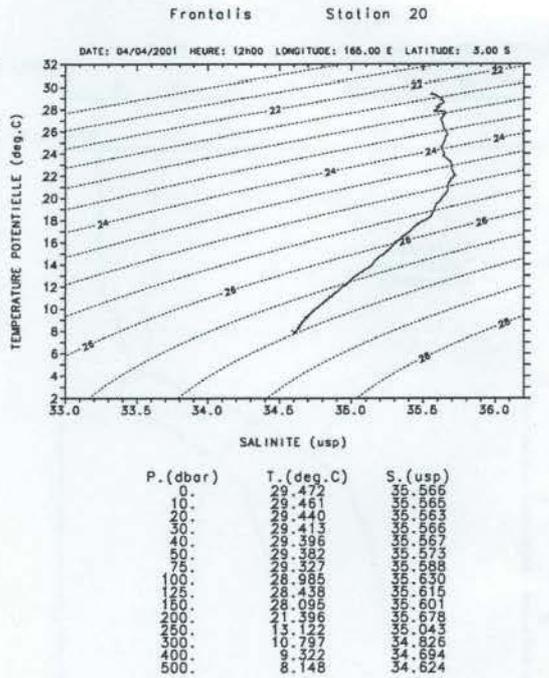
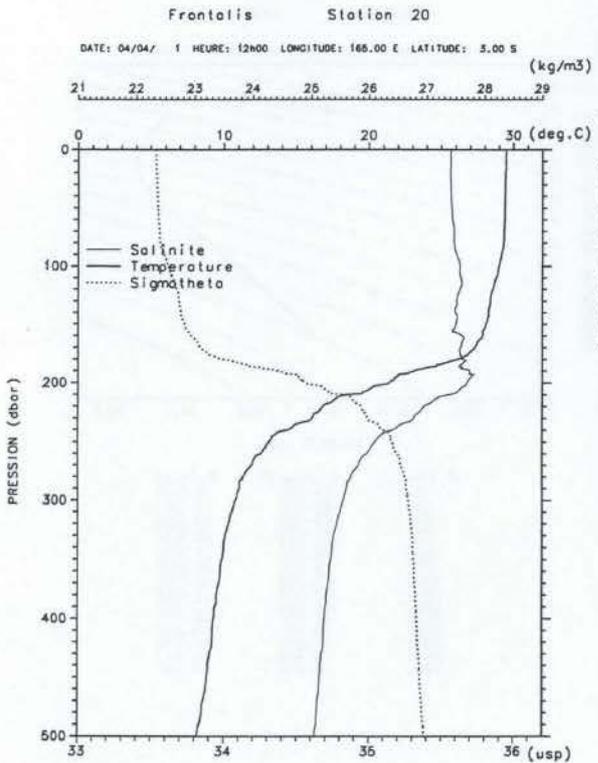
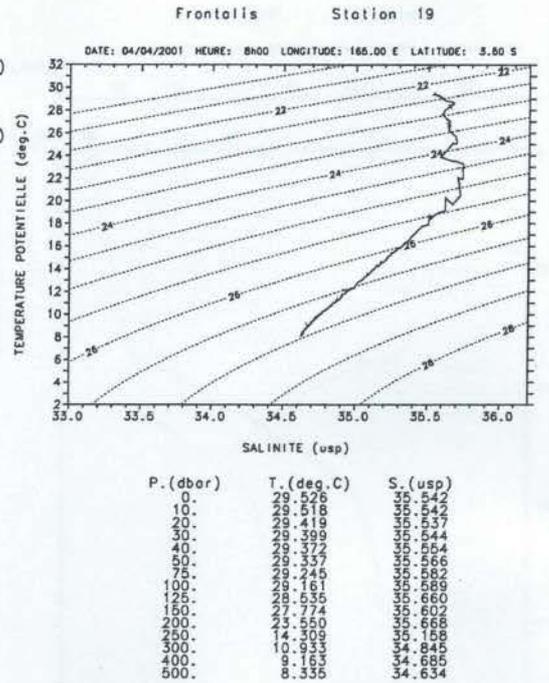
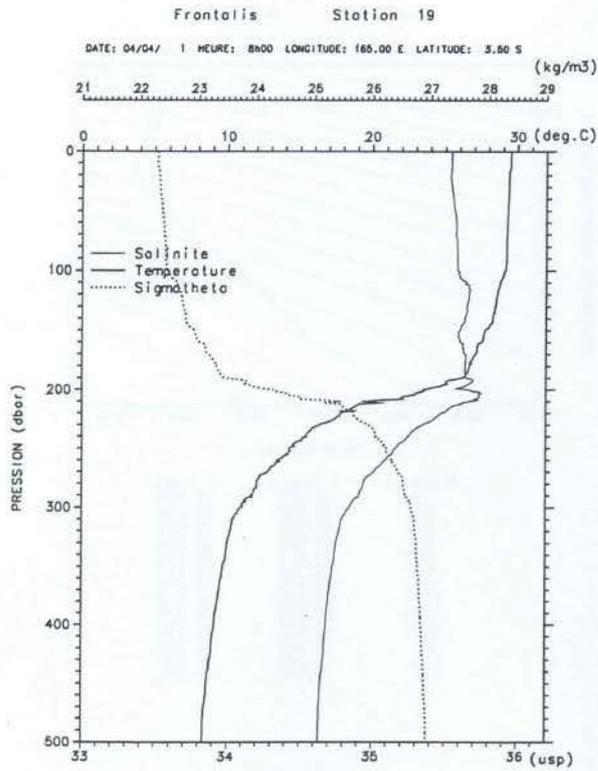


Figure 12

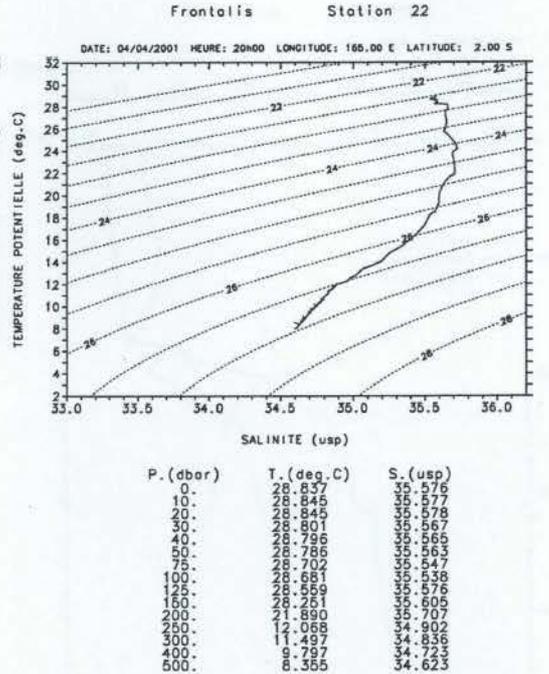
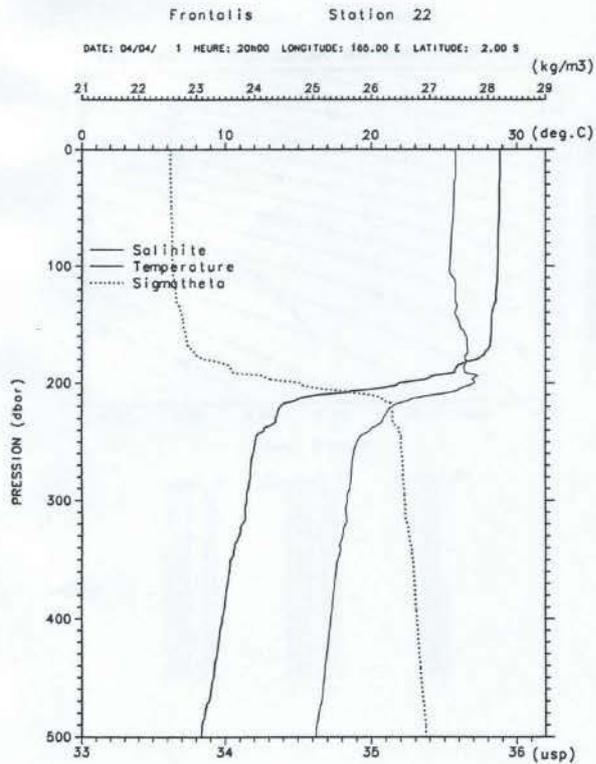
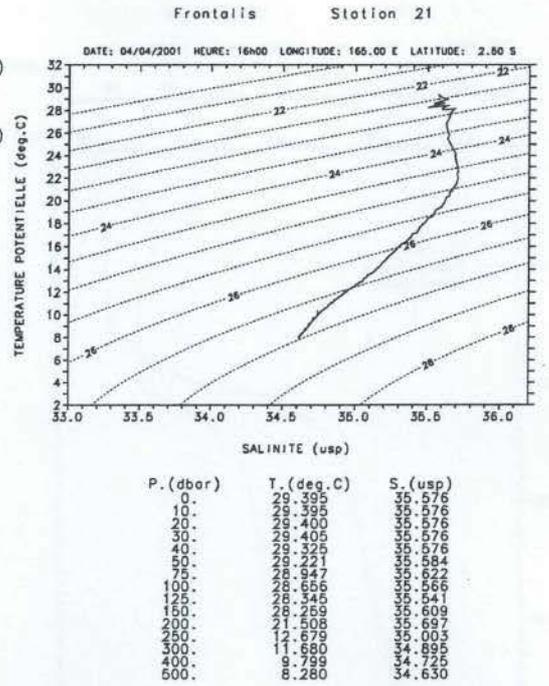
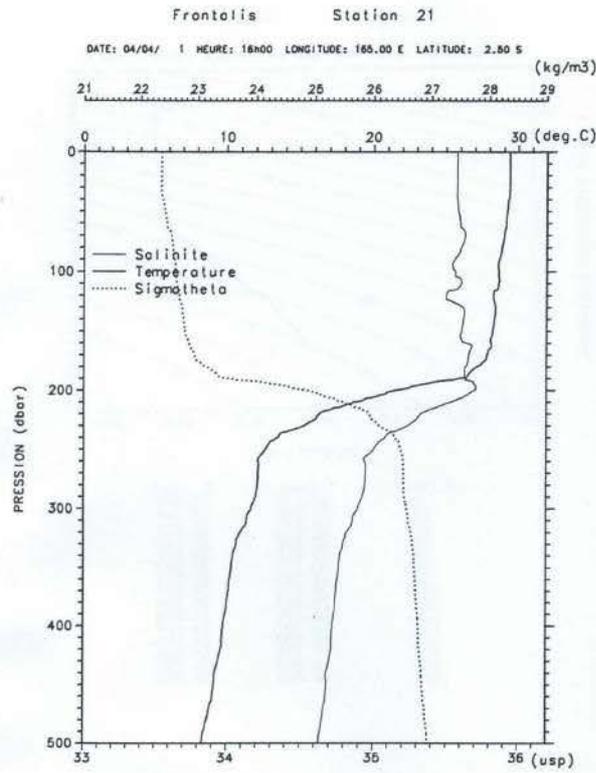


Figure 13

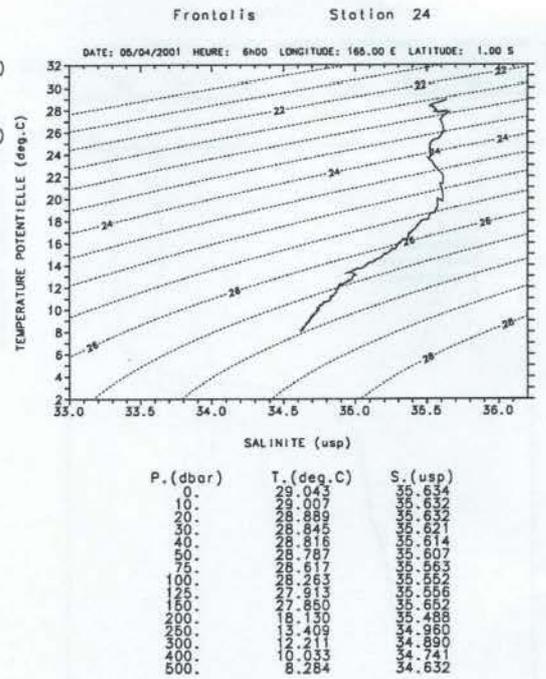
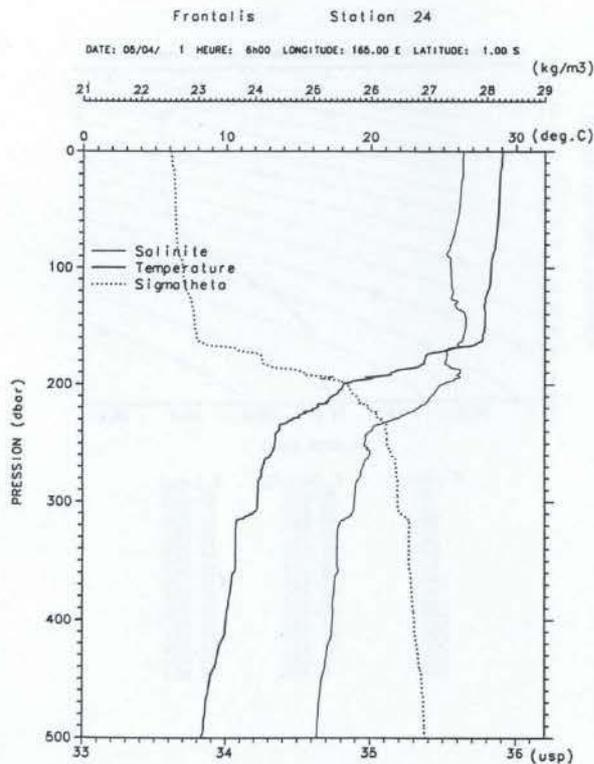
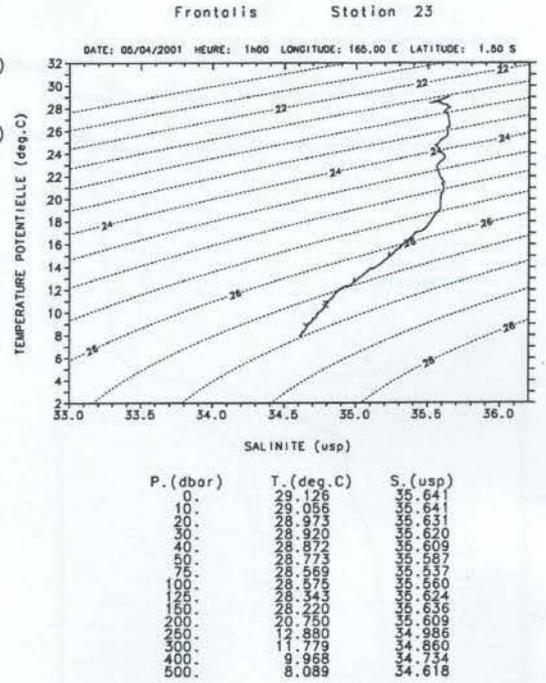
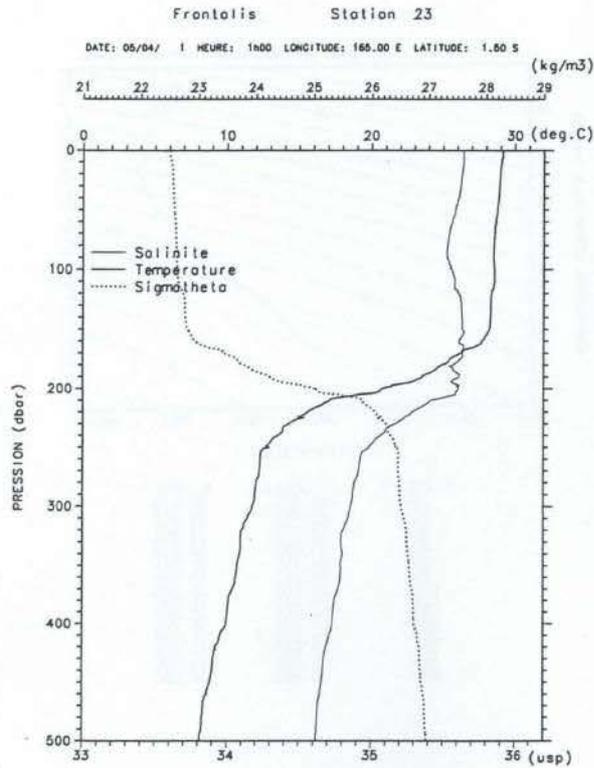


Figure 14

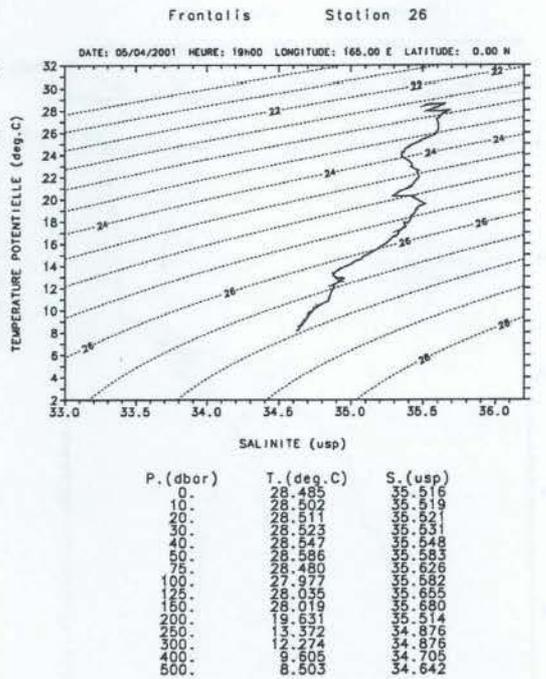
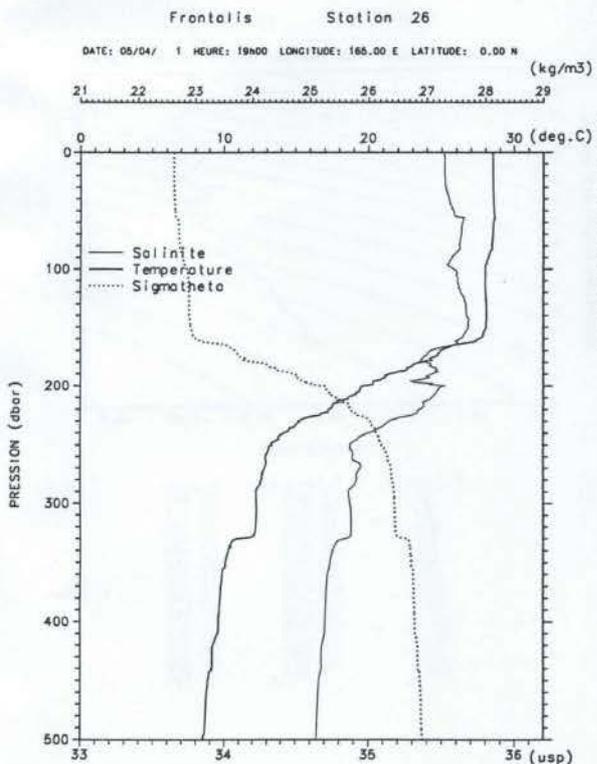
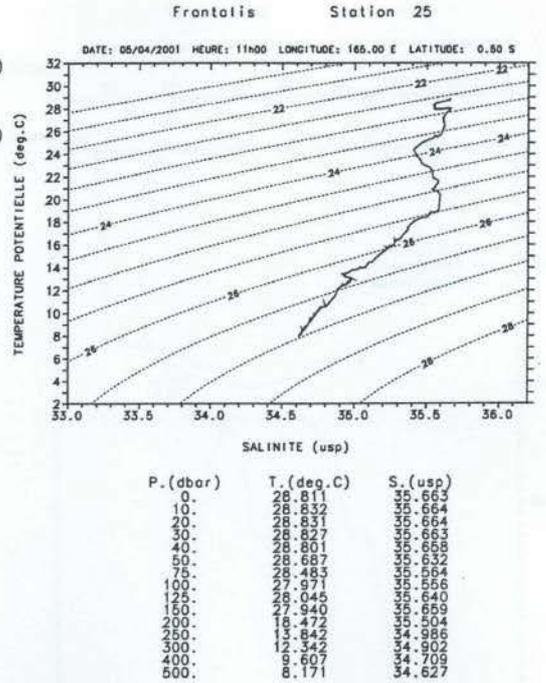
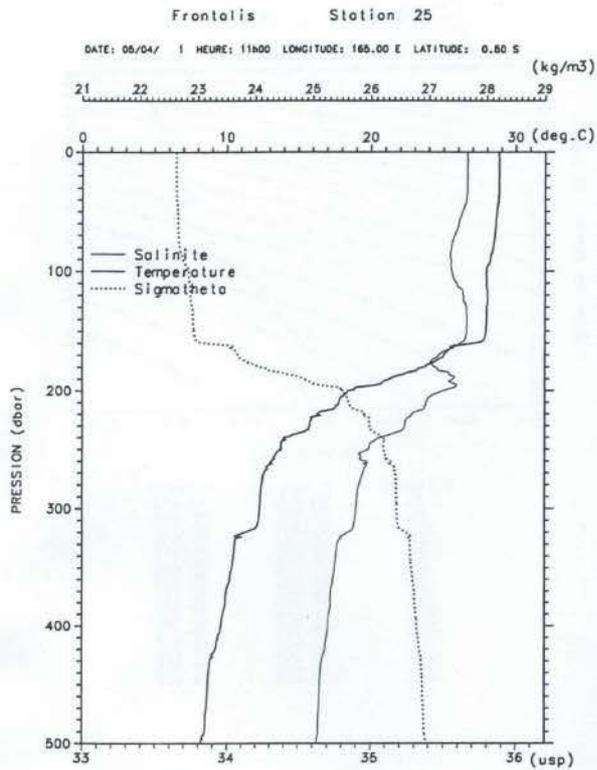


Figure 15

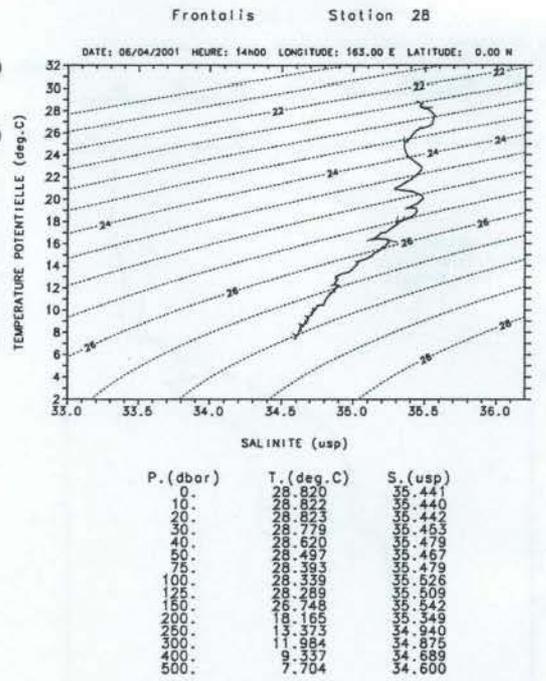
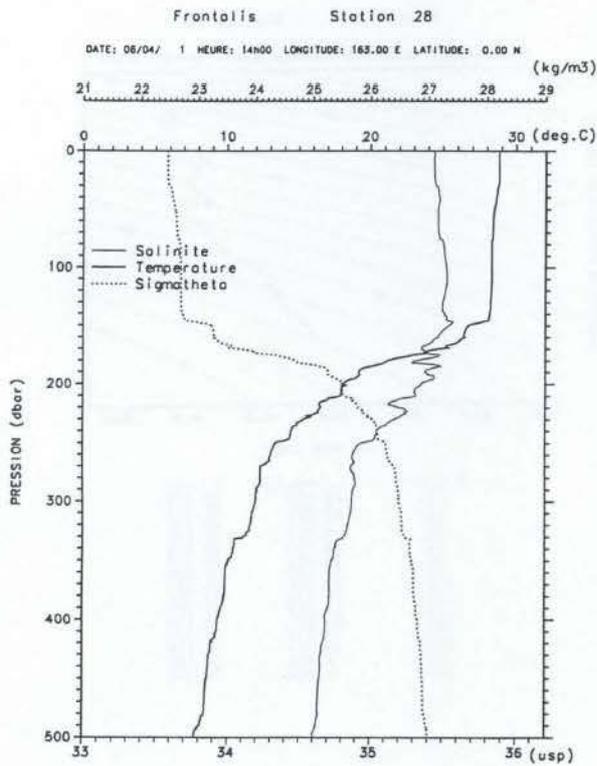
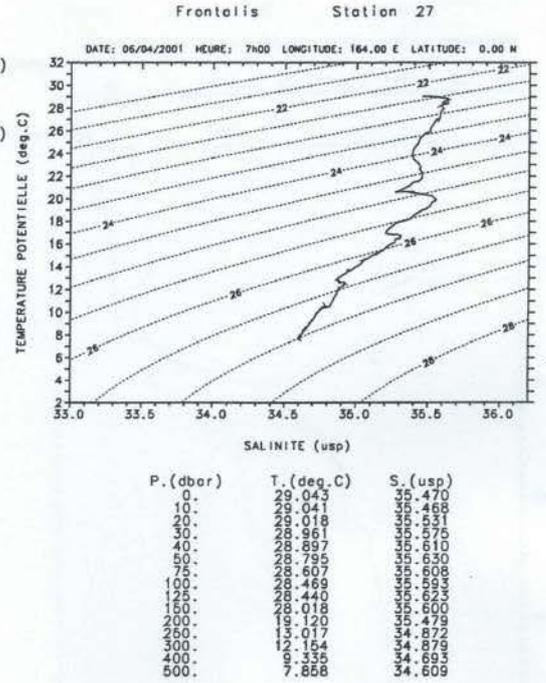
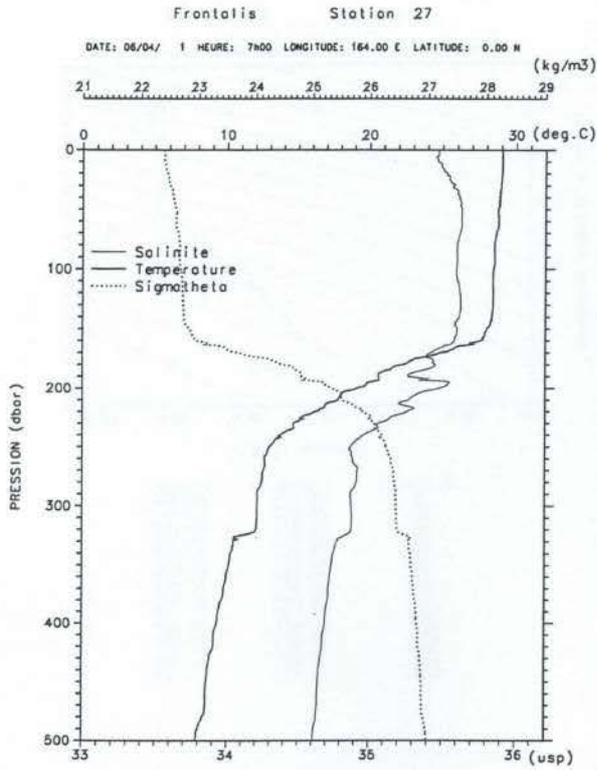
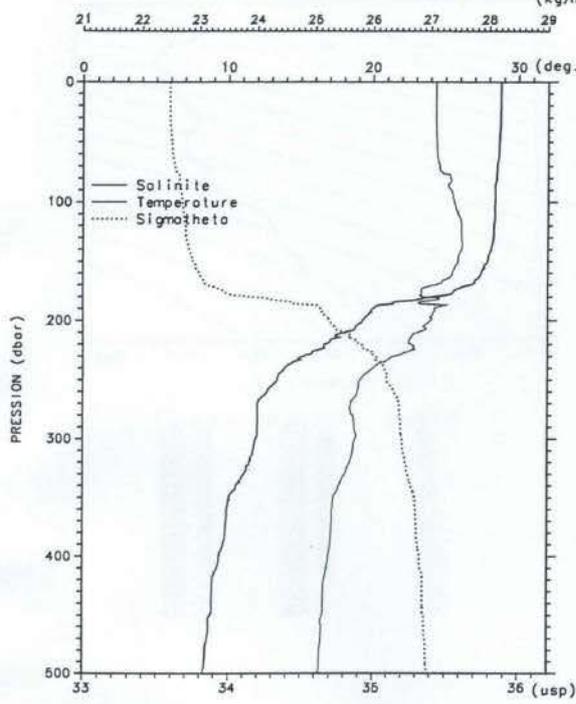


Figure 16

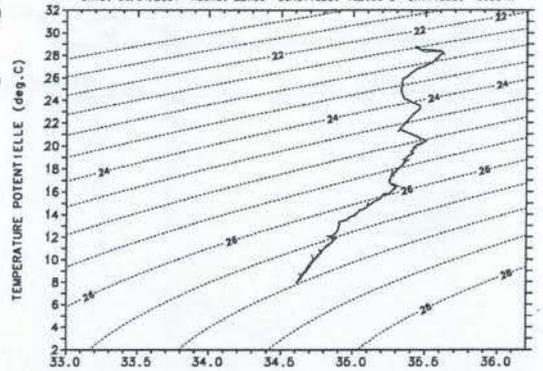
Frontalis Station 29

DATE: 06/04/ 1 HEURE: 22H00 LONGITUDE: 162.00 E LATITUDE: 0.00 N



Frontalis Station 29

DATE: 06/04/2001 HEURE: 22H00 LONGITUDE: 162.00 E LATITUDE: 0.00 N

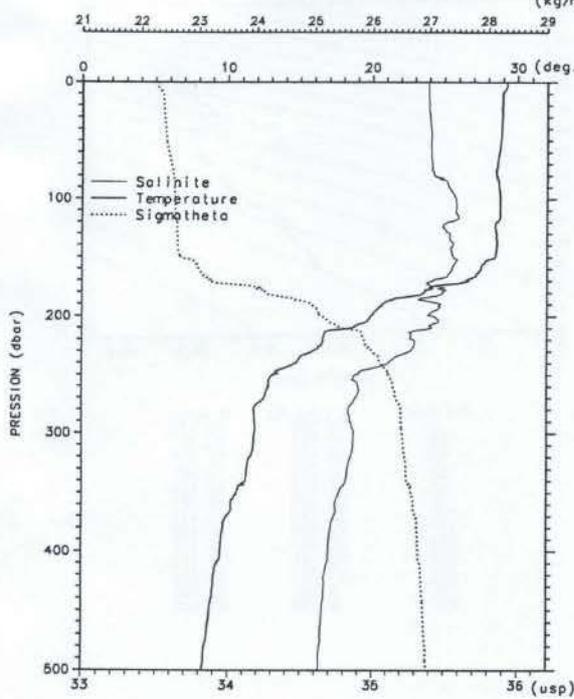


SALINITE (usp)

P. (dbar)	T. (deg.C)	S. (usp)
0.	28.761	35.436
10.	28.760	35.436
20.	28.748	35.436
30.	28.738	35.436
40.	28.712	35.436
50.	28.667	35.441
75.	28.487	35.478
100.	28.393	35.560
125.	28.321	35.610
150.	27.876	35.588
200.	19.283	35.403
250.	13.415	34.914
300.	11.912	34.880
400.	9.388	34.697
500.	8.271	34.627

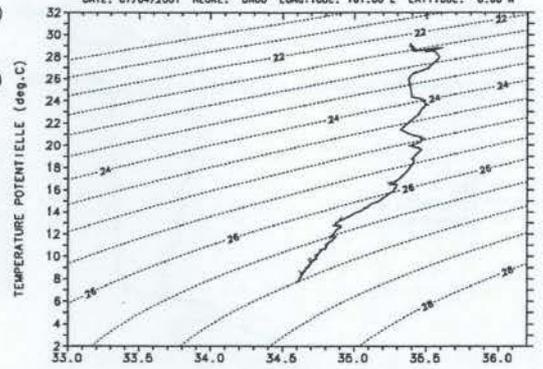
Frontalis Station 30

DATE: 07/04/ 1 HEURE: 08H00 LONGITUDE: 161.00 E LATITUDE: 0.00 N



Frontalis Station 30

DATE: 07/04/2001 HEURE: 08H00 LONGITUDE: 161.00 E LATITUDE: 0.00 N



SALINITE (usp)

P. (dbar)	T. (deg.C)	S. (usp)
0.	29.241	35.391
10.	29.363	35.393
20.	29.336	35.396
30.	29.318	35.401
40.	29.378	35.408
50.	29.330	35.409
75.	29.519	35.414
100.	29.796	35.579
125.	29.482	35.495
150.	29.437	35.562
200.	19.097	35.427
250.	13.097	34.884
300.	11.847	34.867
400.	9.486	34.697
500.	8.187	34.625

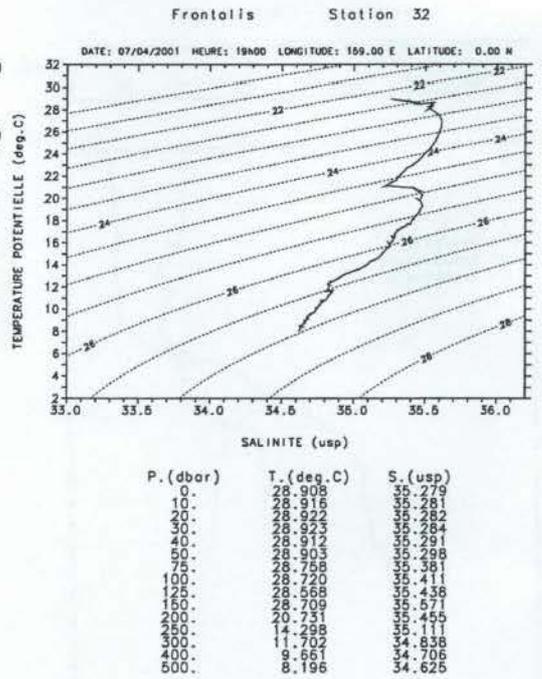
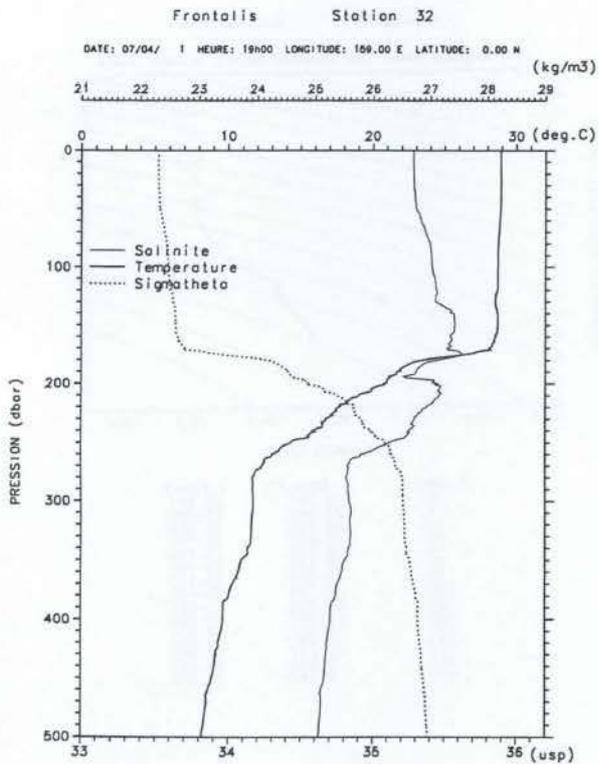
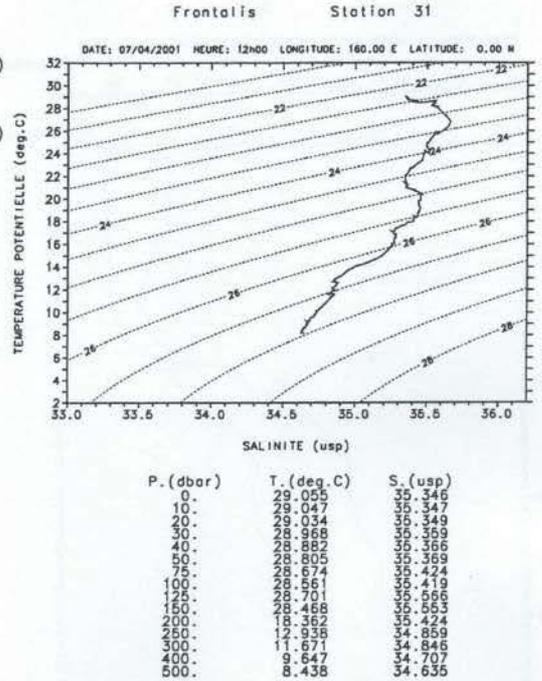
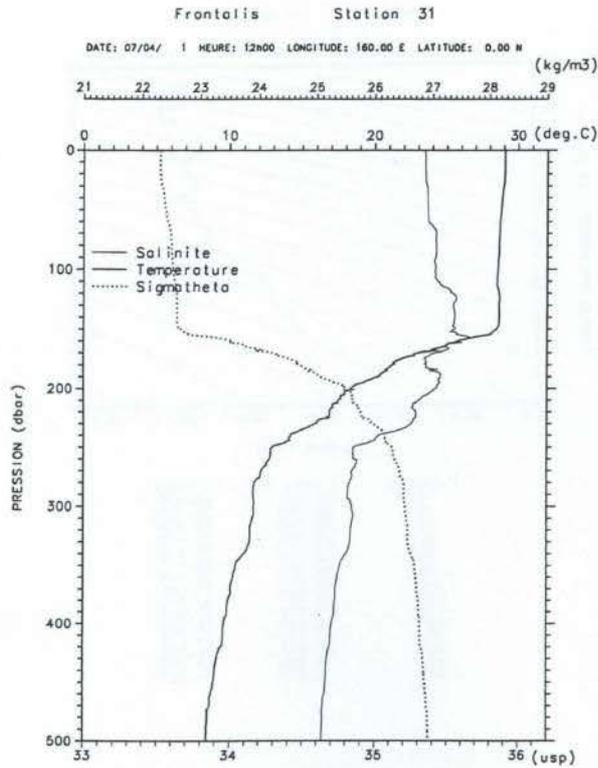


Figure 18

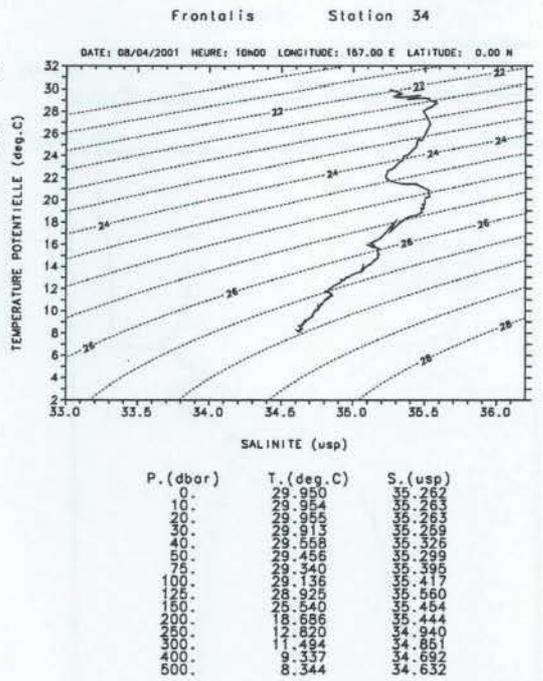
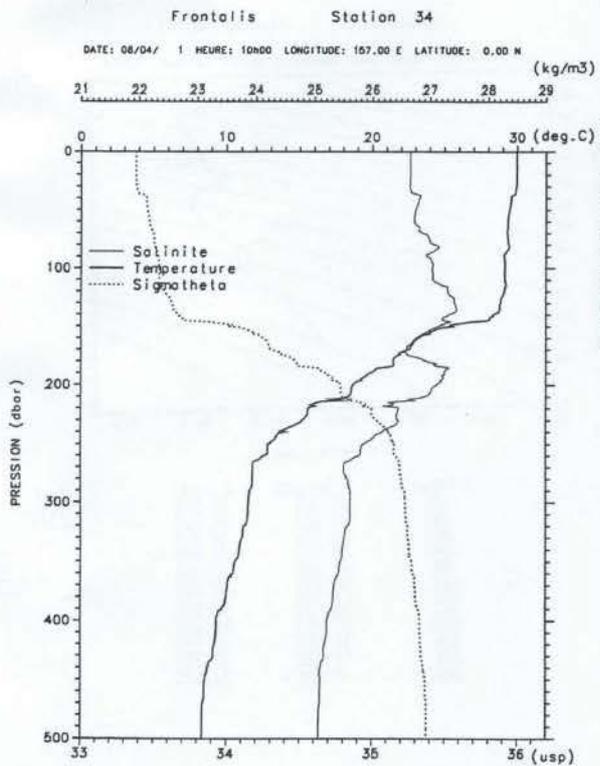
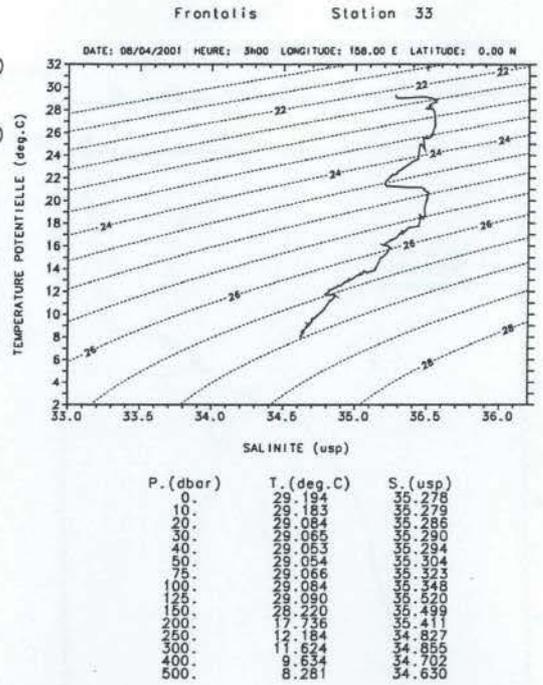
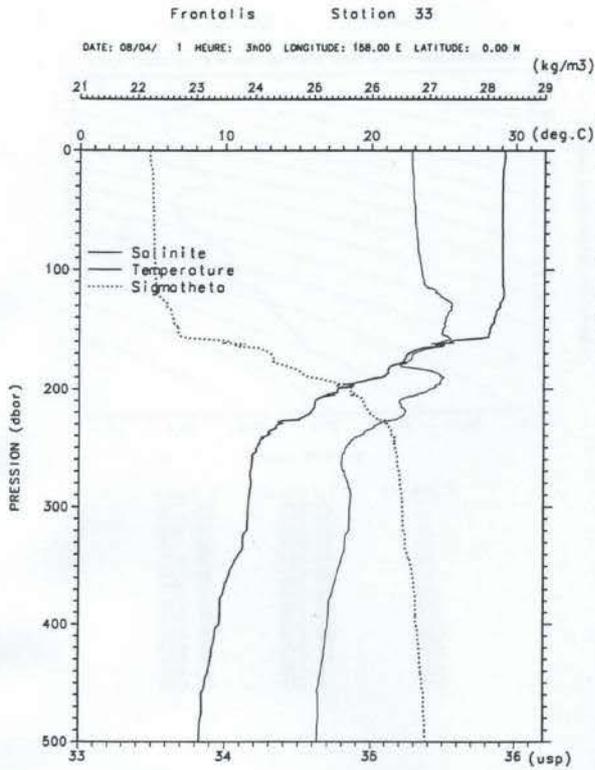


Figure 19

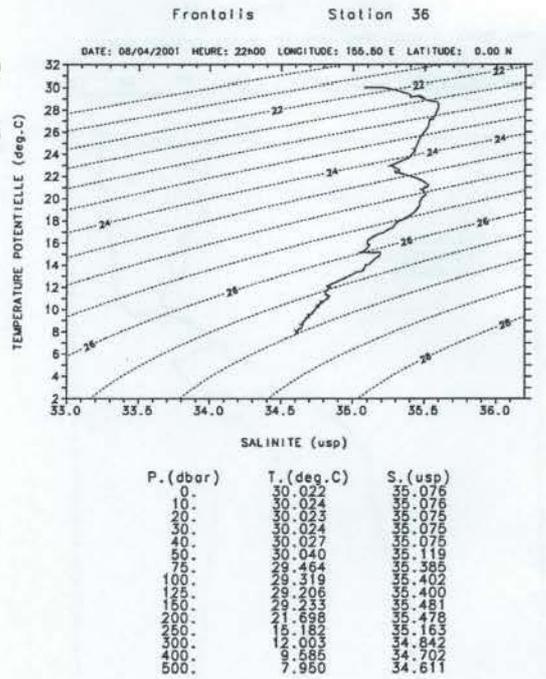
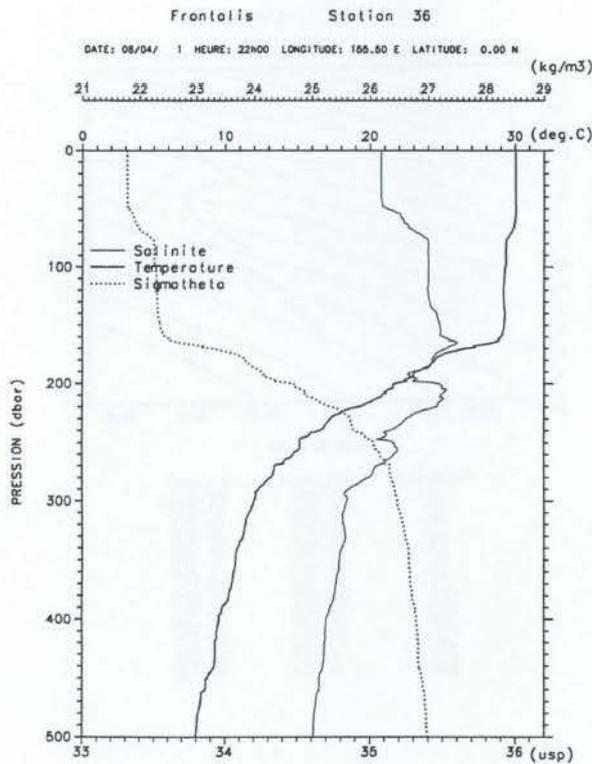
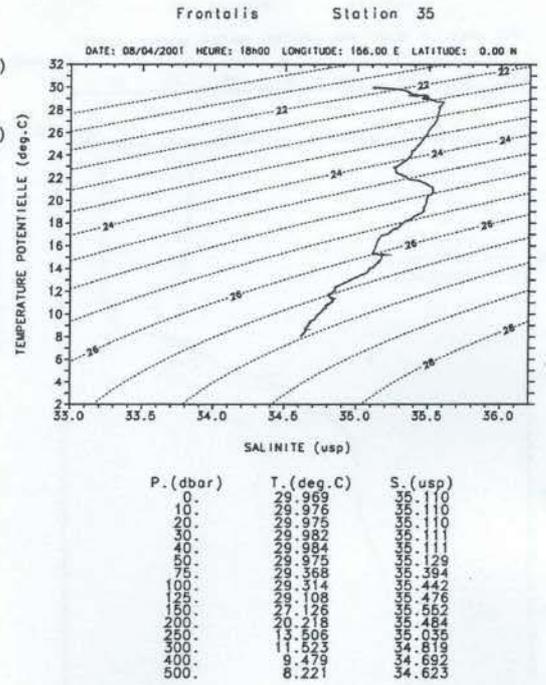
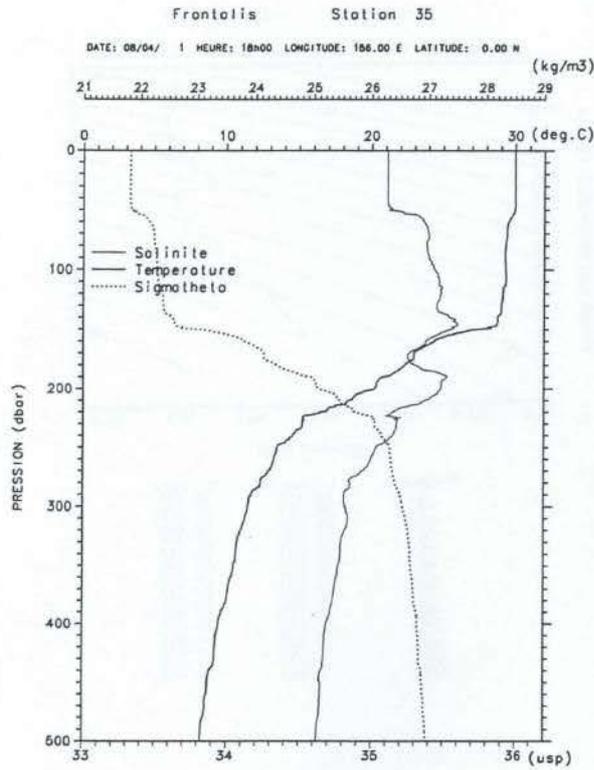


Figure 20

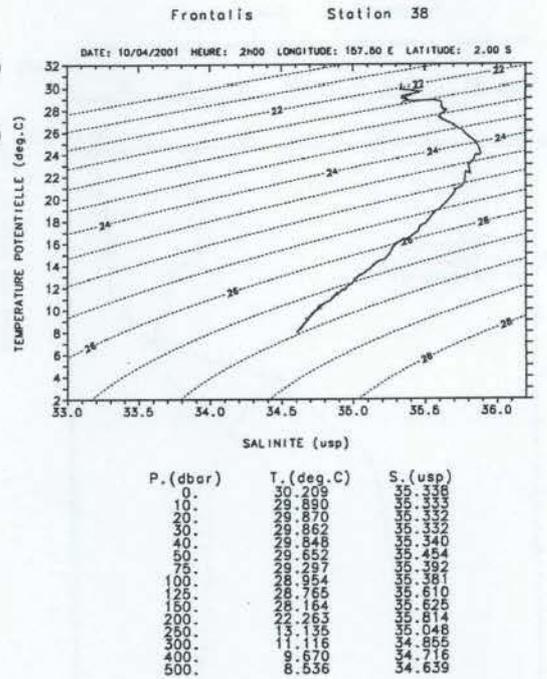
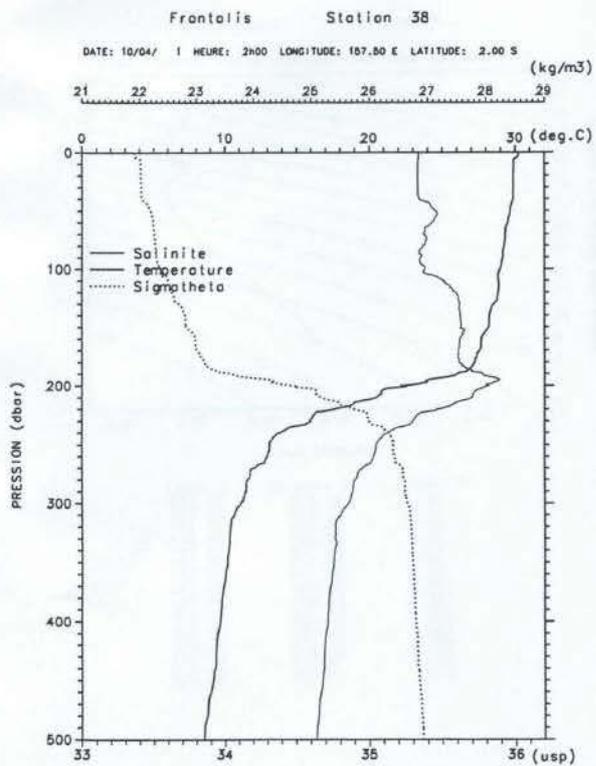
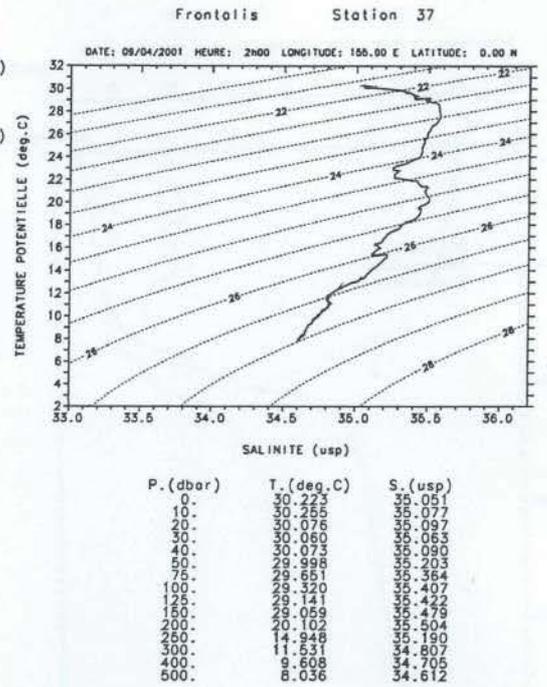
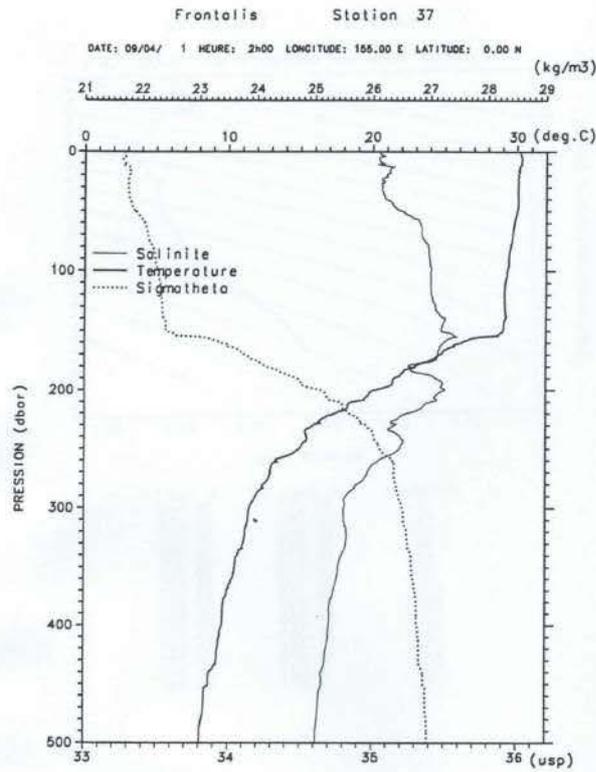


Figure 21

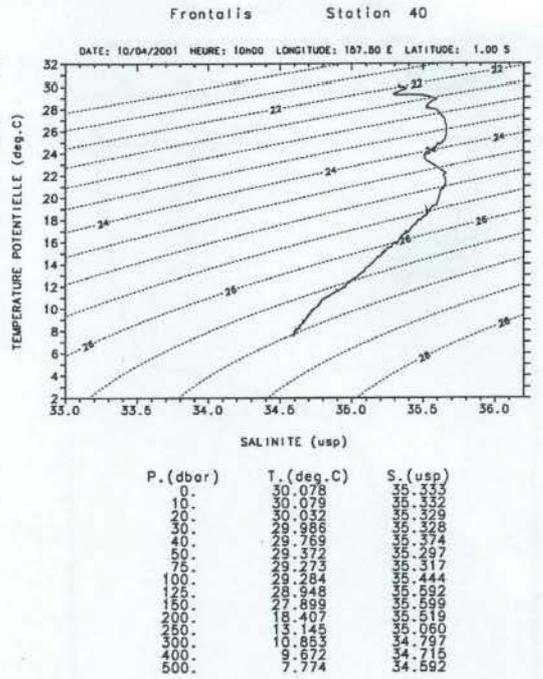
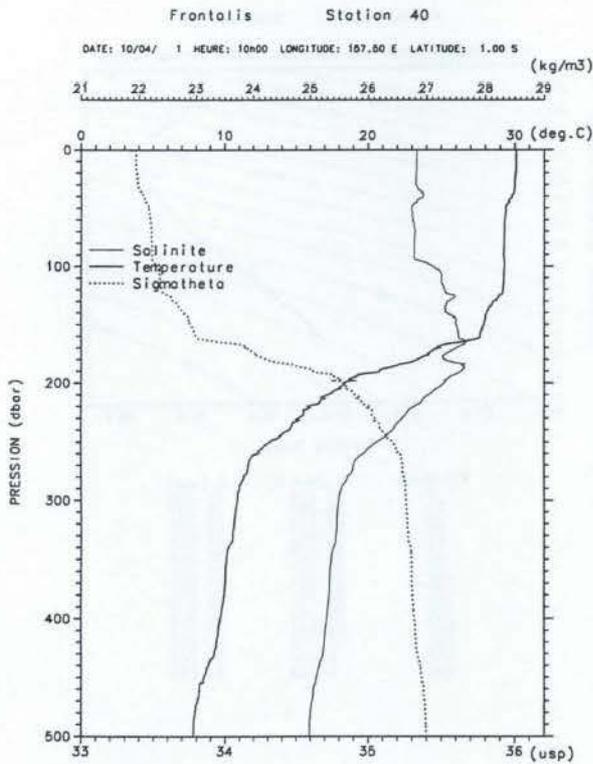
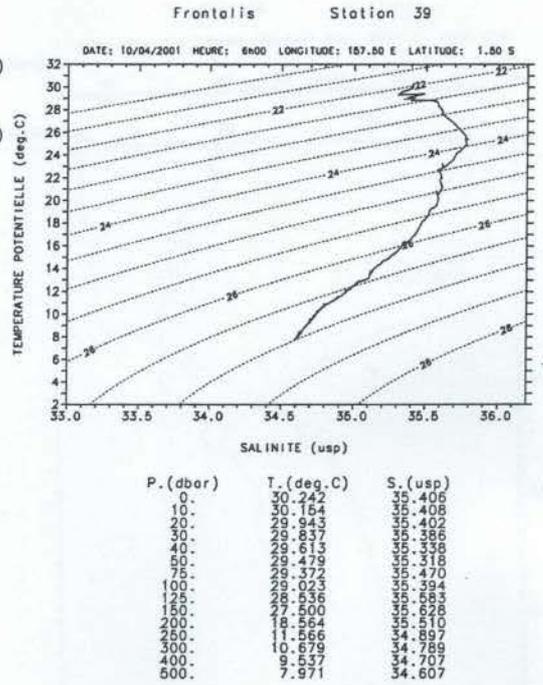
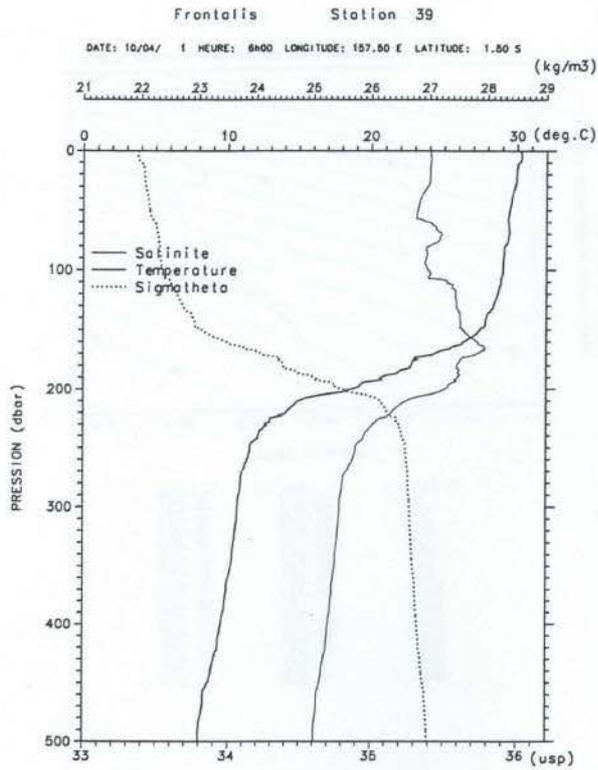


Figure 22

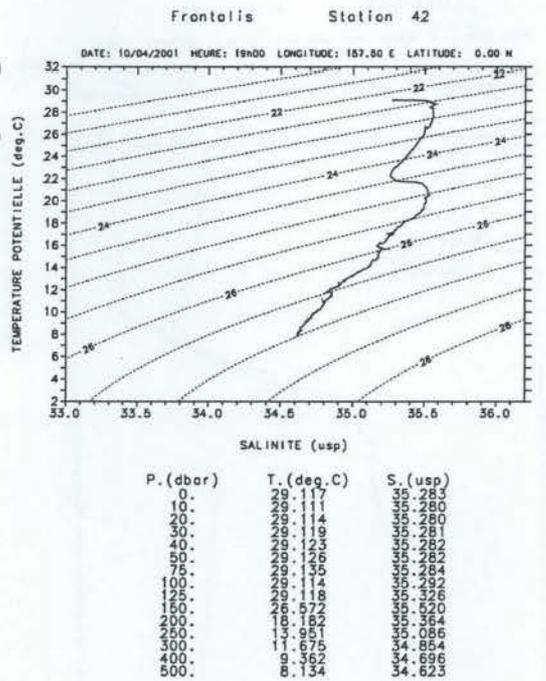
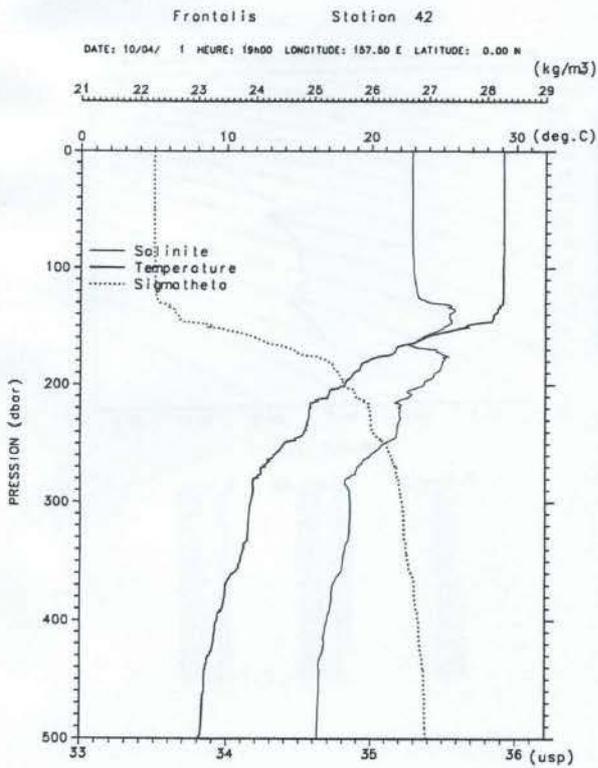
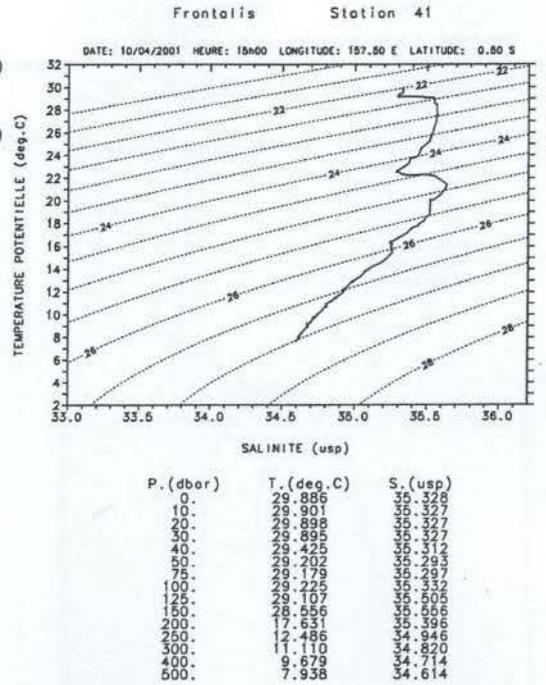
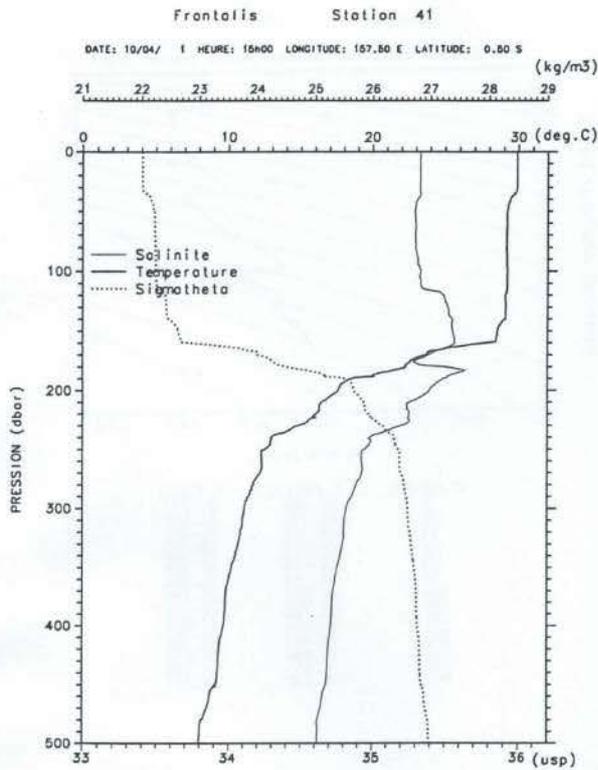


Figure 23

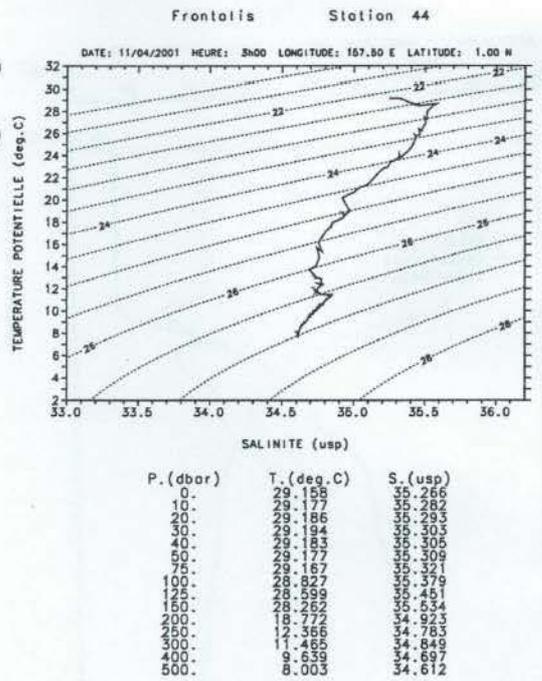
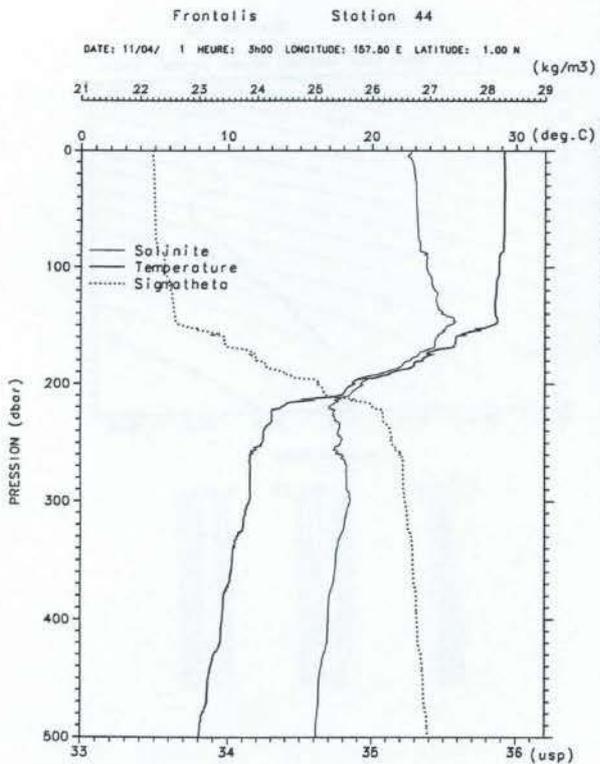
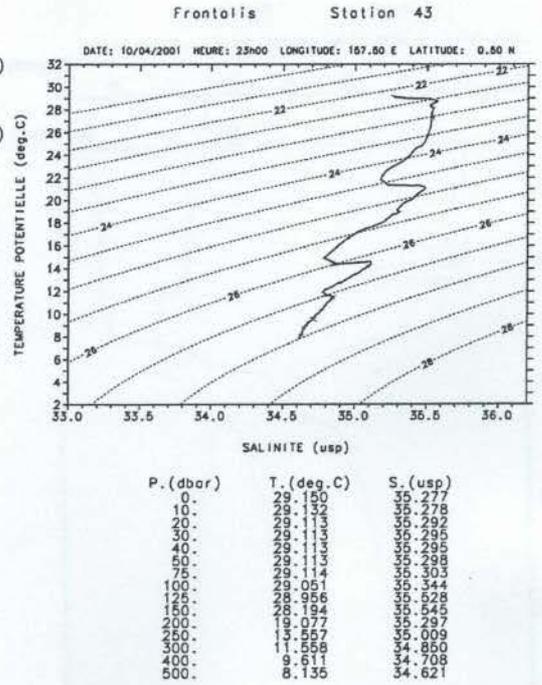
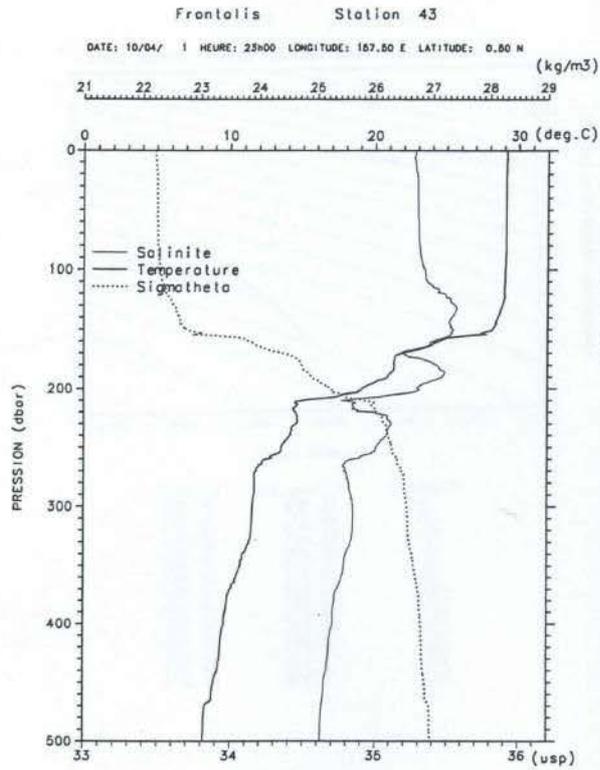


Figure 24

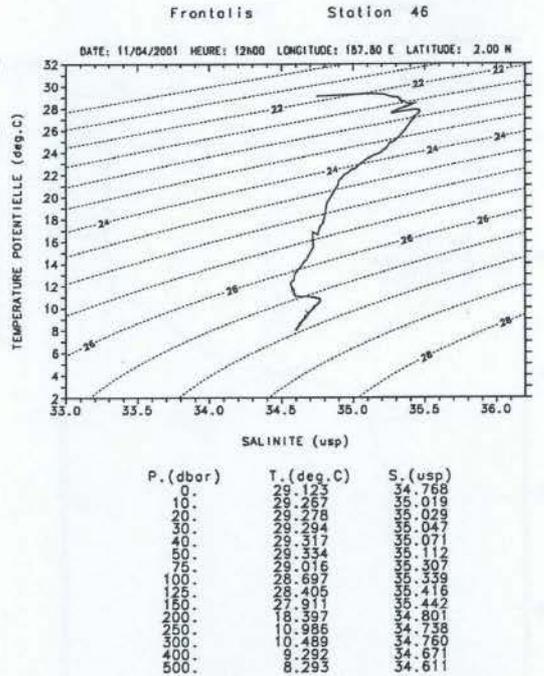
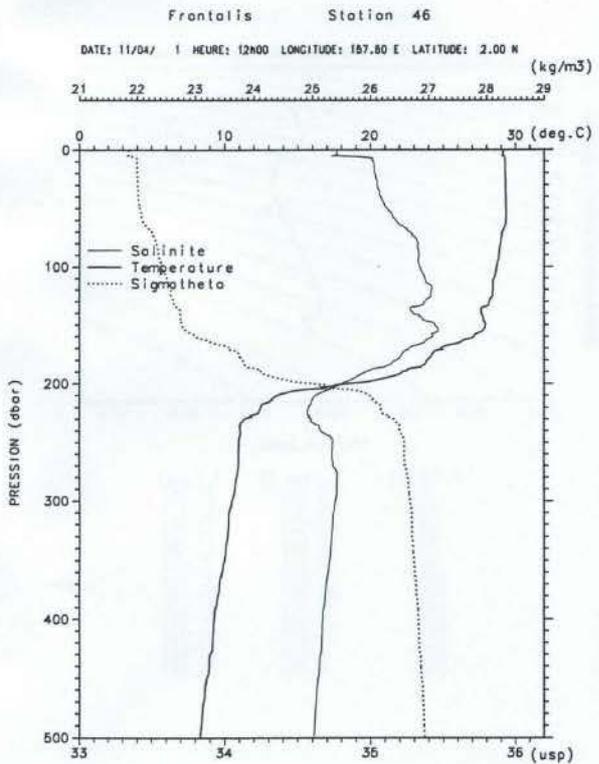
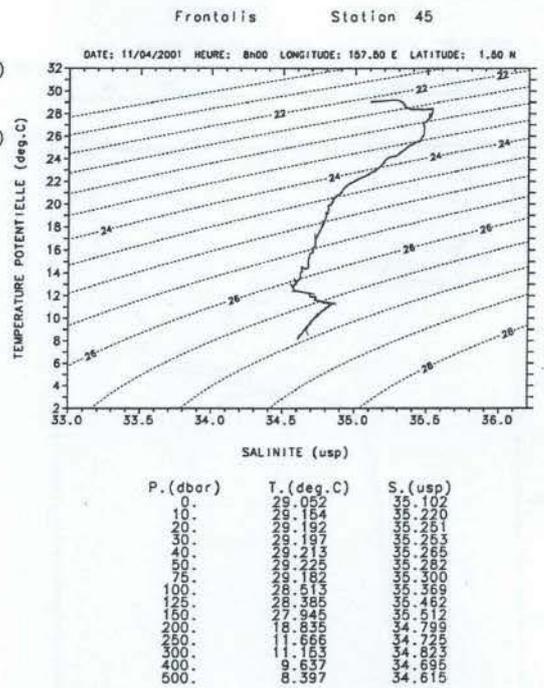
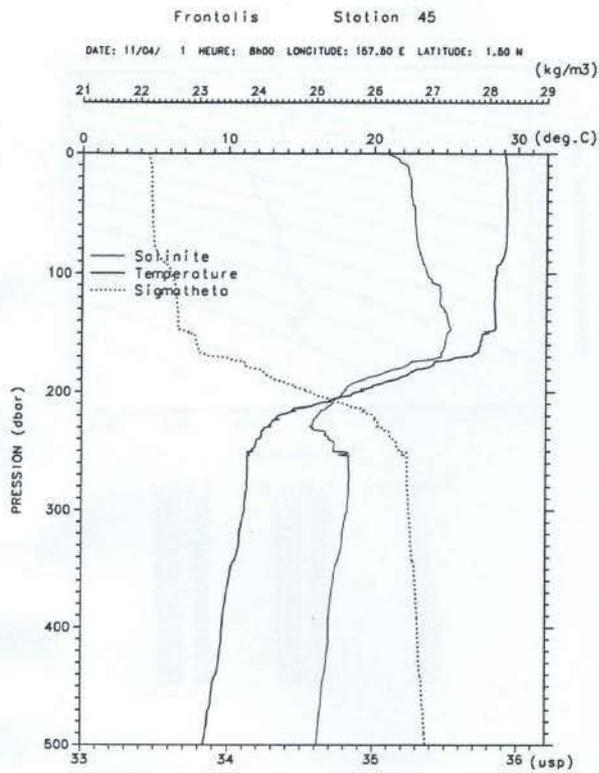


Figure 25

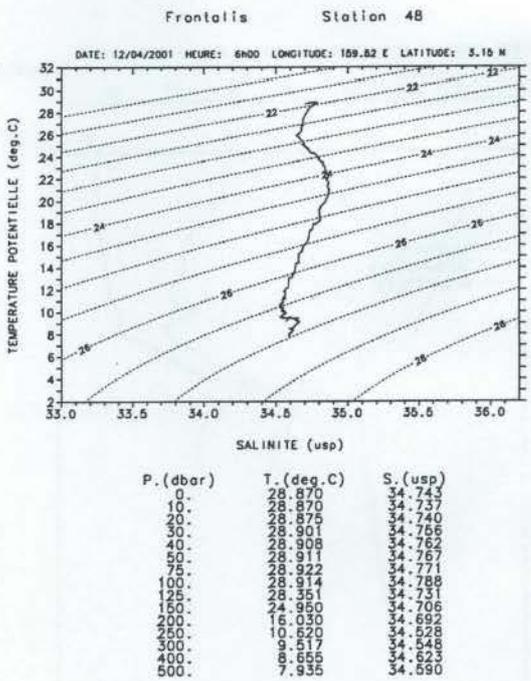
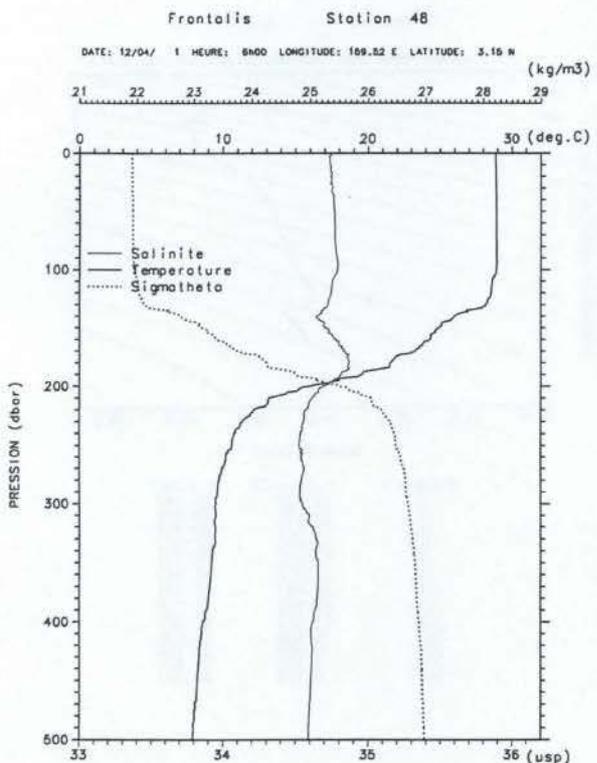
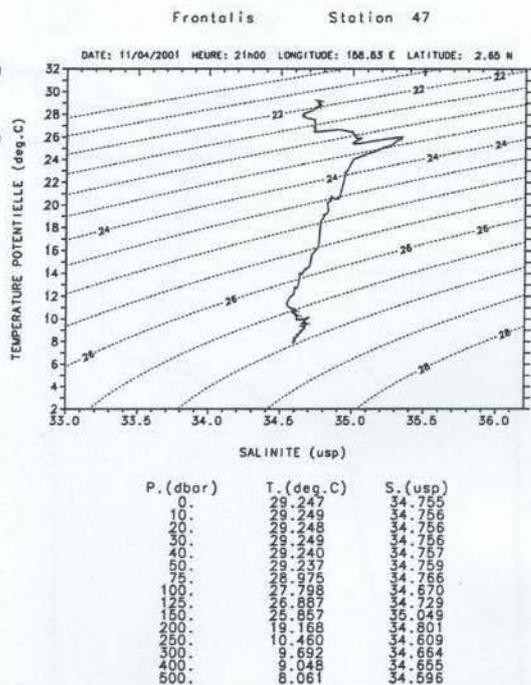
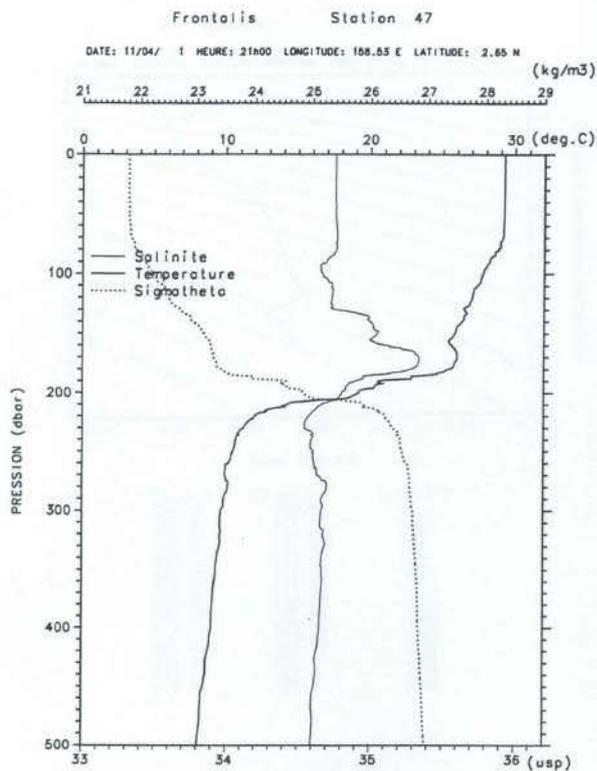


Figure 26

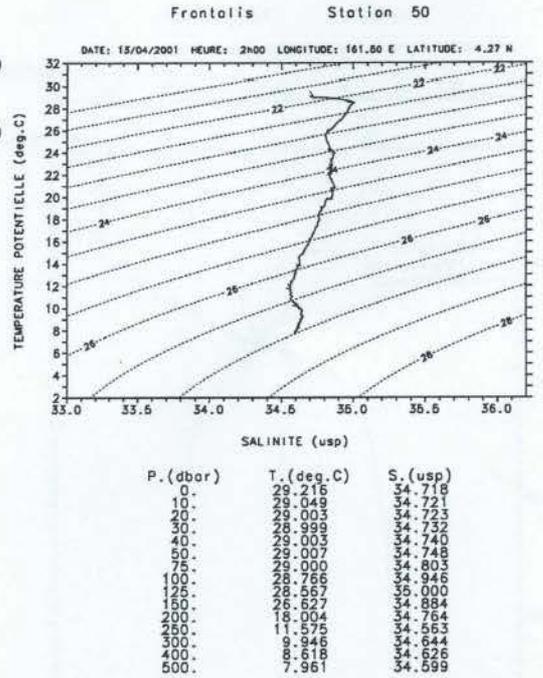
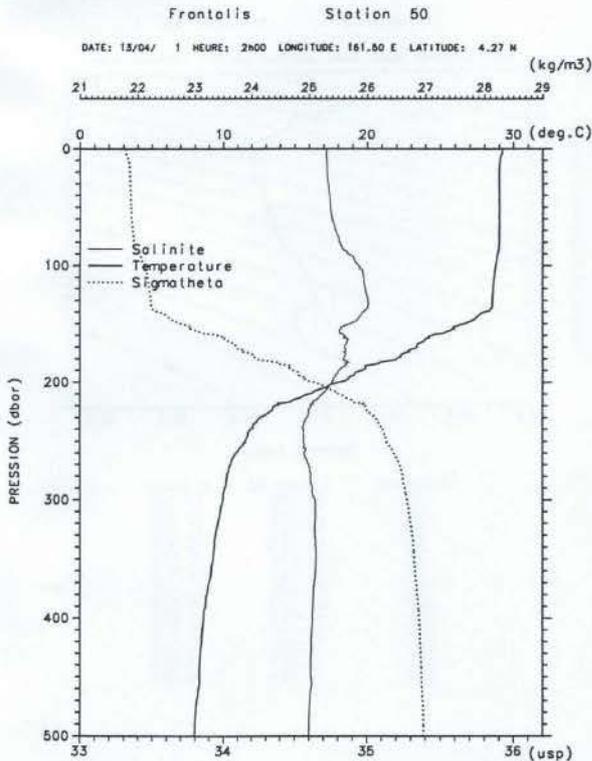
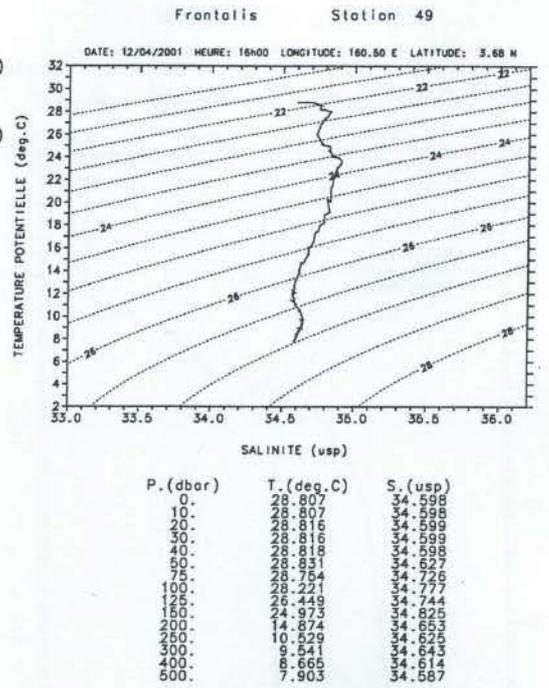
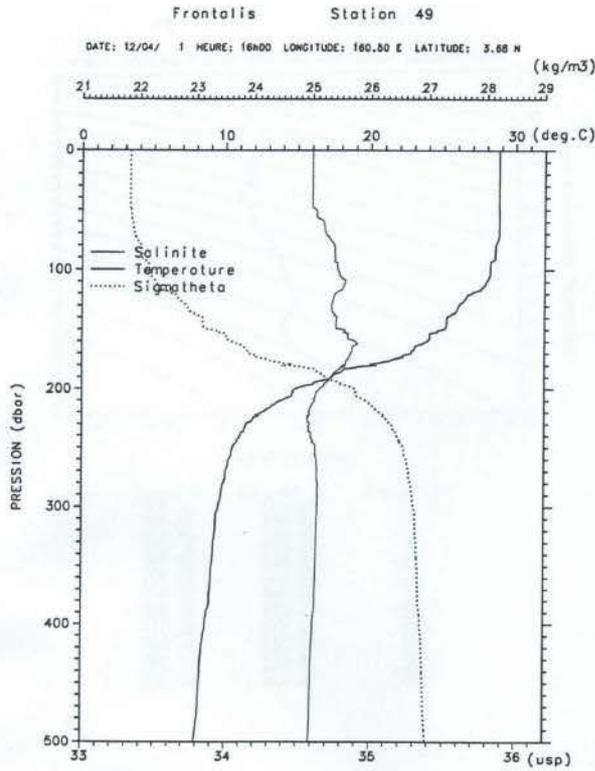


Figure 27

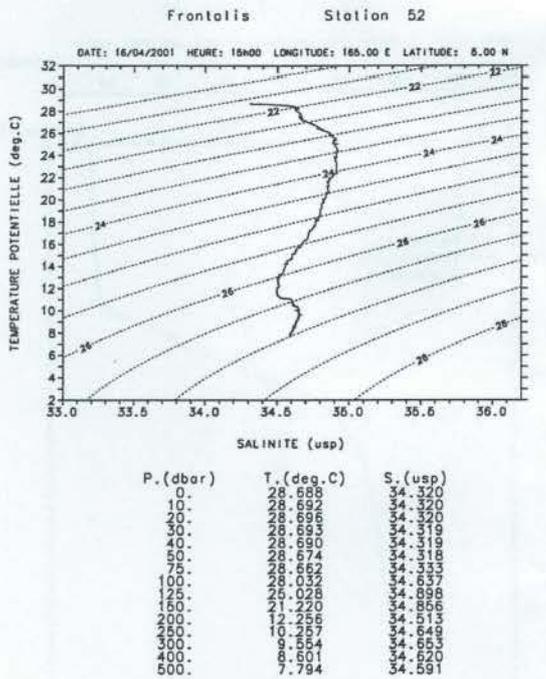
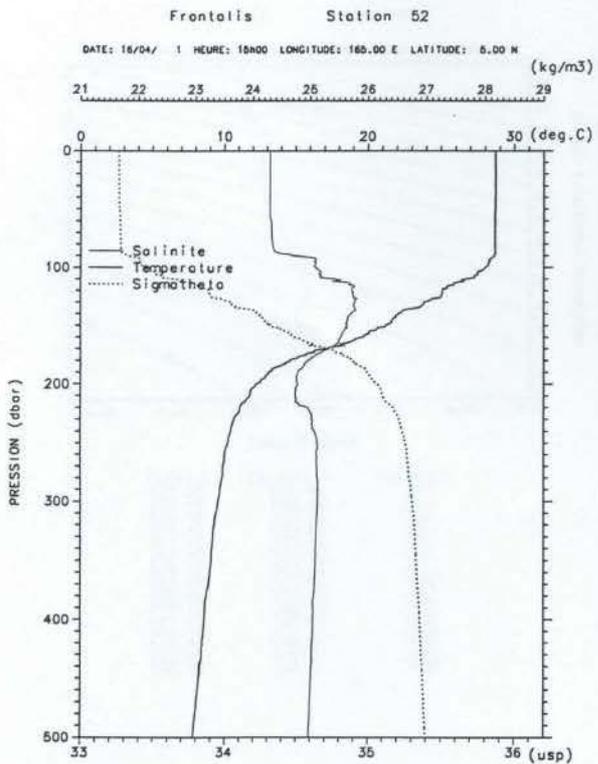
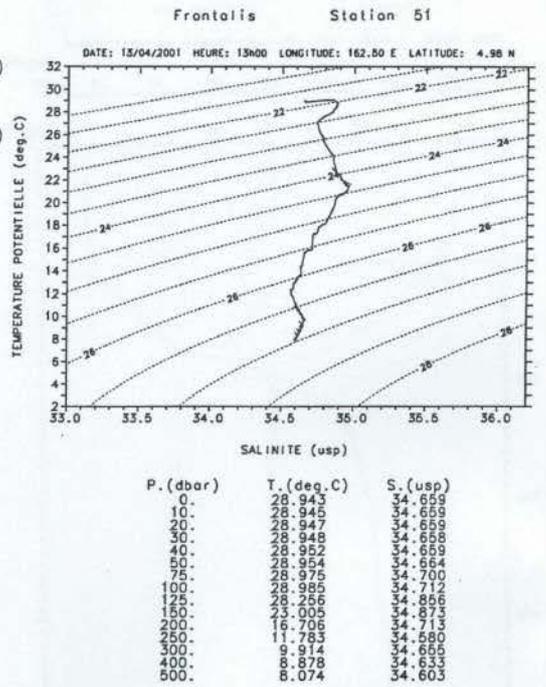
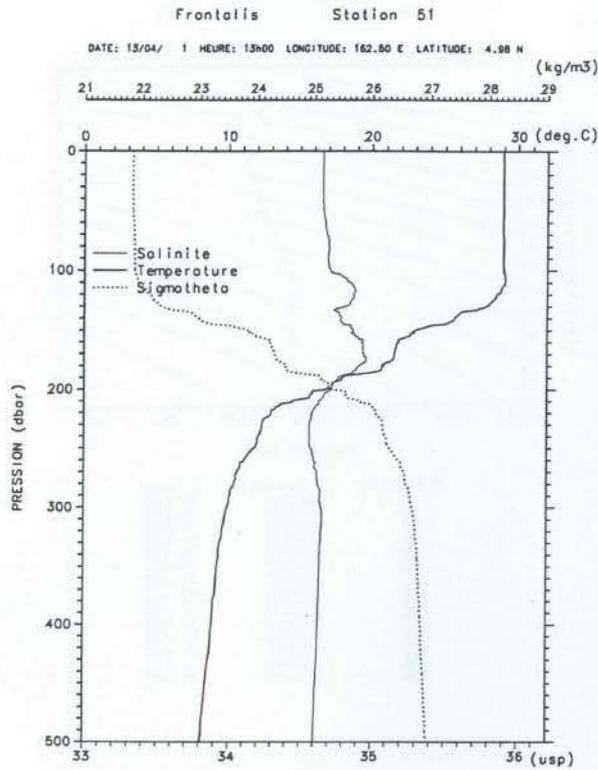


Figure 28

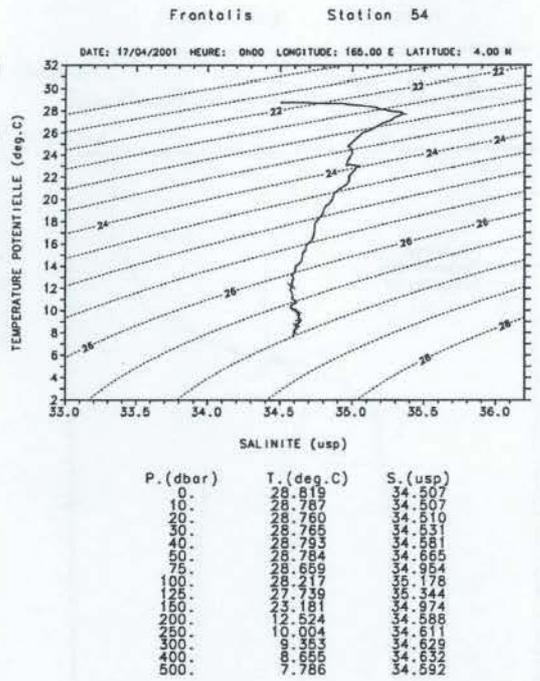
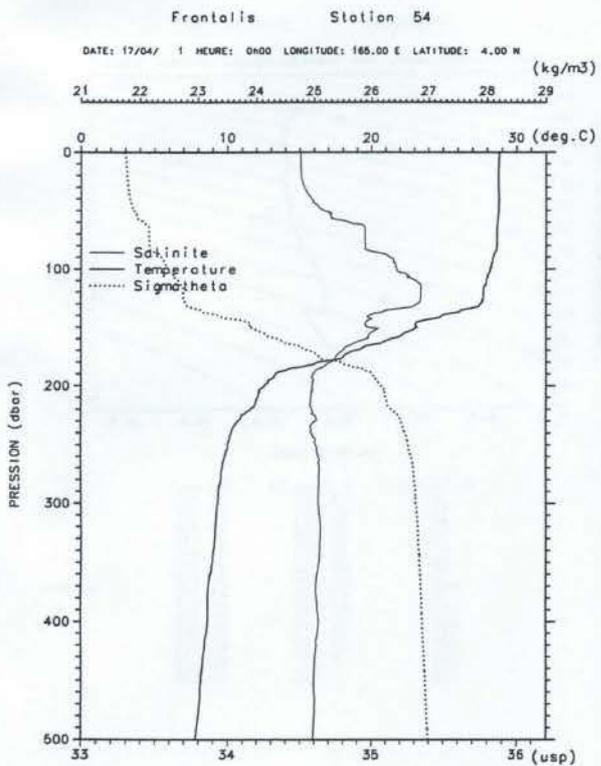
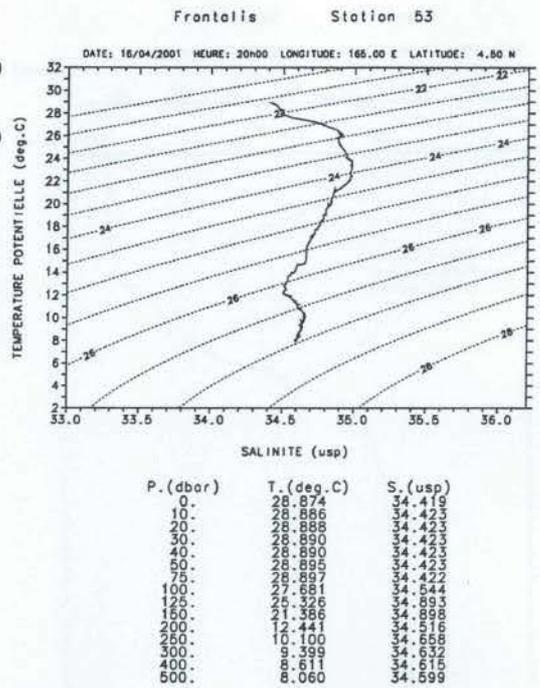
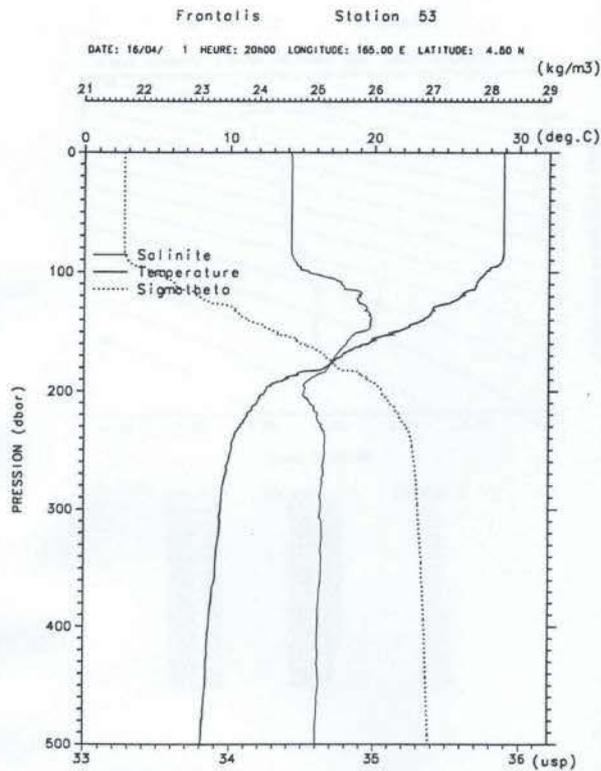


Figure 29

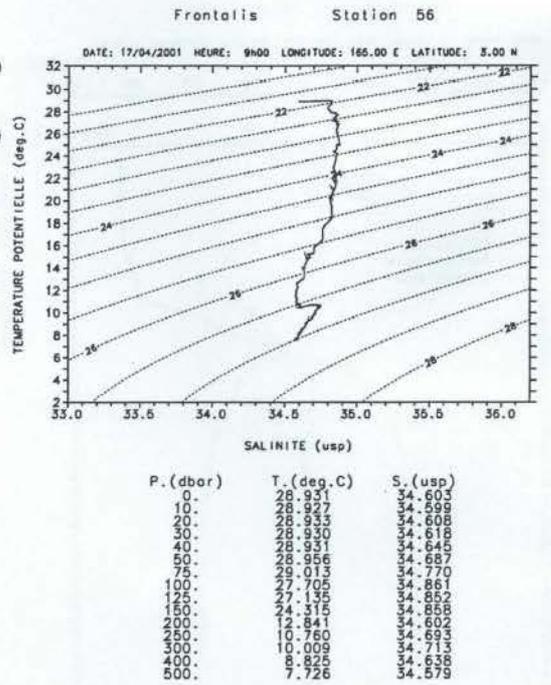
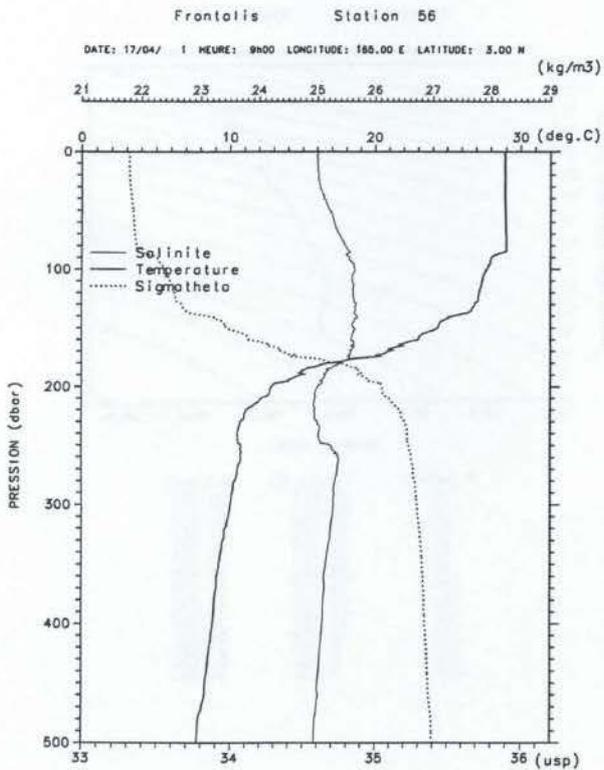
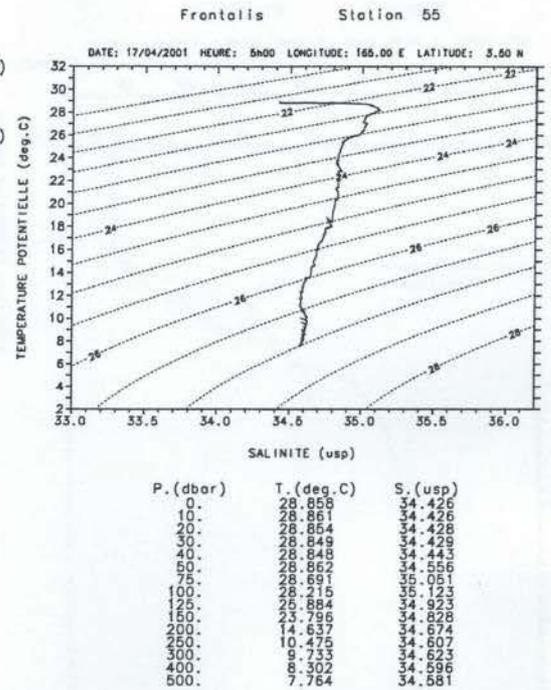
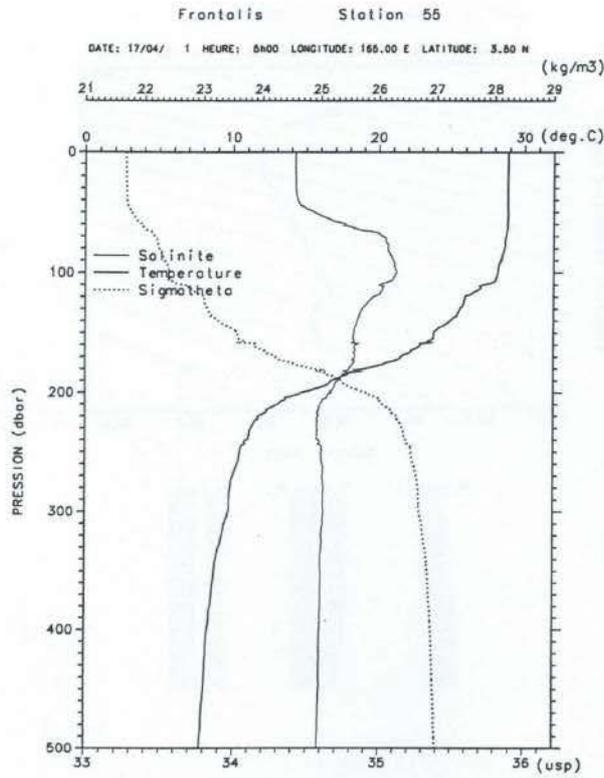


Figure 30

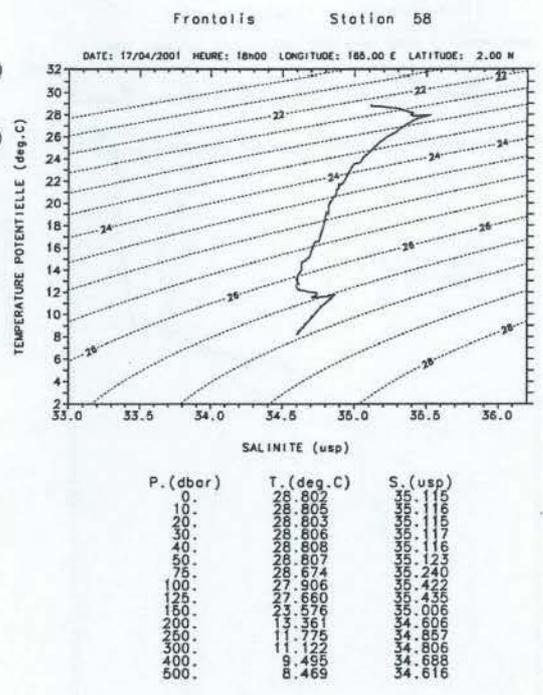
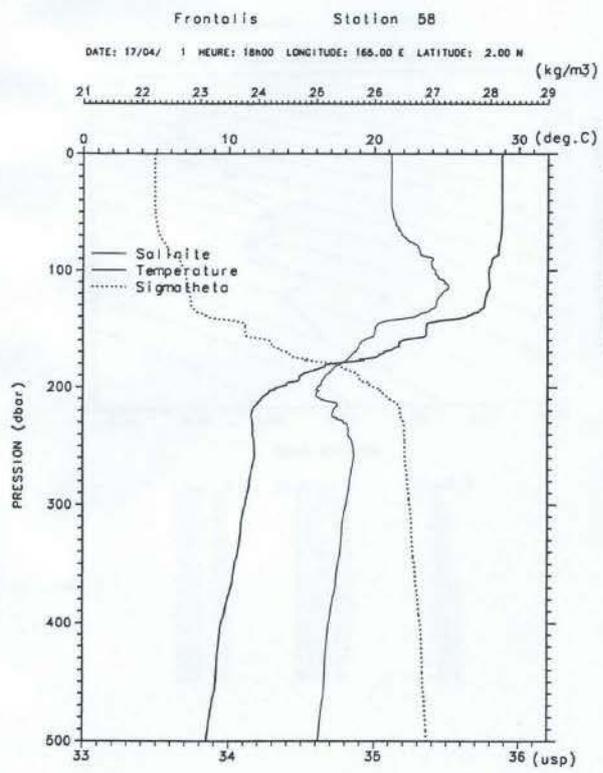
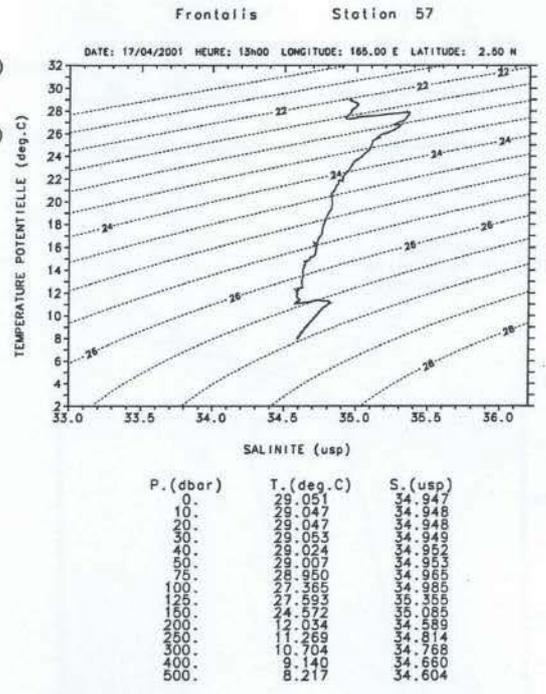
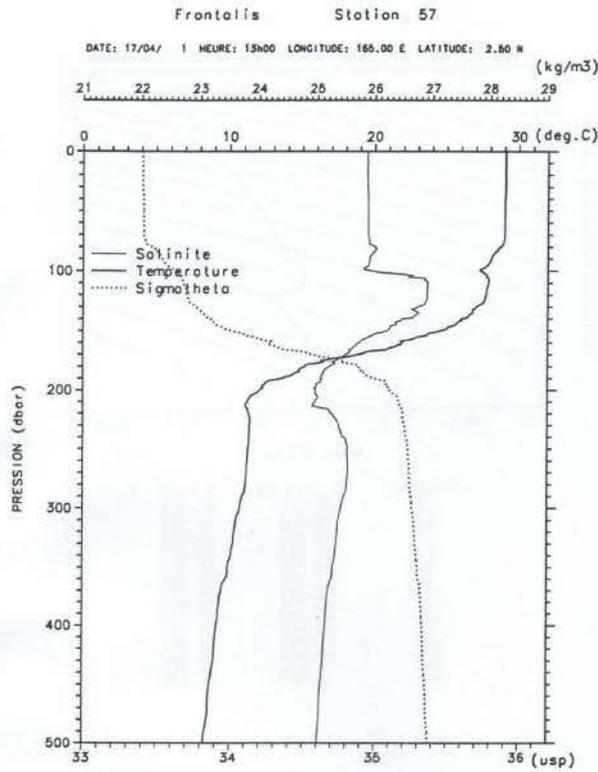


Figure 31

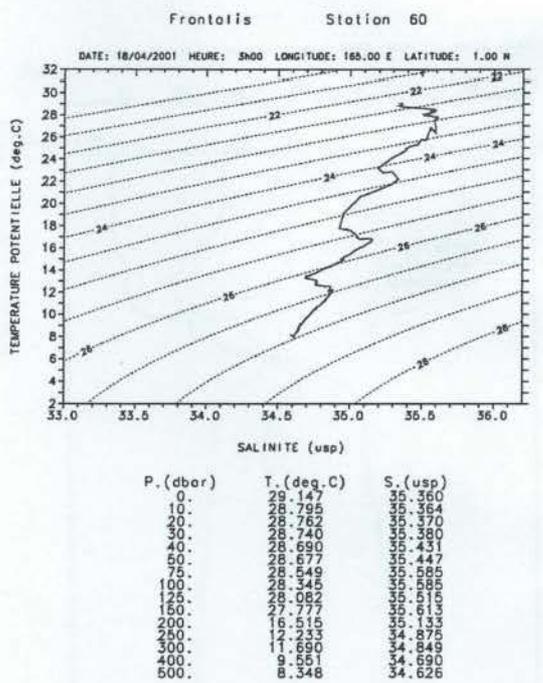
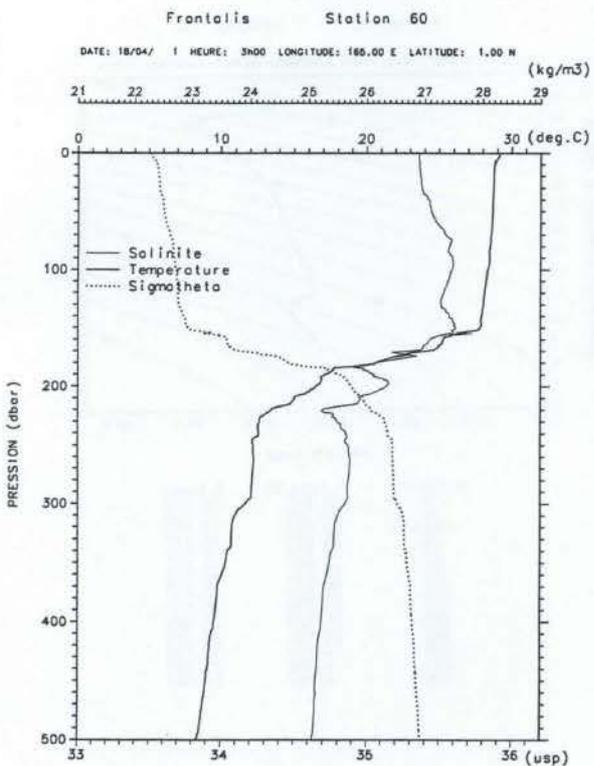
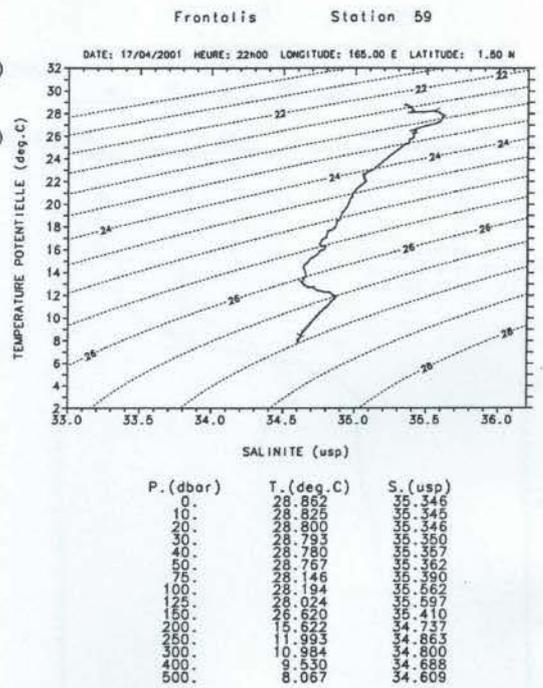
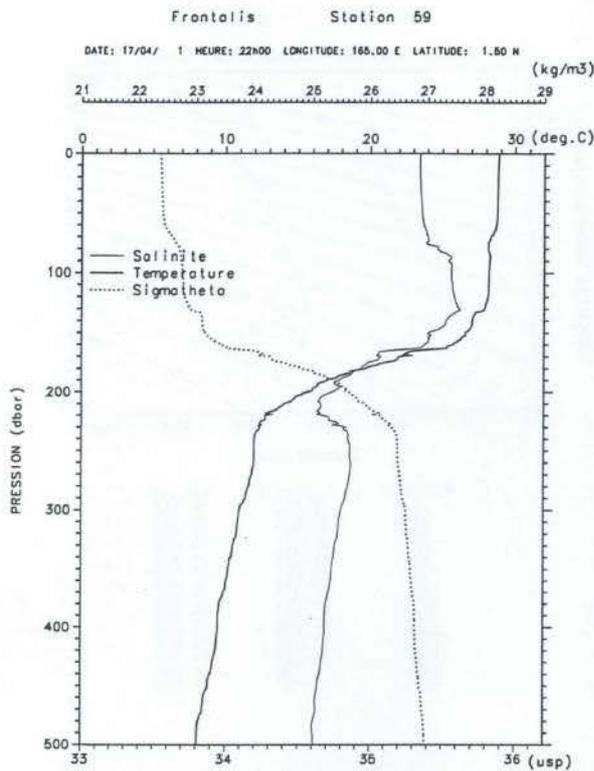
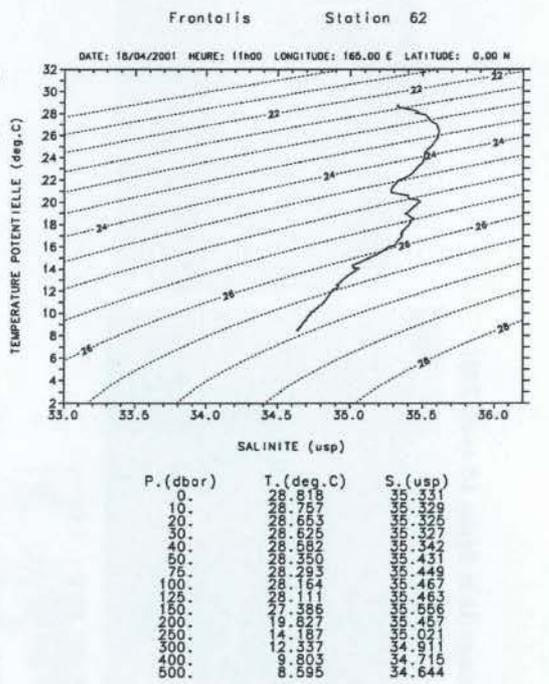
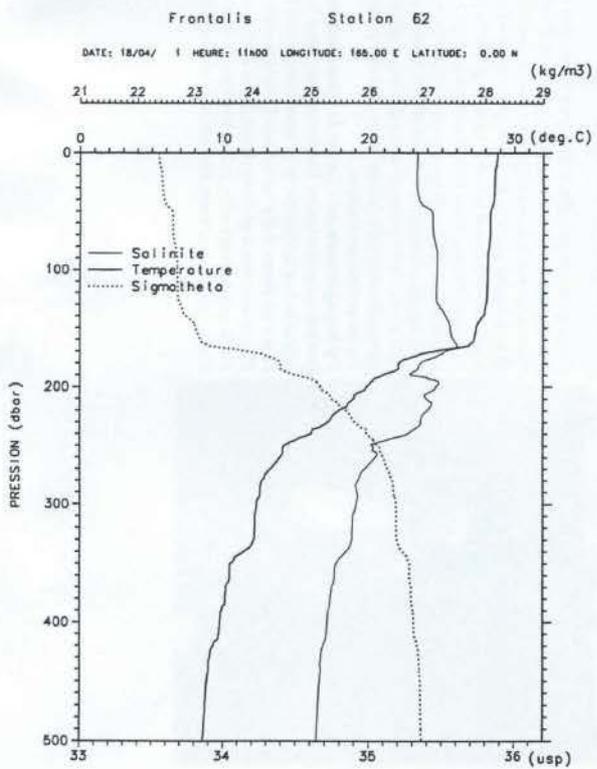
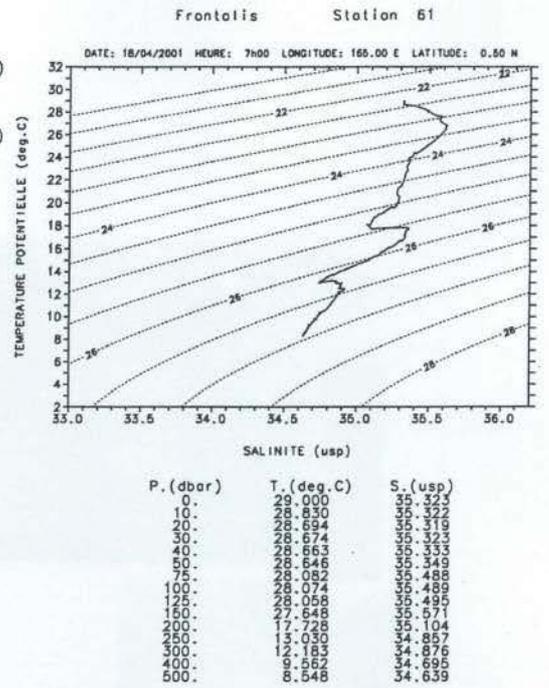
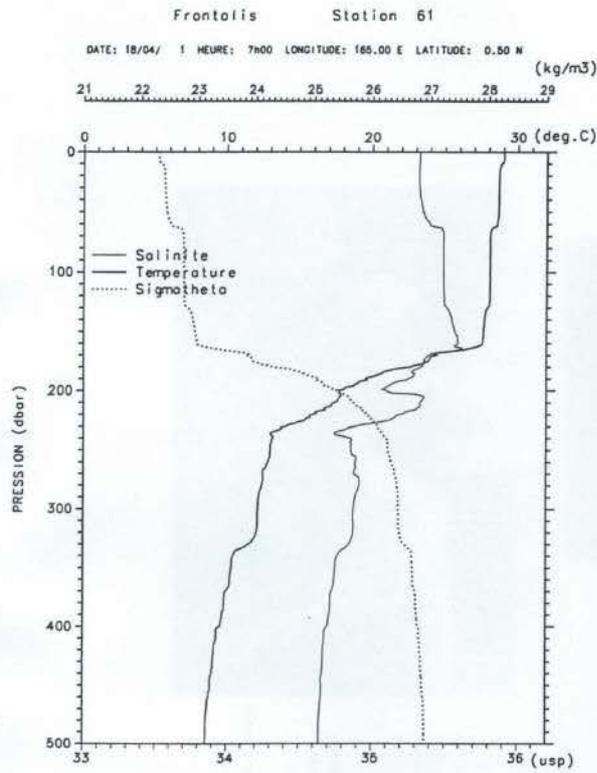


Figure 32



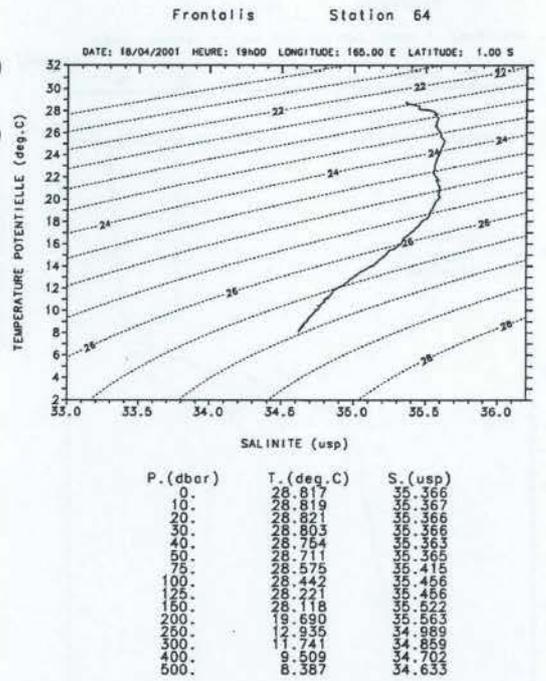
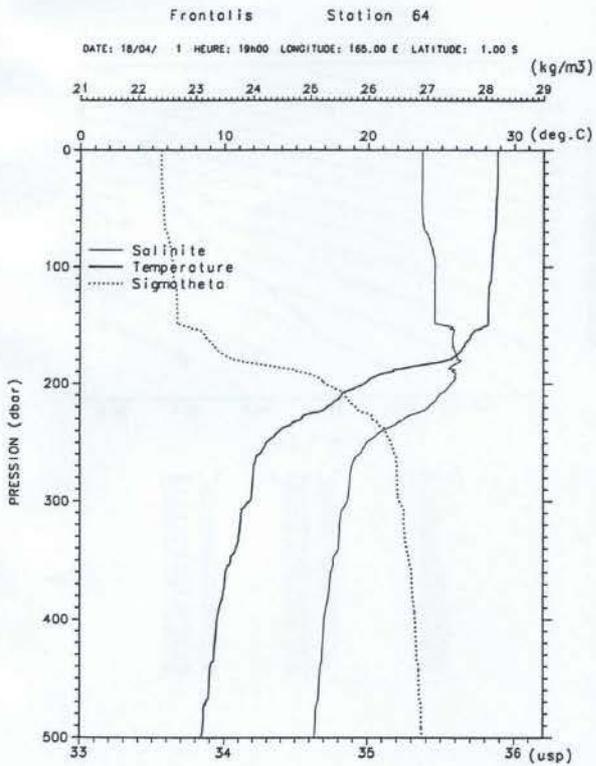
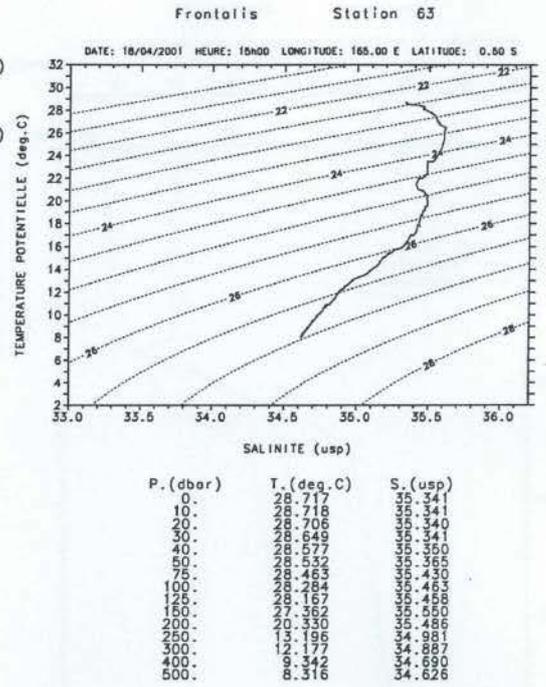
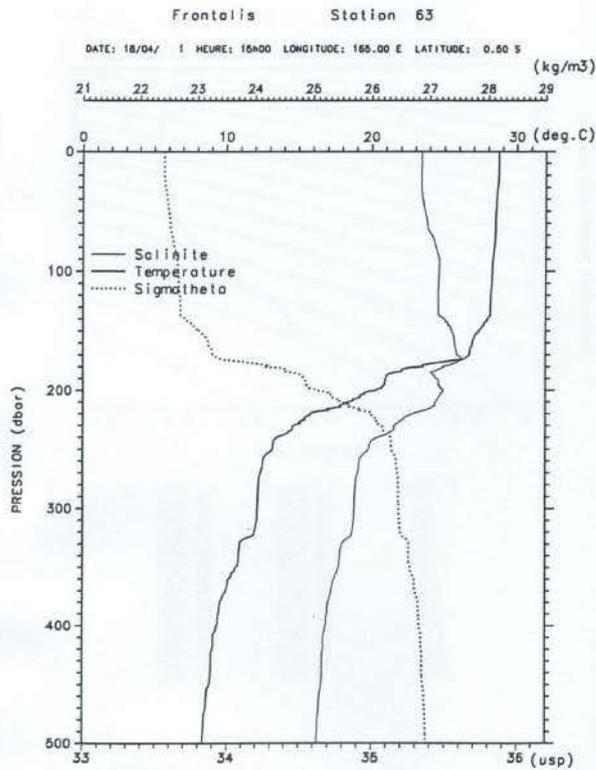


Figure 34

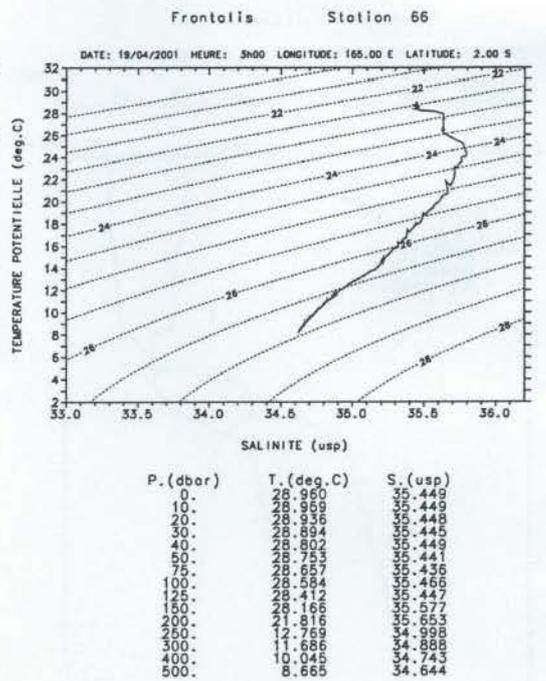
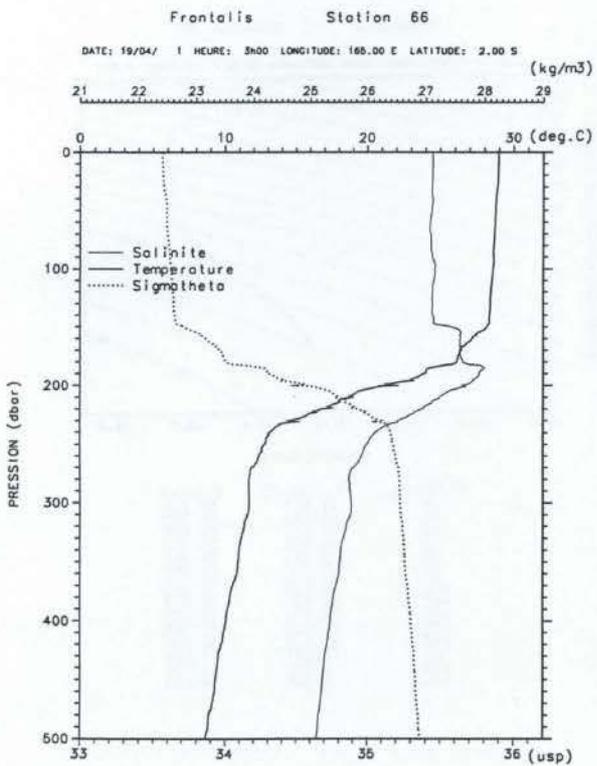
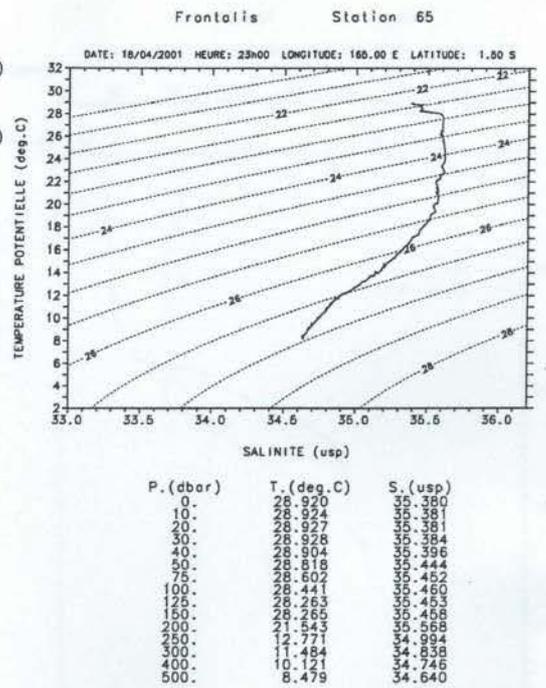
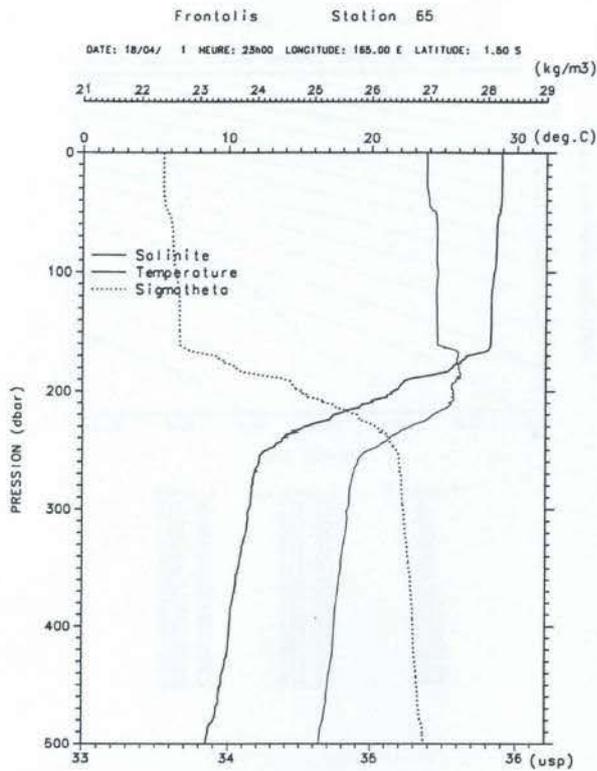


Figure 35

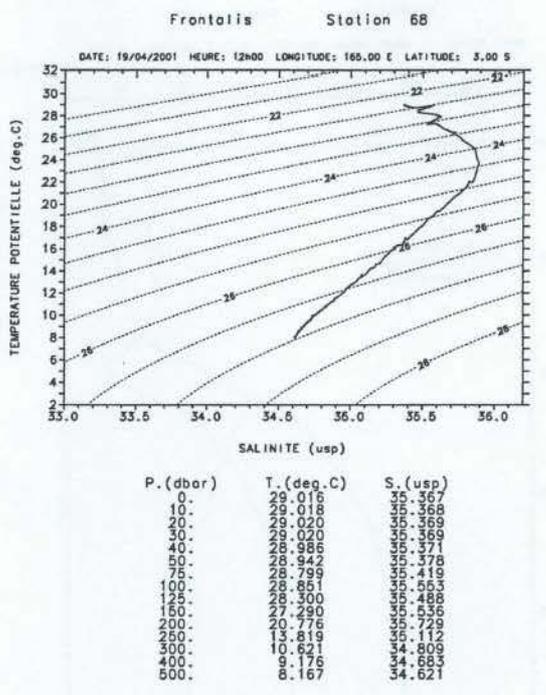
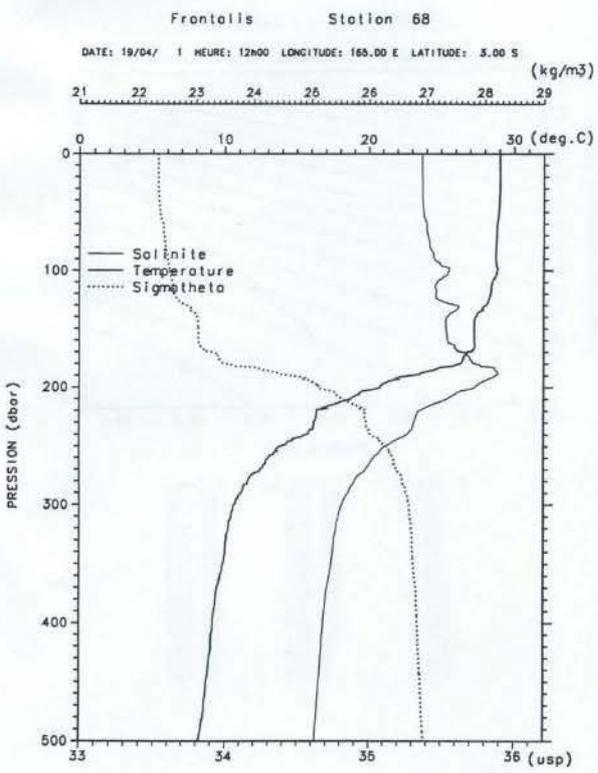
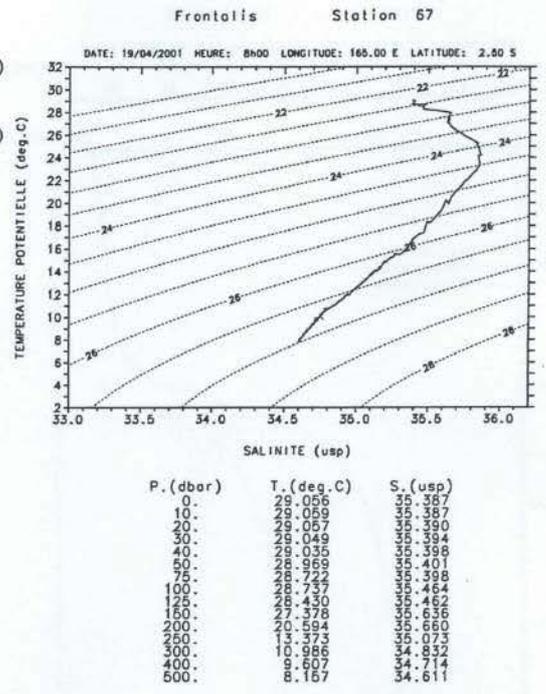
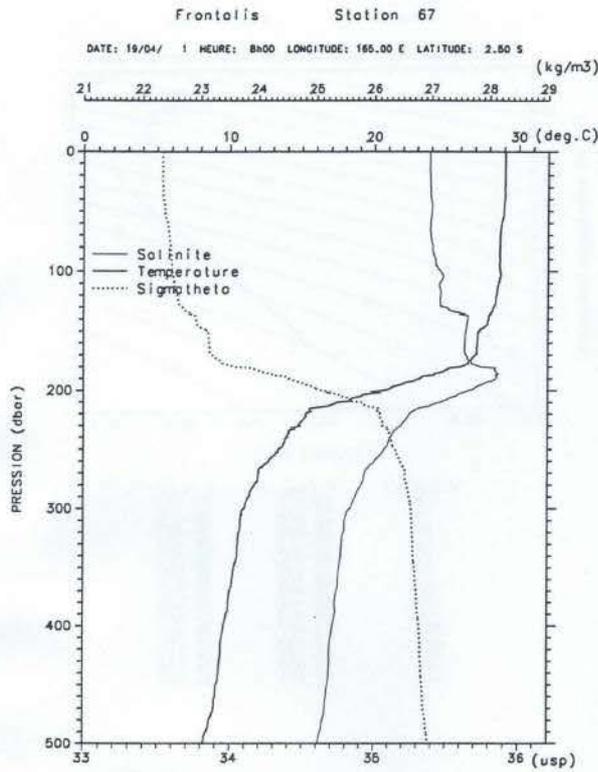


Figure 36

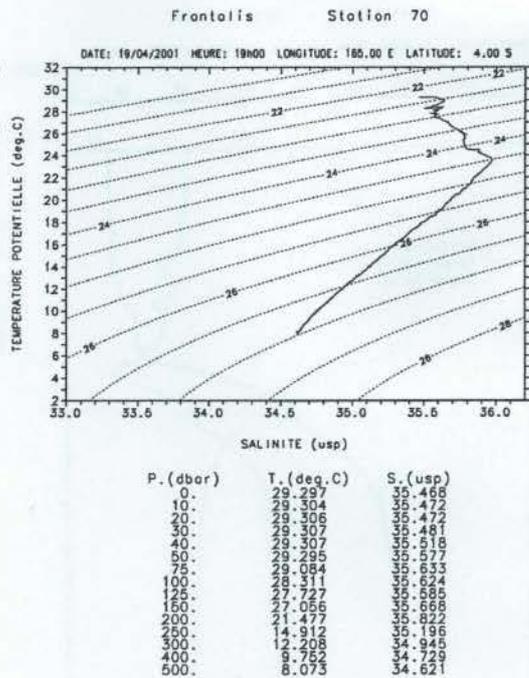
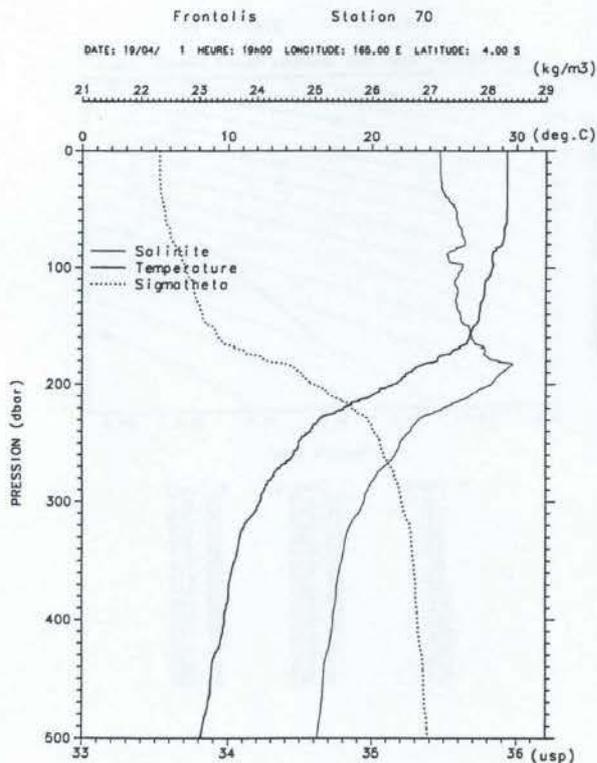
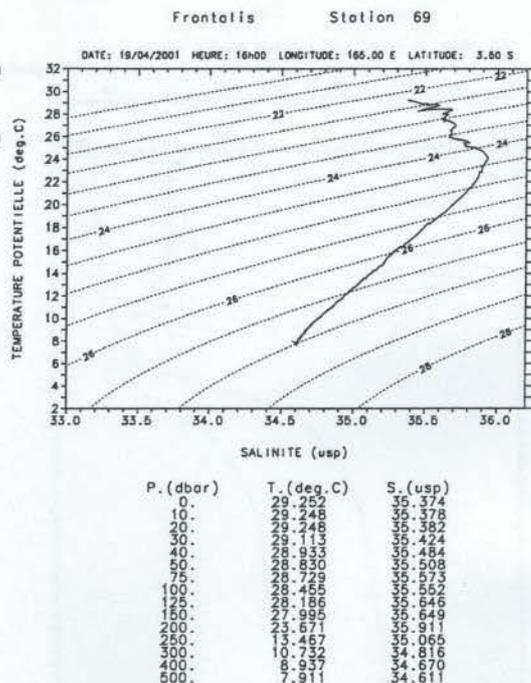
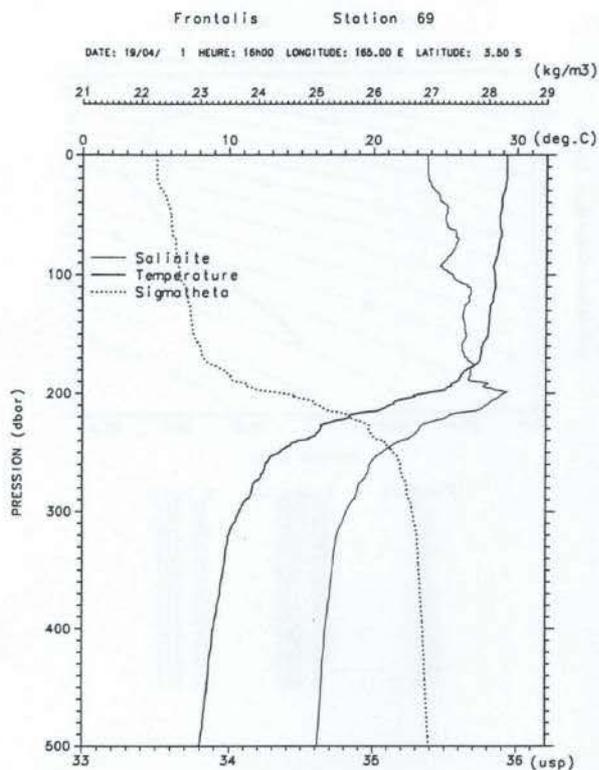


Figure 37

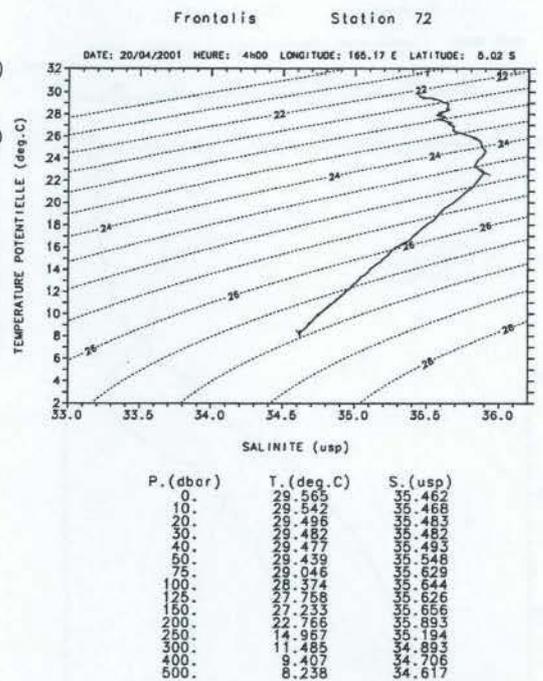
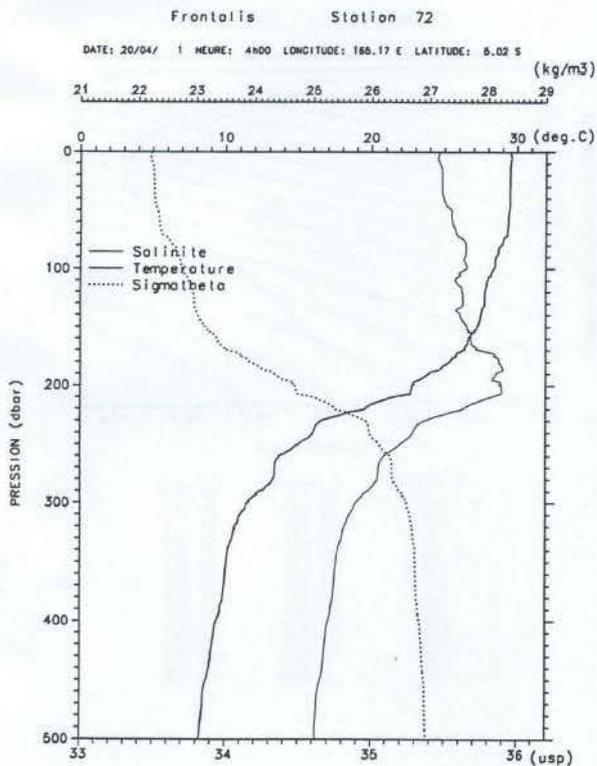
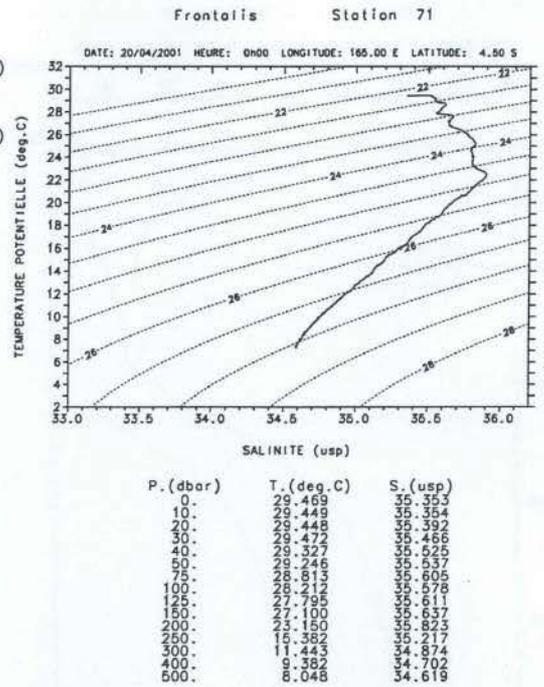
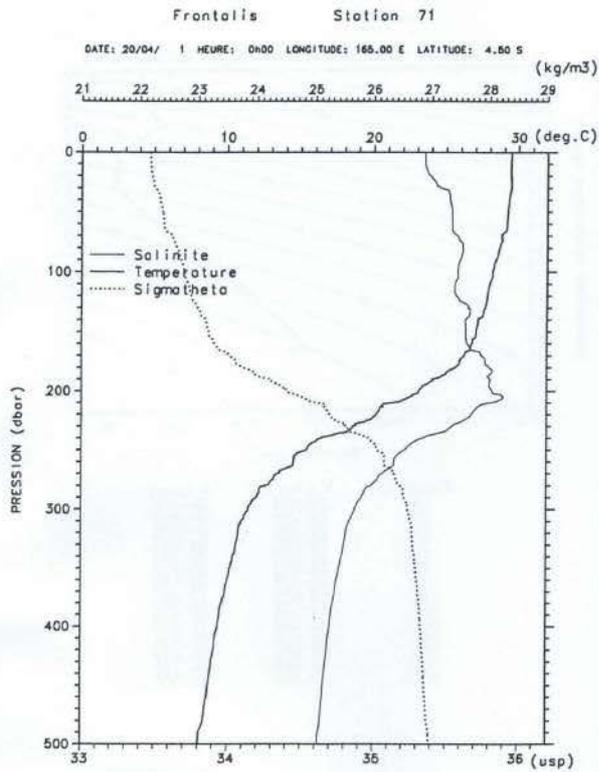


Figure 38

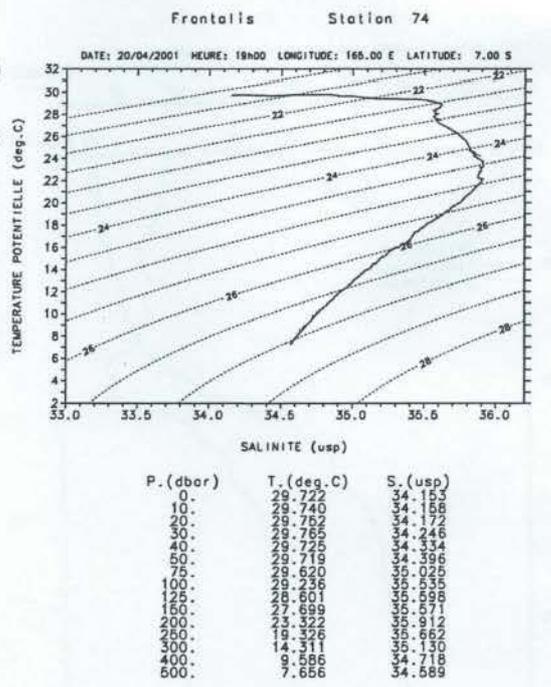
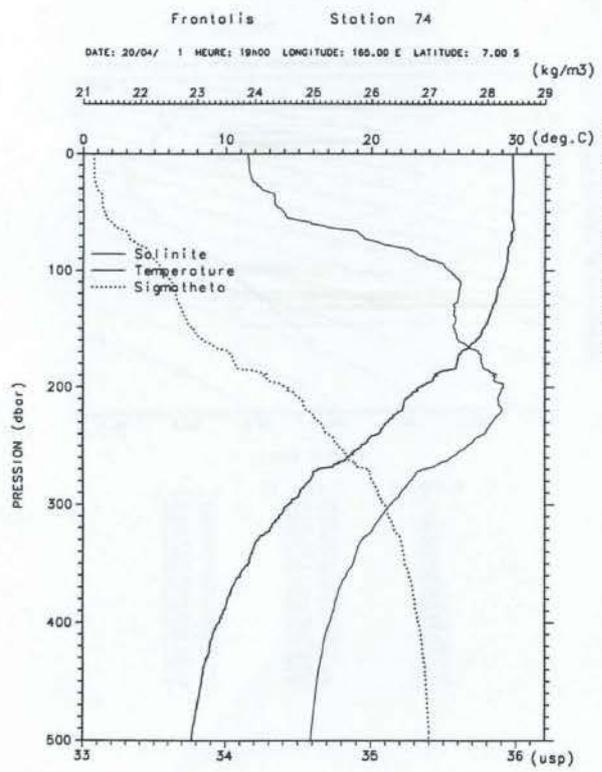
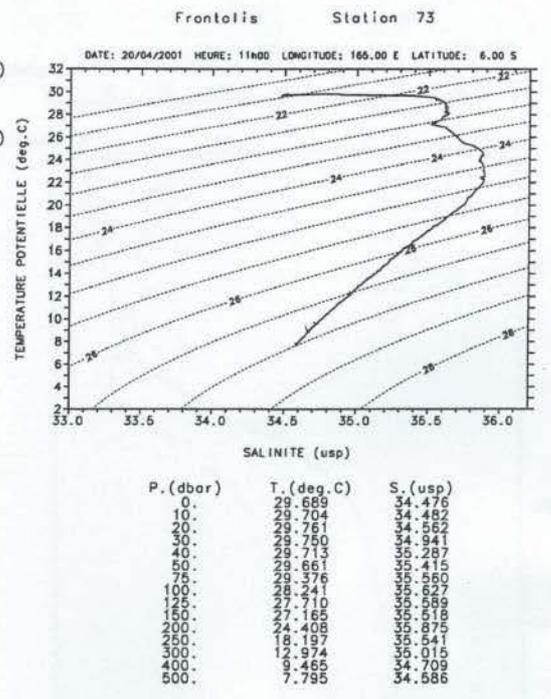
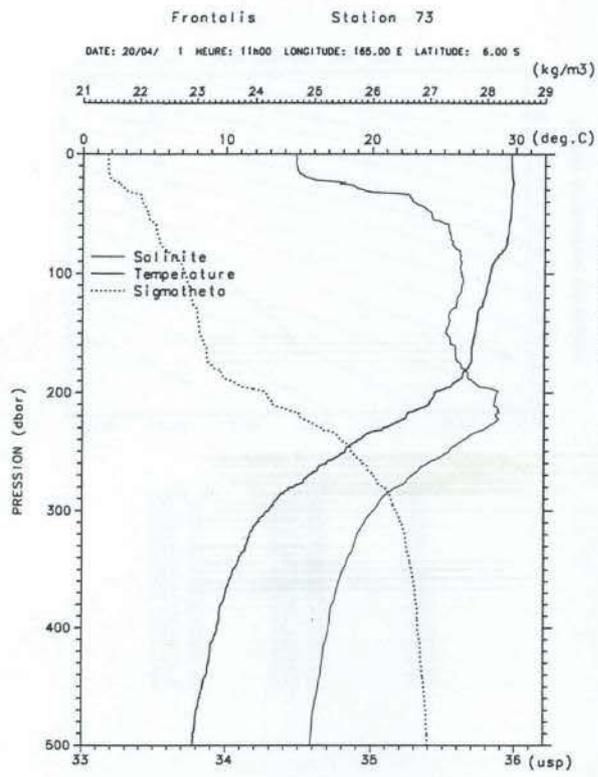


Figure 39

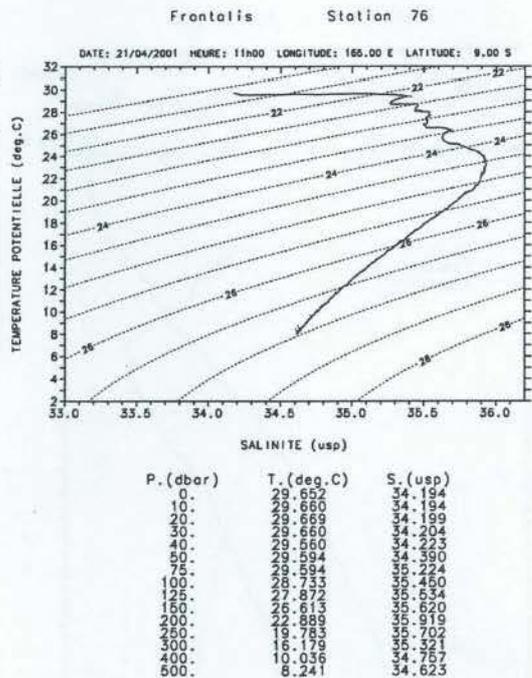
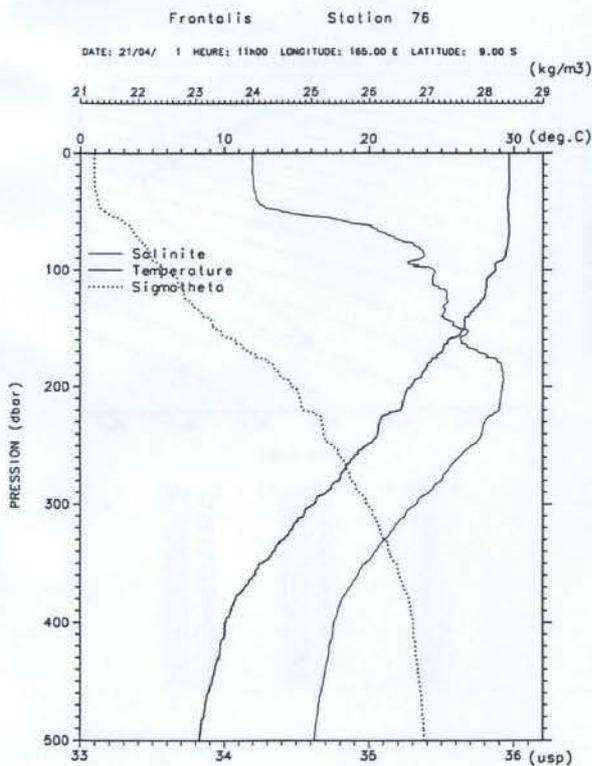
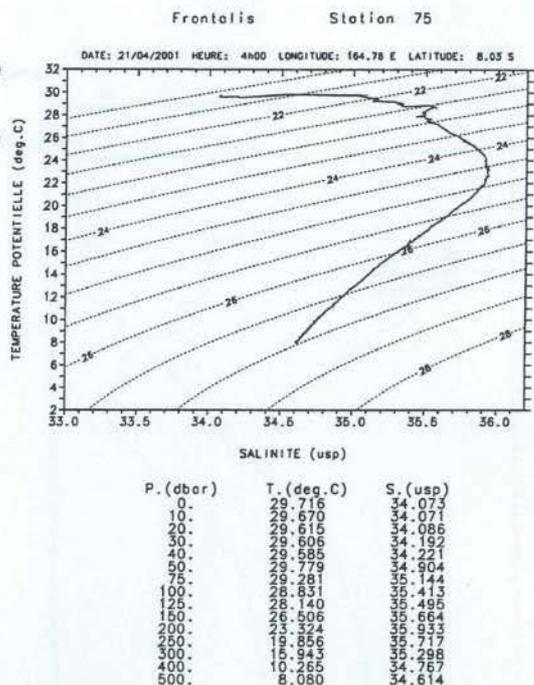
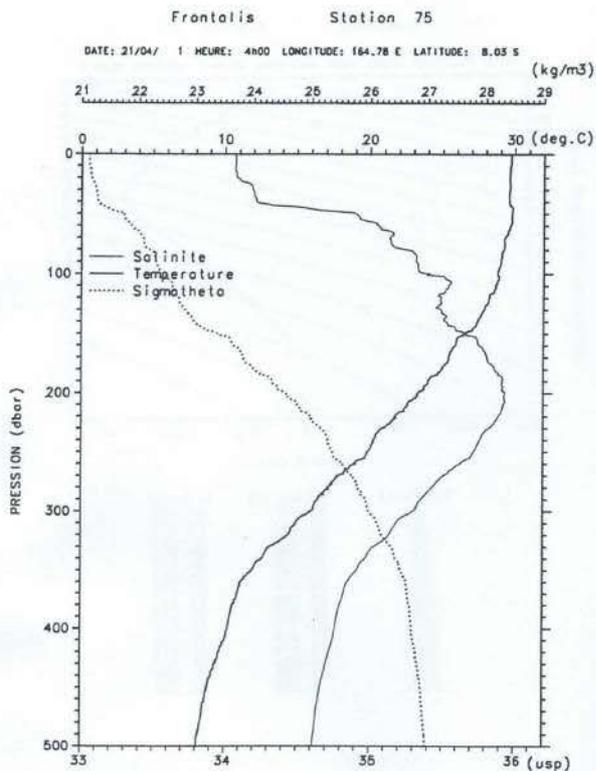


Figure 40

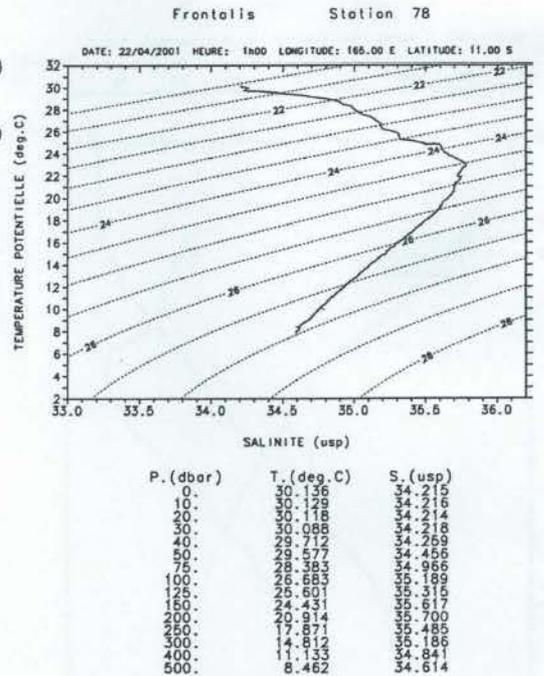
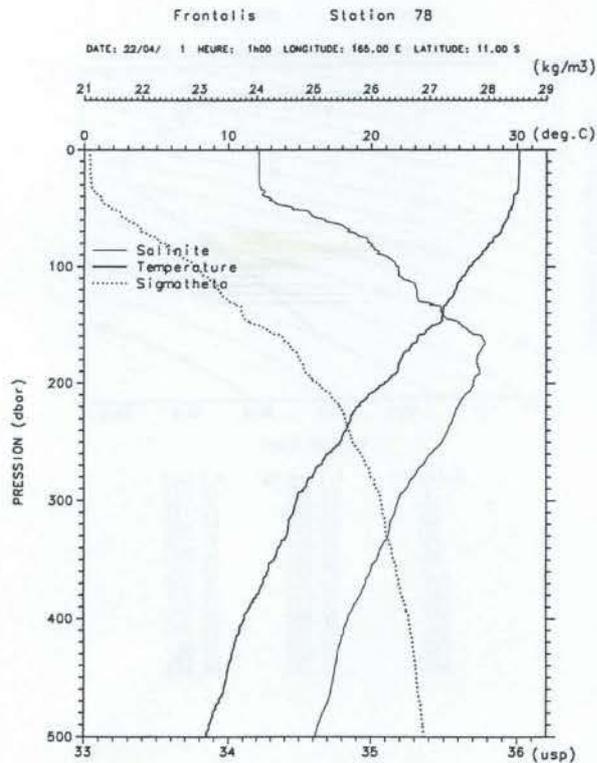
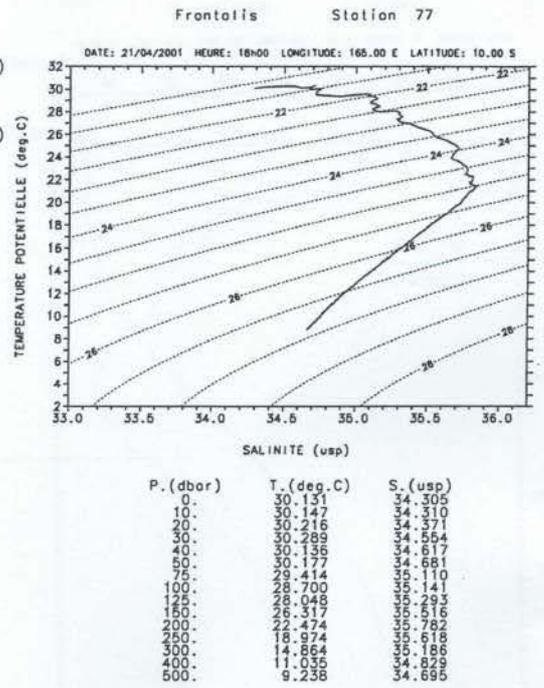
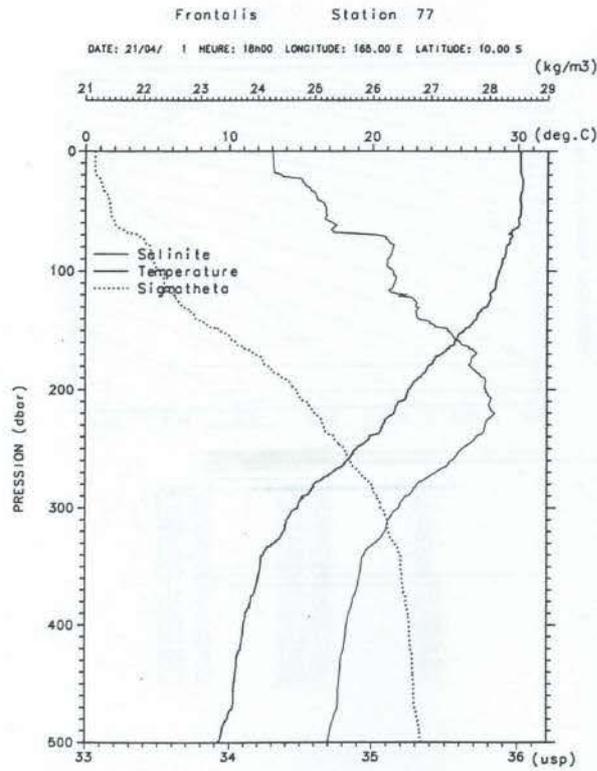


Figure 41

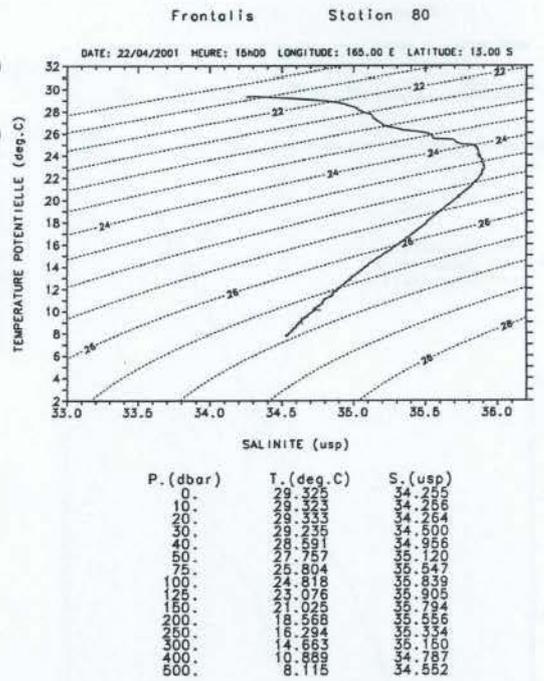
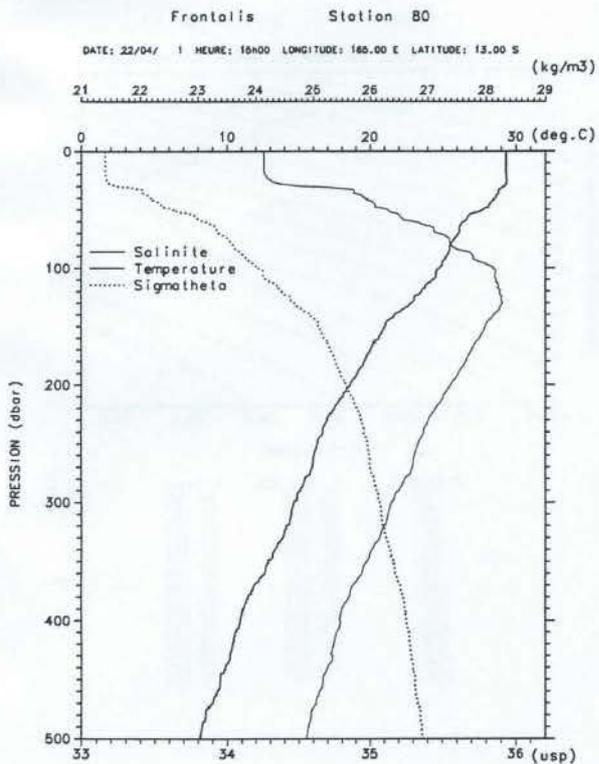
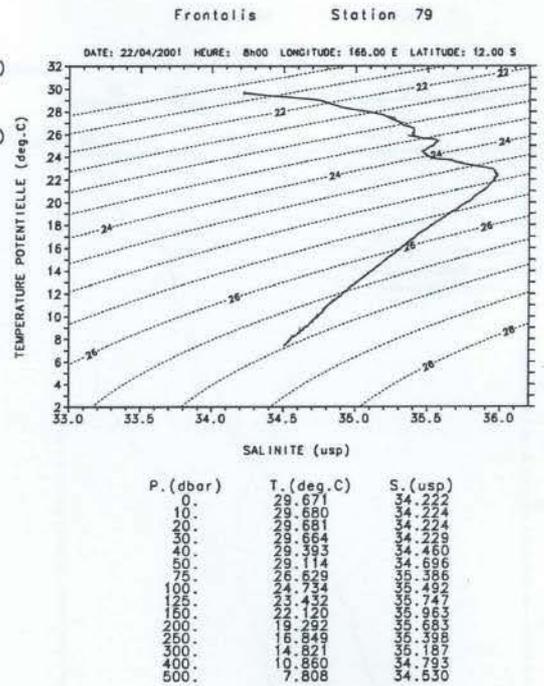
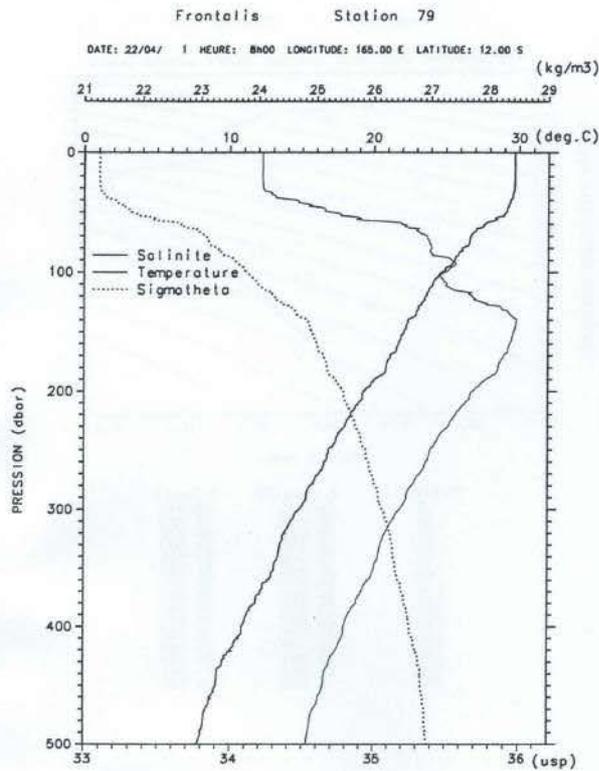


Figure 42

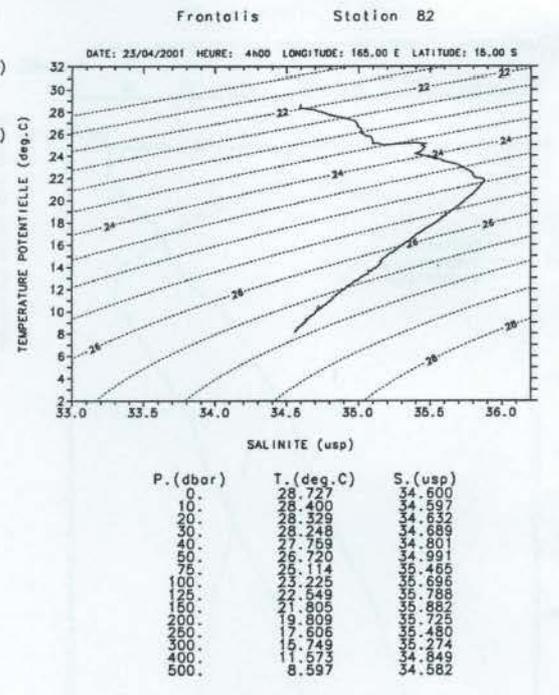
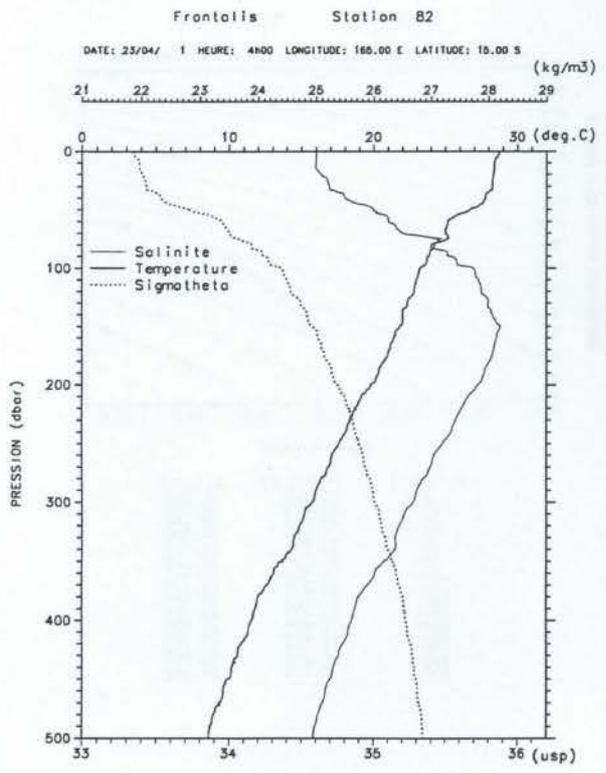
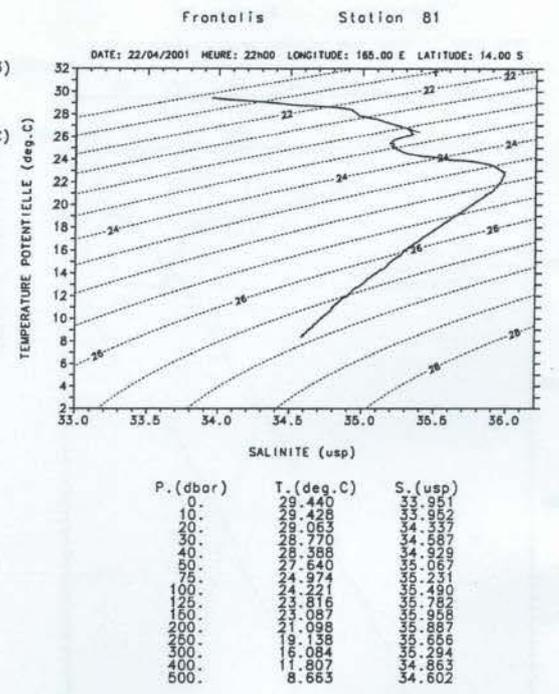
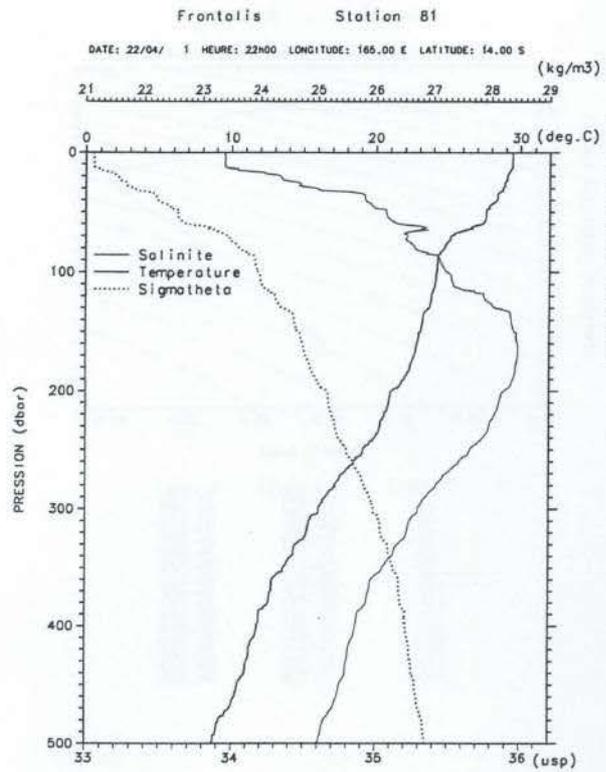


Figure 43

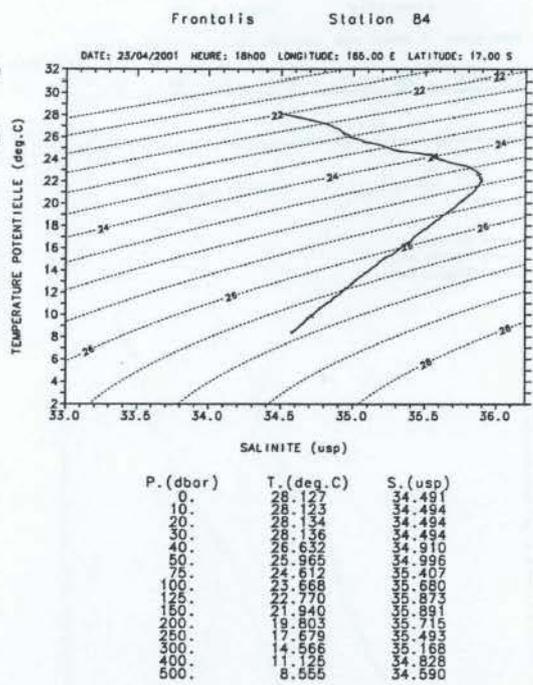
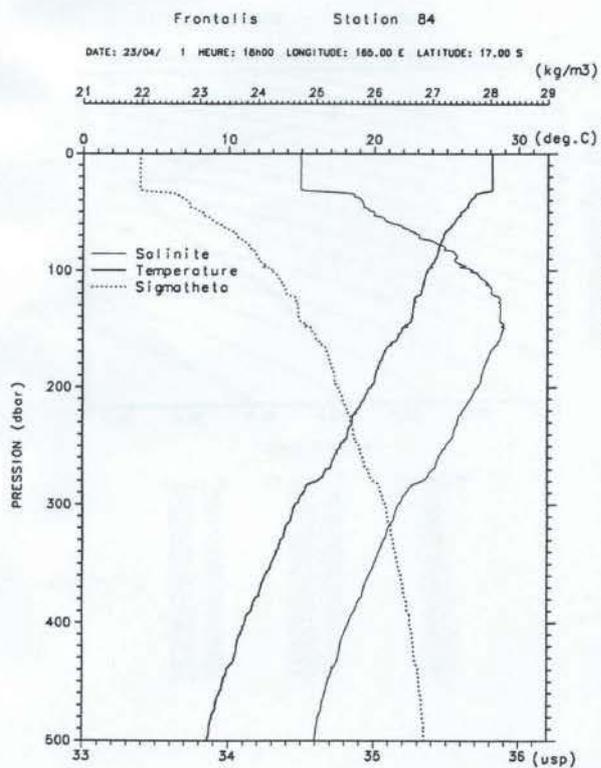
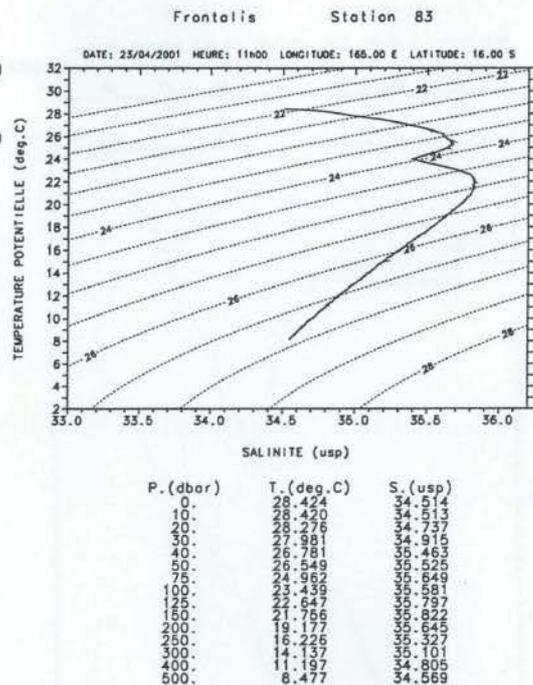
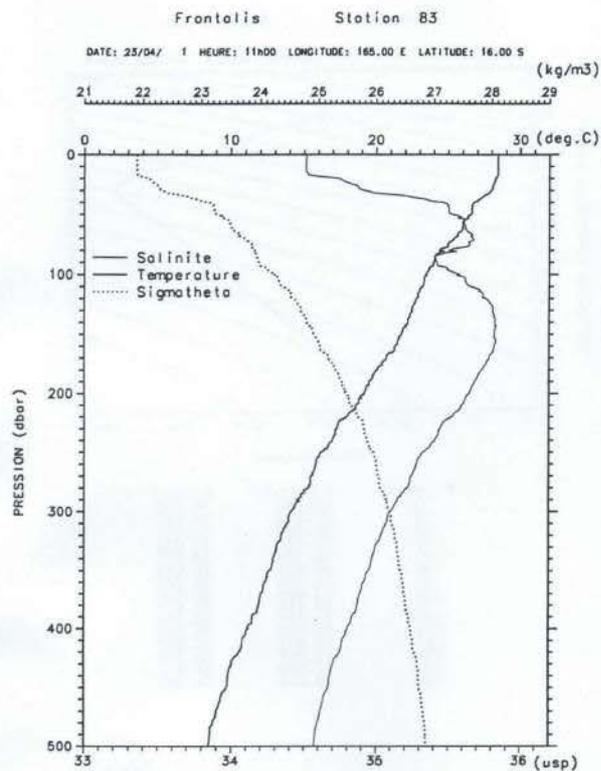


Figure 44

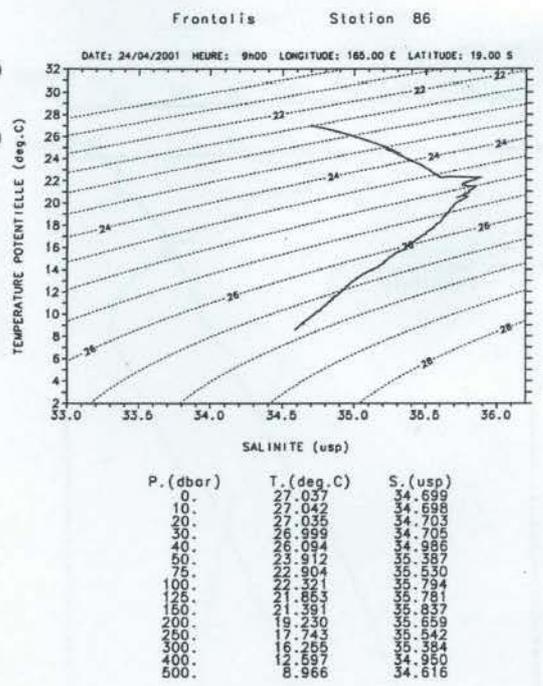
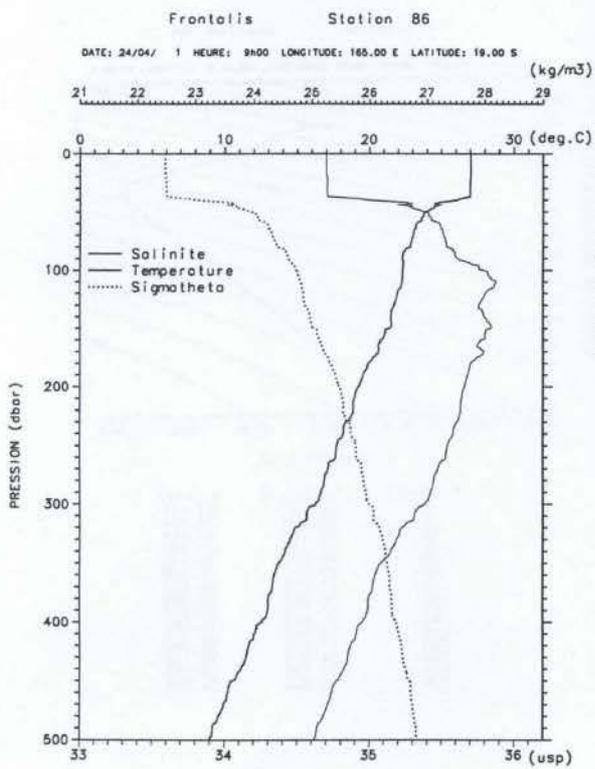
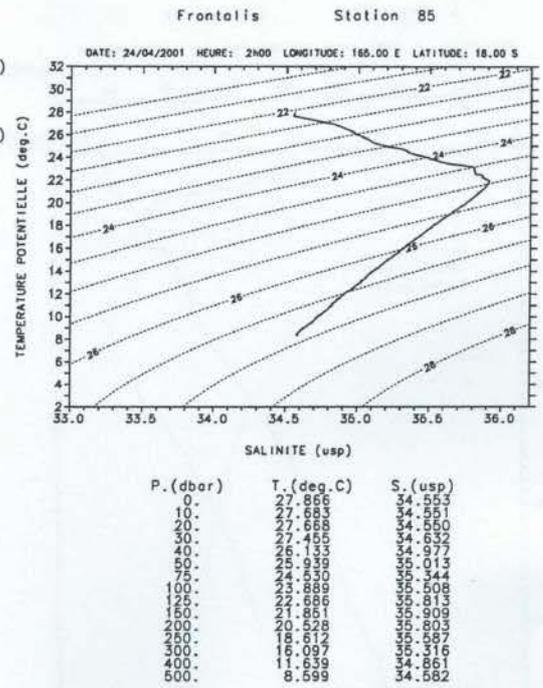
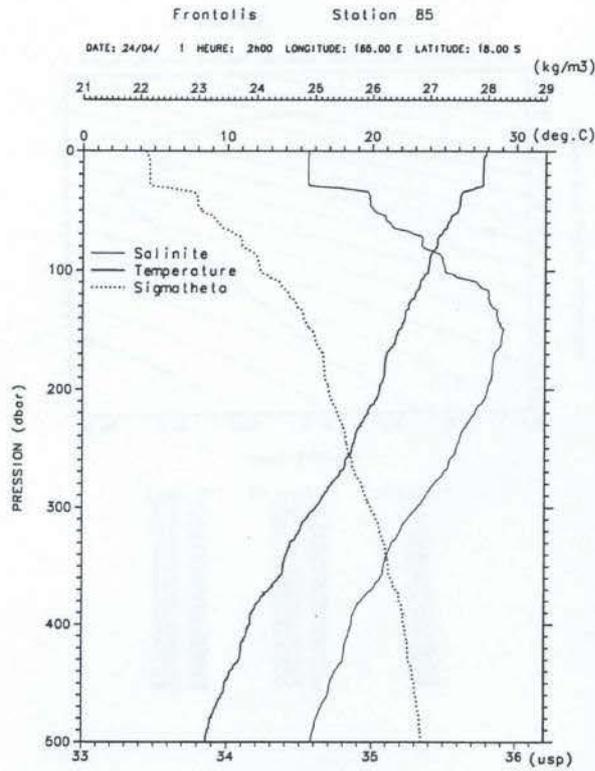


Figure 45

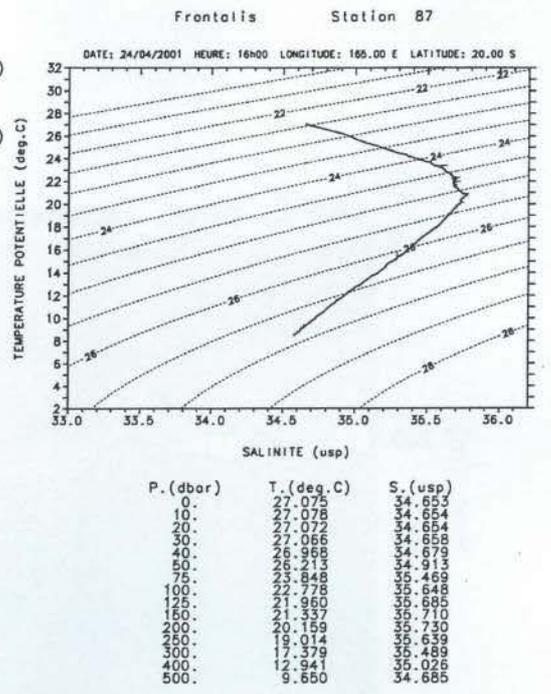
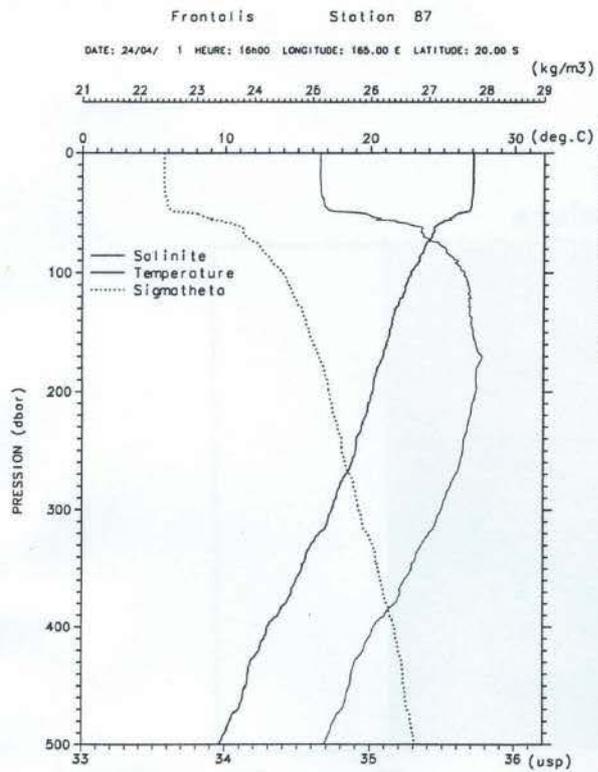


Figure 46

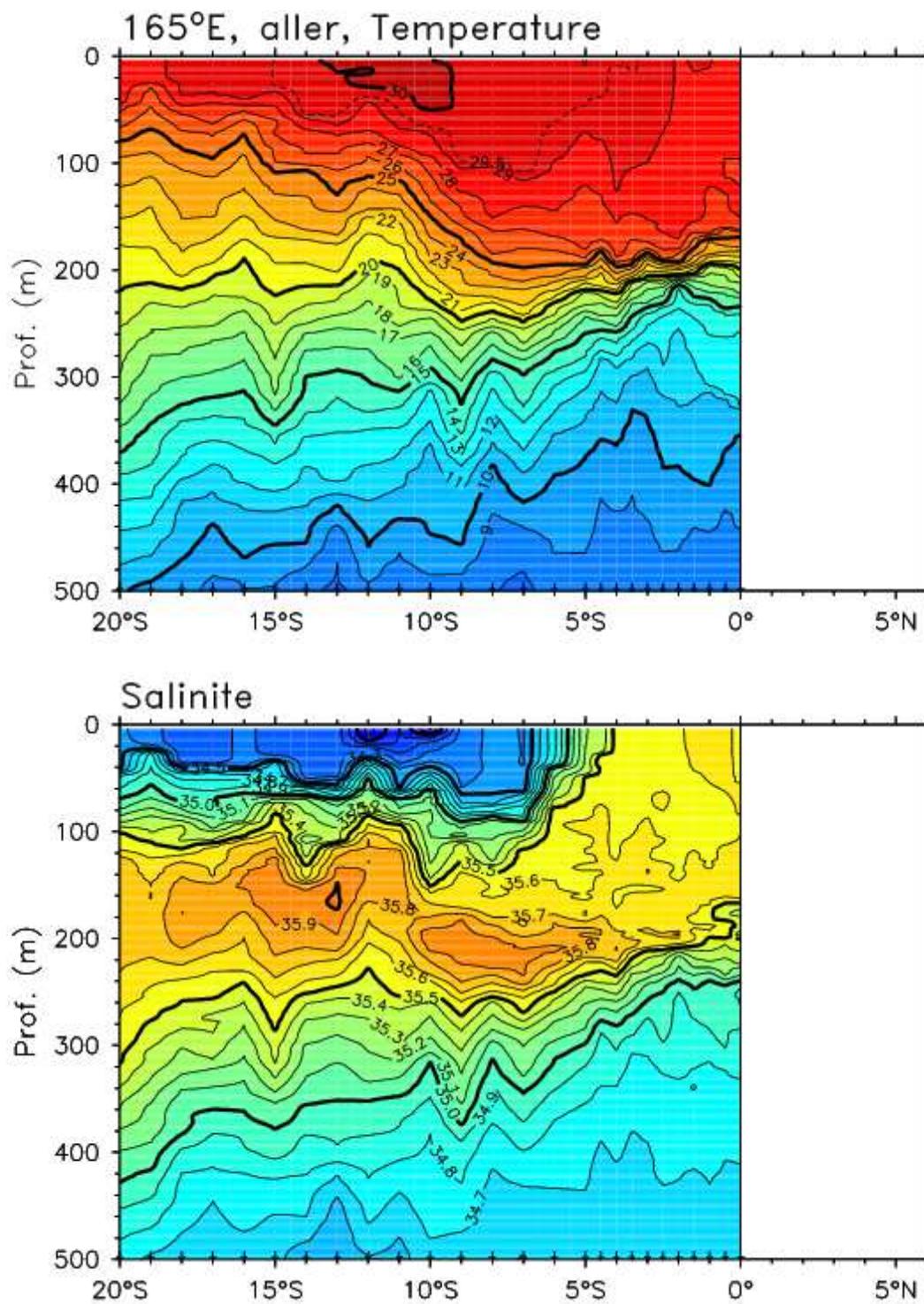


Figure 47: Coupes verticales 0-500 m de la température (°C) et de la salinité (psu) mesurées par la sonde CTD pour la section aller le long de 165°E, de 20°S le 30/03/01 à 0° le 05/04/01.

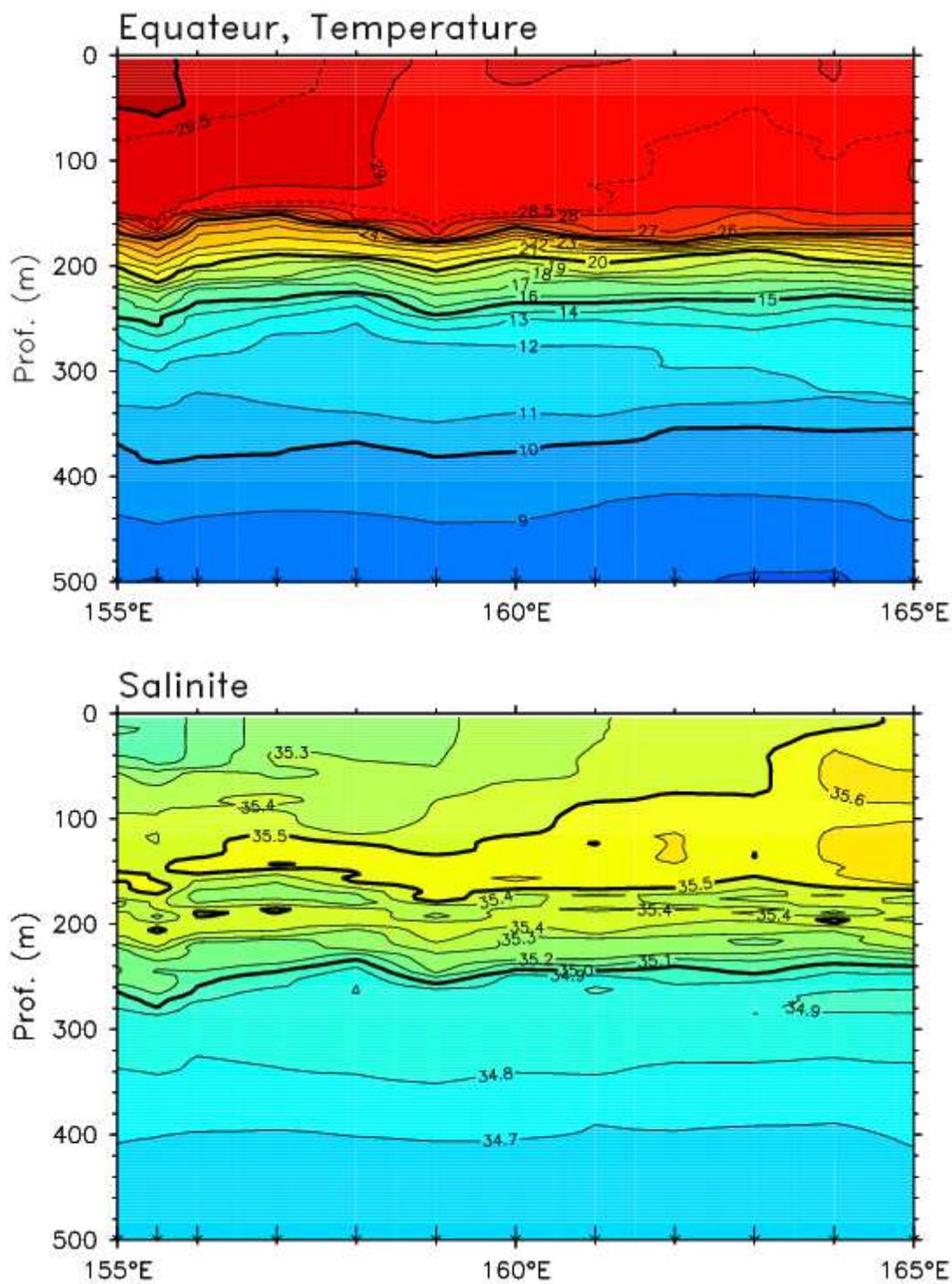


Figure 48: Coupes verticales 0-500 m de la température (°C) et de la salinité (psu) mesurées par la sonde CTD pour la section équatoriale, de 165°E le 05/04/01 à 155° le 09/04/01.

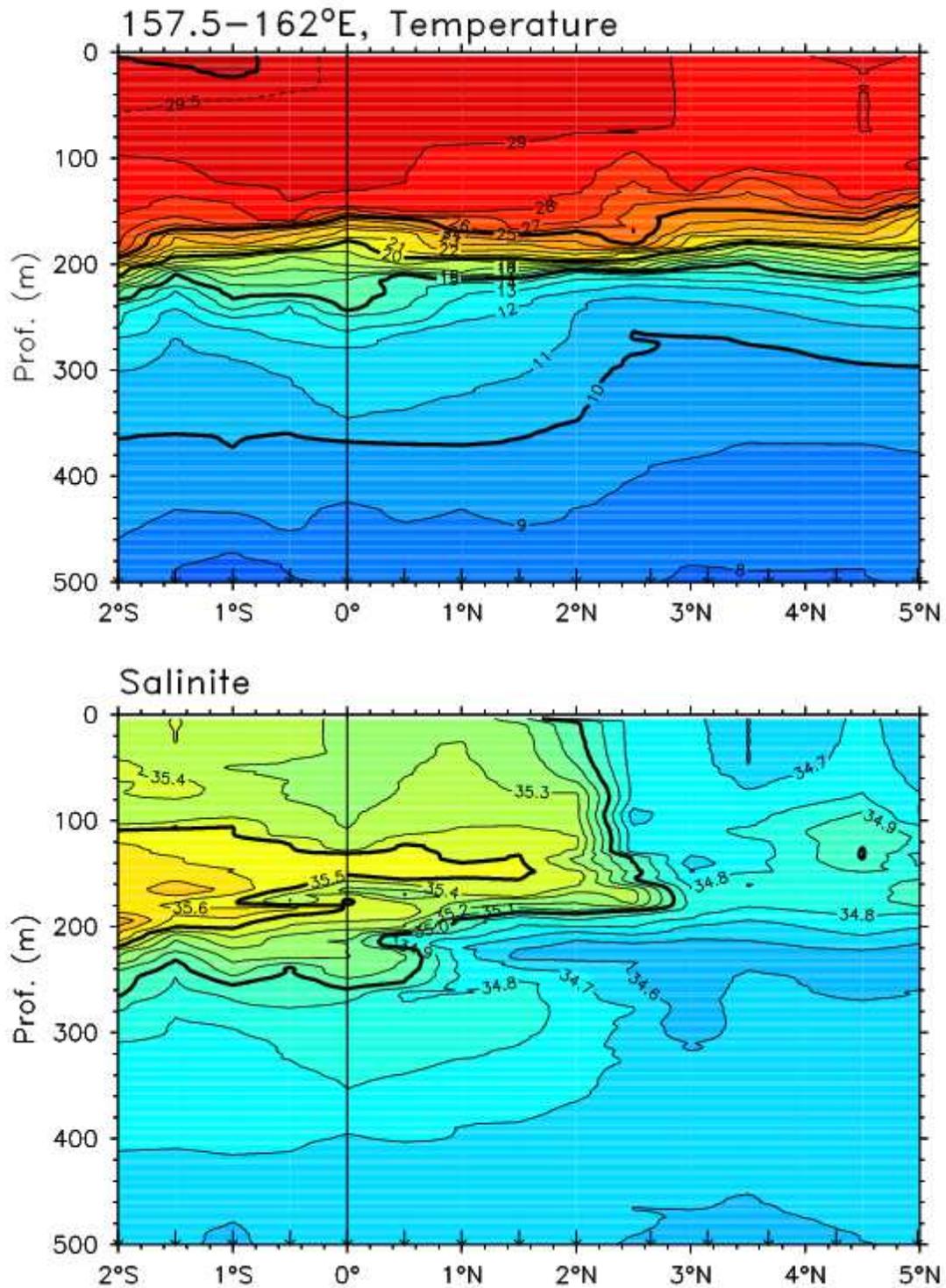


Figure 49: Coupes verticales 0-500 m de la température (°C) et de la salinité (psu) mesurées par la sonde CTD pour la section le long de 157.5°E de 2°S le 10/04/01 à 2°N le 11/04/01, puis pour la section orientée SW-NE de 2°N-157.5°E le 11/04/01 à 5°N-162.5°E le 13/04/01.

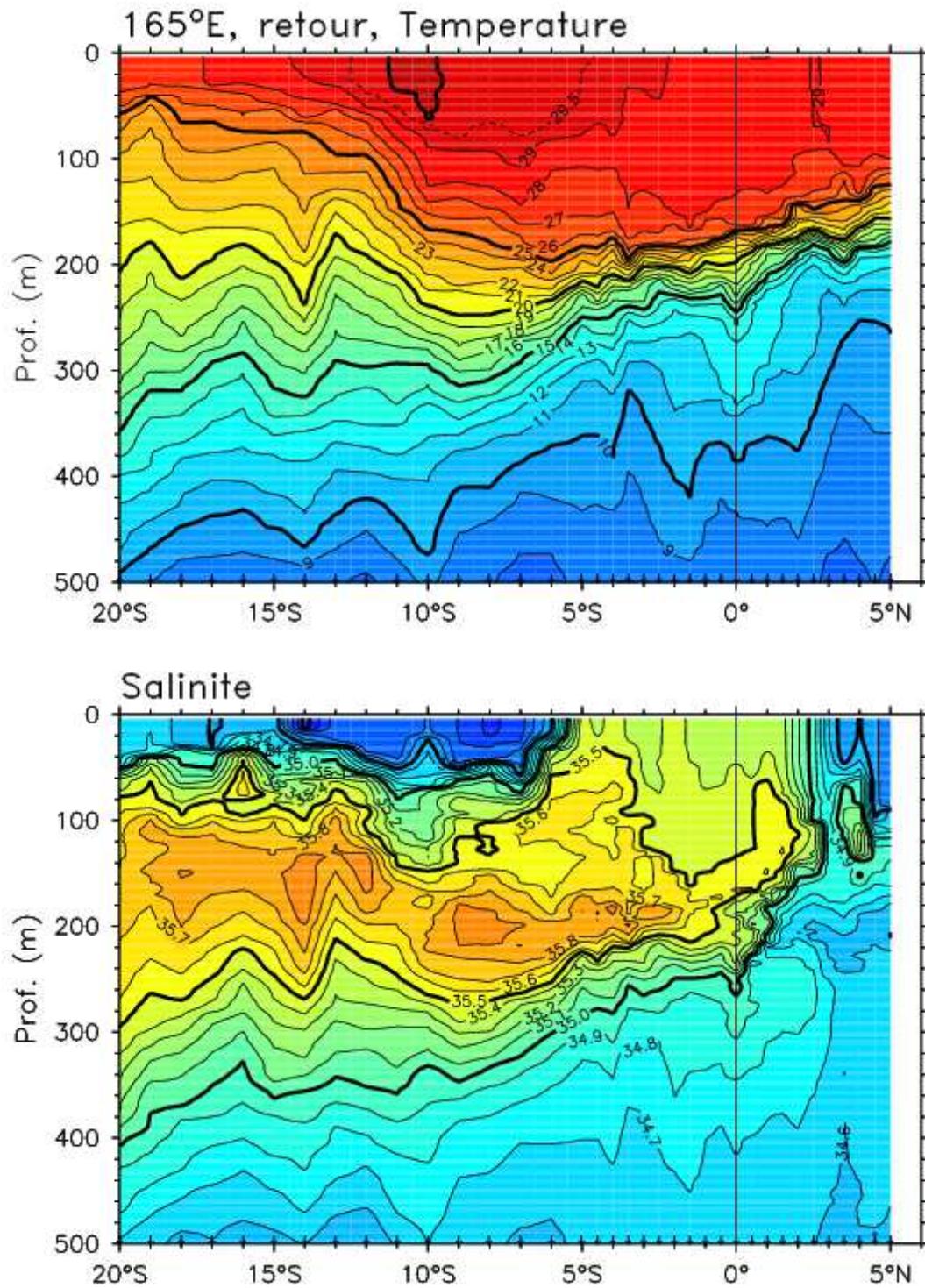


Figure 50: Coupes verticales 0-500 m de la température (°C) et de la salinité (psu) mesurées par la sonde CTD pour la section retour le long de 165°E, de 5°N le 16/04/01 à 20°S le 24/04/01.



Figure 51: Photographie du montage en parallèle des thermosalinographes SBE-21 avec son débulleur (à l'arrière plan) et du SBE-45 (au premier plan).

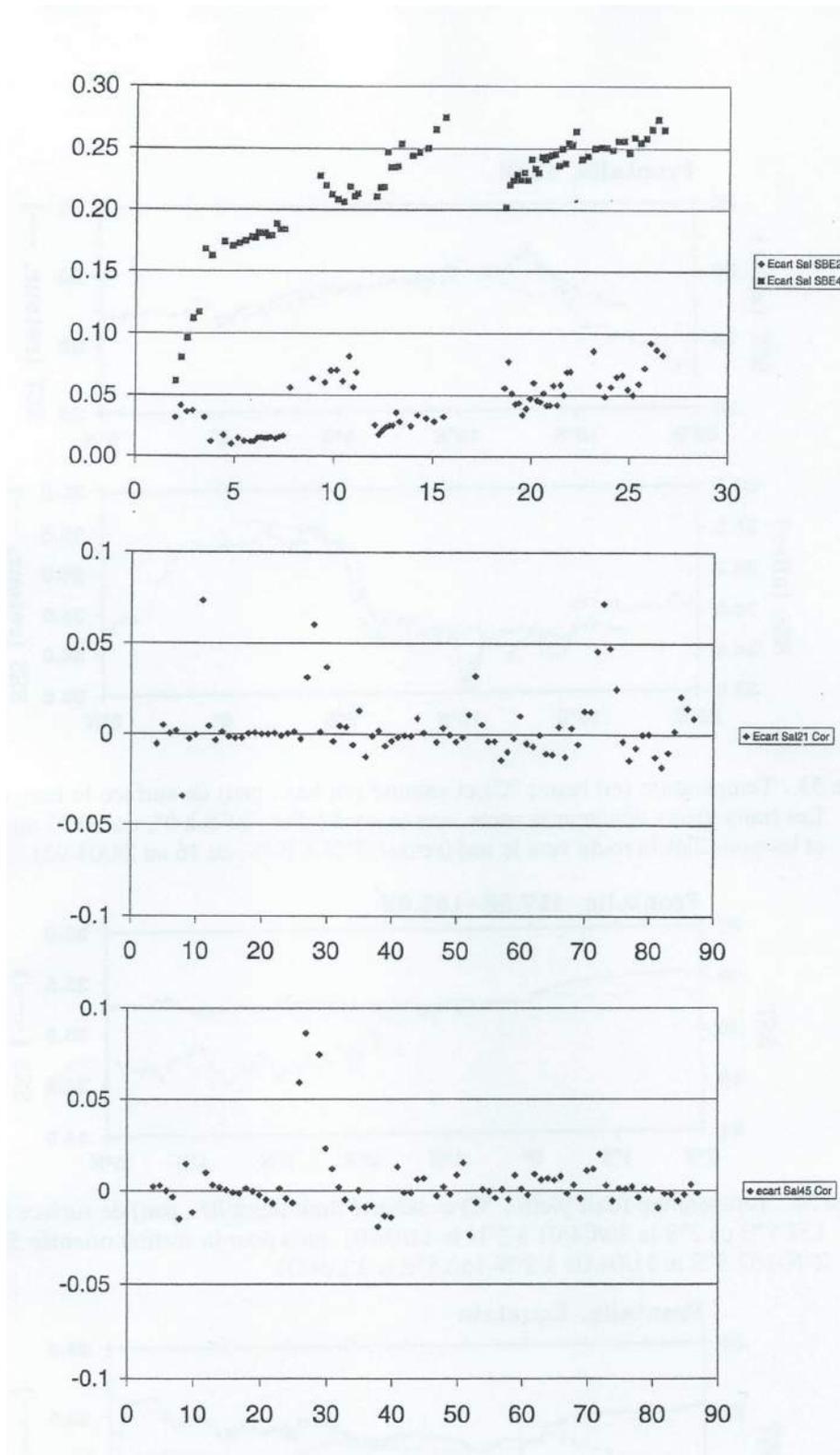


Figure 52 : (En haut) Ecart en fonction du jour de la salinité de surface entre les mesures TSG et CTD pour les TSG SBE45 (en gris) et SBE21 (en noir). (Au milieu) Ecart en fonction du numéro de station entre les mesures SBE21 et CTD après correction des dérives reportées au Tableau 3. (En bas) Même chose qu’au milieu pour le SBE45.

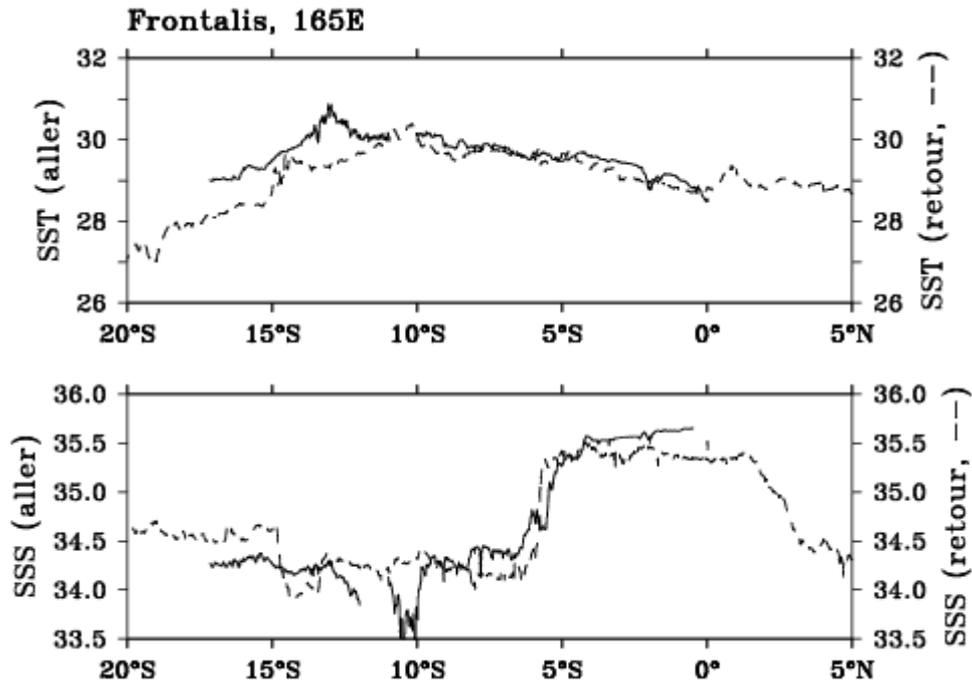
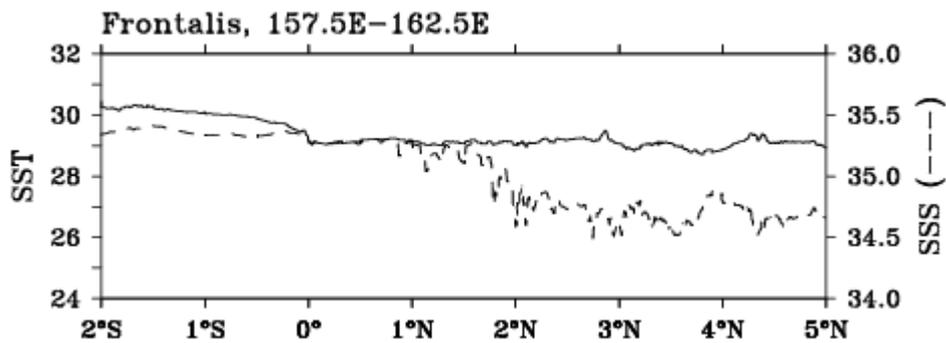
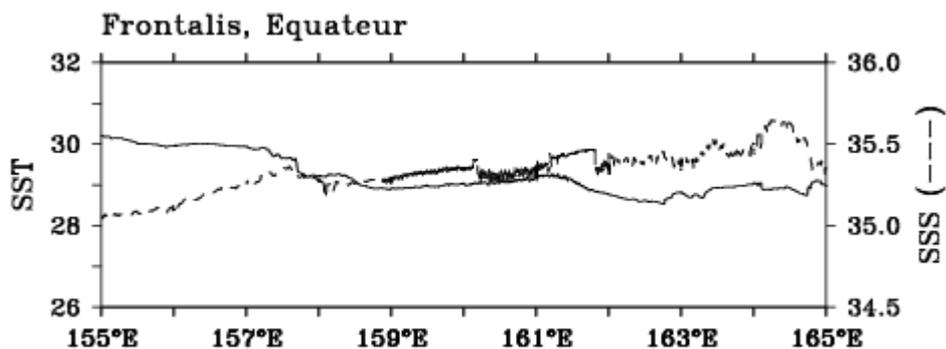


Figure 53 : Température (en haut ; °C) et salinité (en bas ; psu) de surface le long de 165°E. Les traits pleins dénotent la route vers le nord (aller, 20°S à 0°, du 30/03 au 05/04/02) et les pointillés la route vers le sud (retour, 5°N à 20°S, du 16 au 24/04/02).



Figures 54 : Température (trait plein ; °C) et salinité (trait pointillé ; psu) de surface le long de 157.5°E de 2°S le 10/04/01 à 2°N le 11/04/01, puis pour la section orientée SW-NE de 2°N-157.5°E le 11/04/01 à 5°N-162.5°E le 13/04/01.



Figures 55 : Température (trait plein ; °C) et salinité (trait pointillé ; psu) de surface de la mer le long de l'équateur de 165°E le 05/04/01 à 155° le 09/04/01.

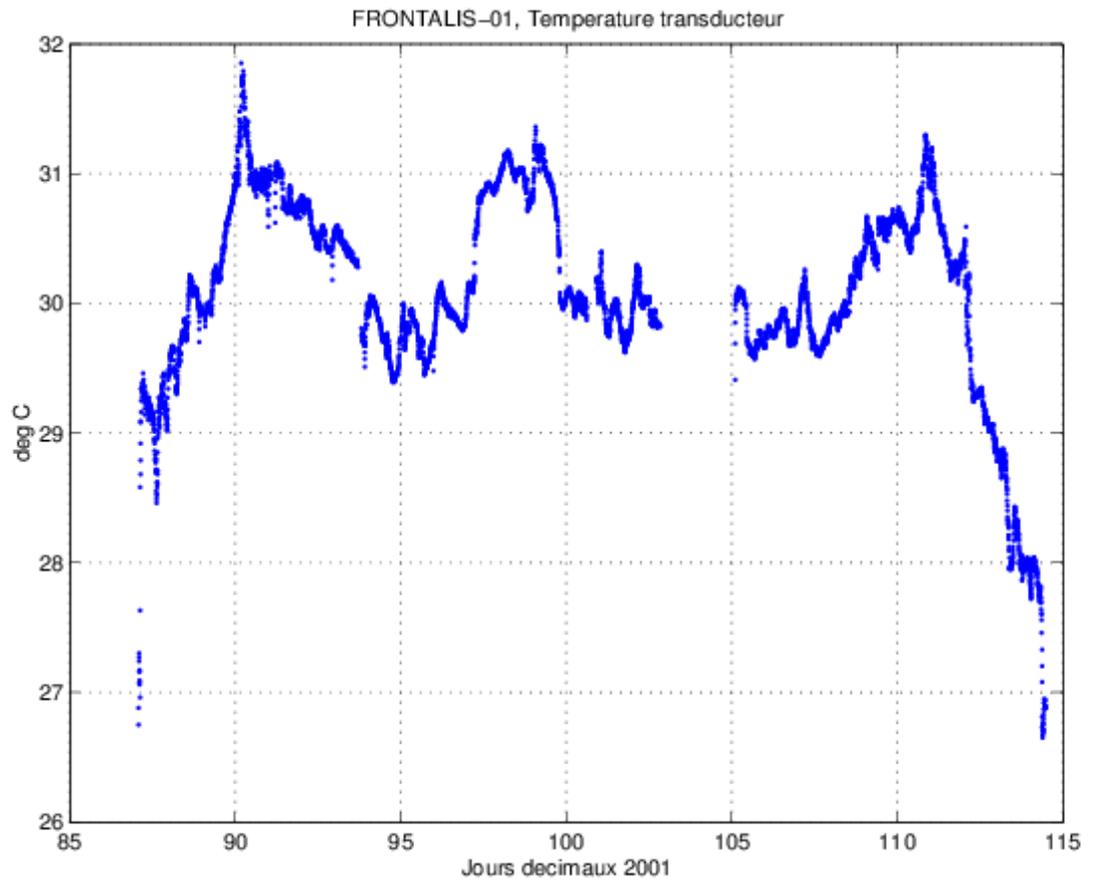


Figure 56 : Série temporelle de la température de l'embase du VM-ADCP.

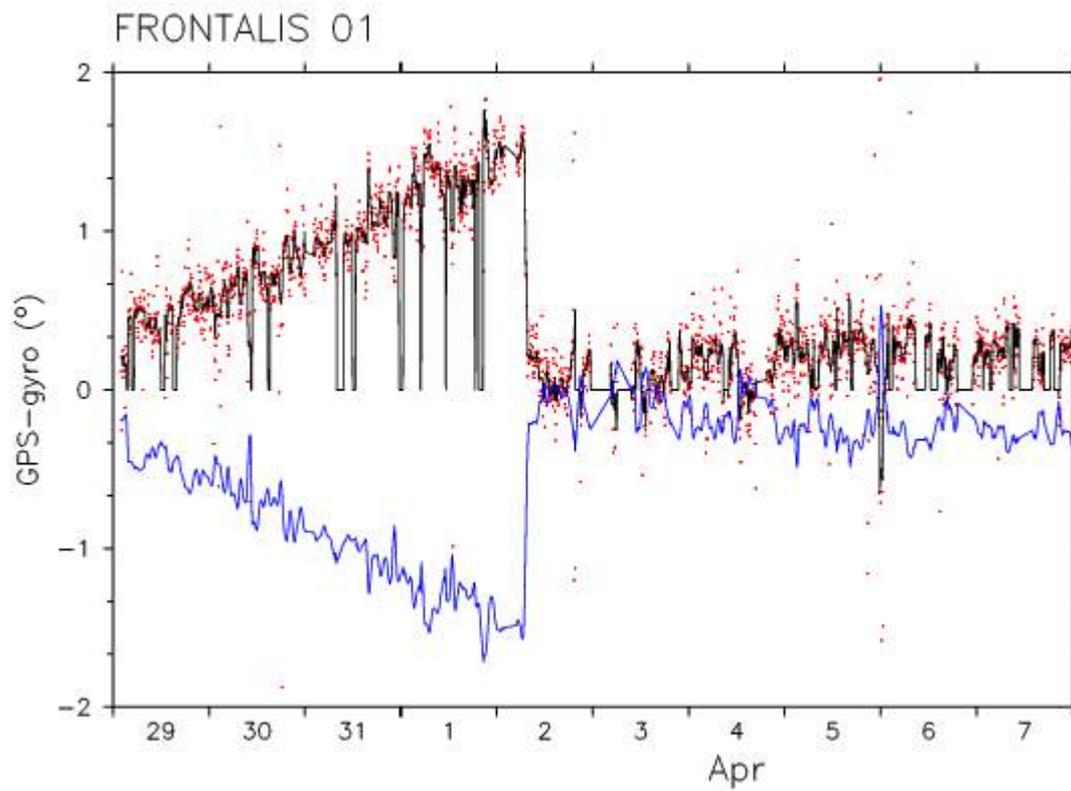


Figure 57 : Différence cap GPS - cap gyroscope au cours du temps pendant les premiers 10 jours de campagne : valeur moyenne à chaque profil (points), après application d'un filtre médian sur 5 points (en noir), après changement de signe, interpolation des trous et passage d'une moyenne mobile sur 5 points (en bleu).

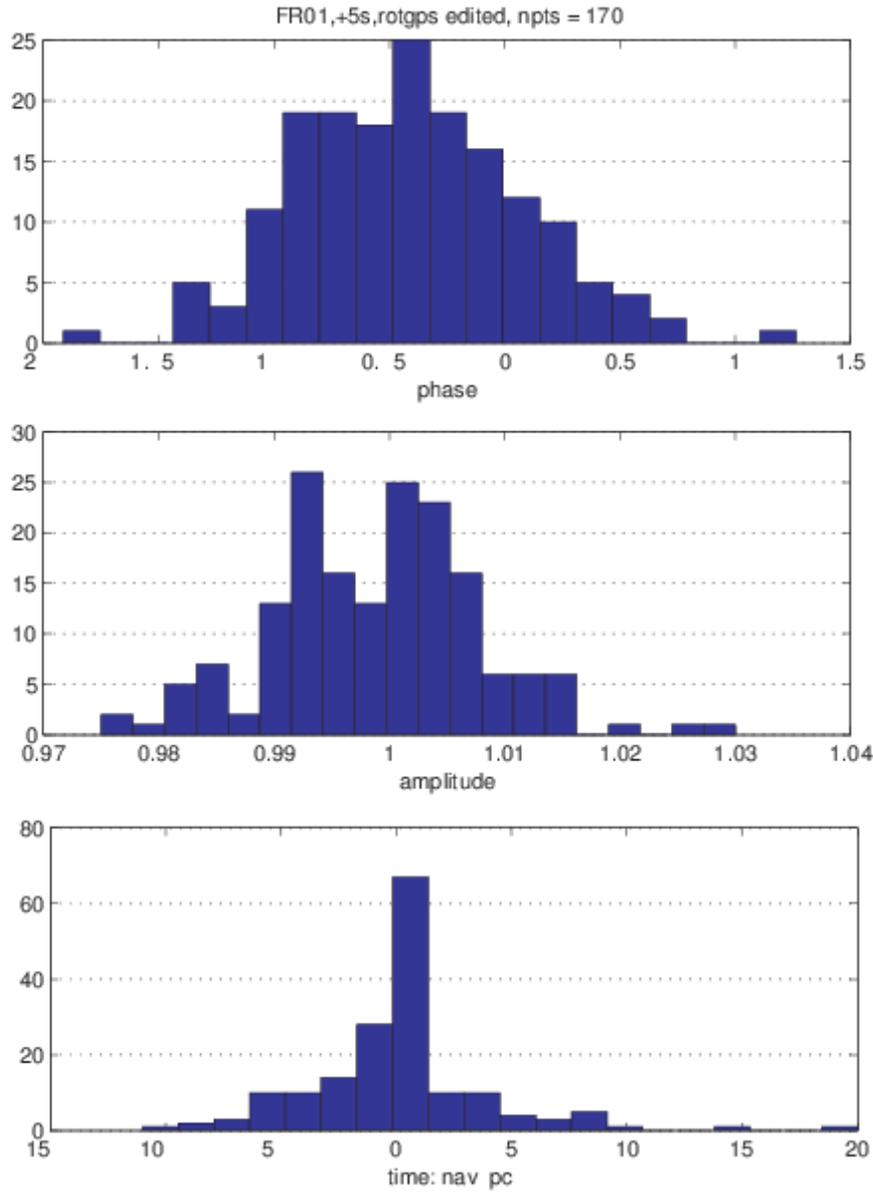


Figure 58 : Histogrammes de A et  $\phi$  et différences d'horloges GPS-ADCP (en s).

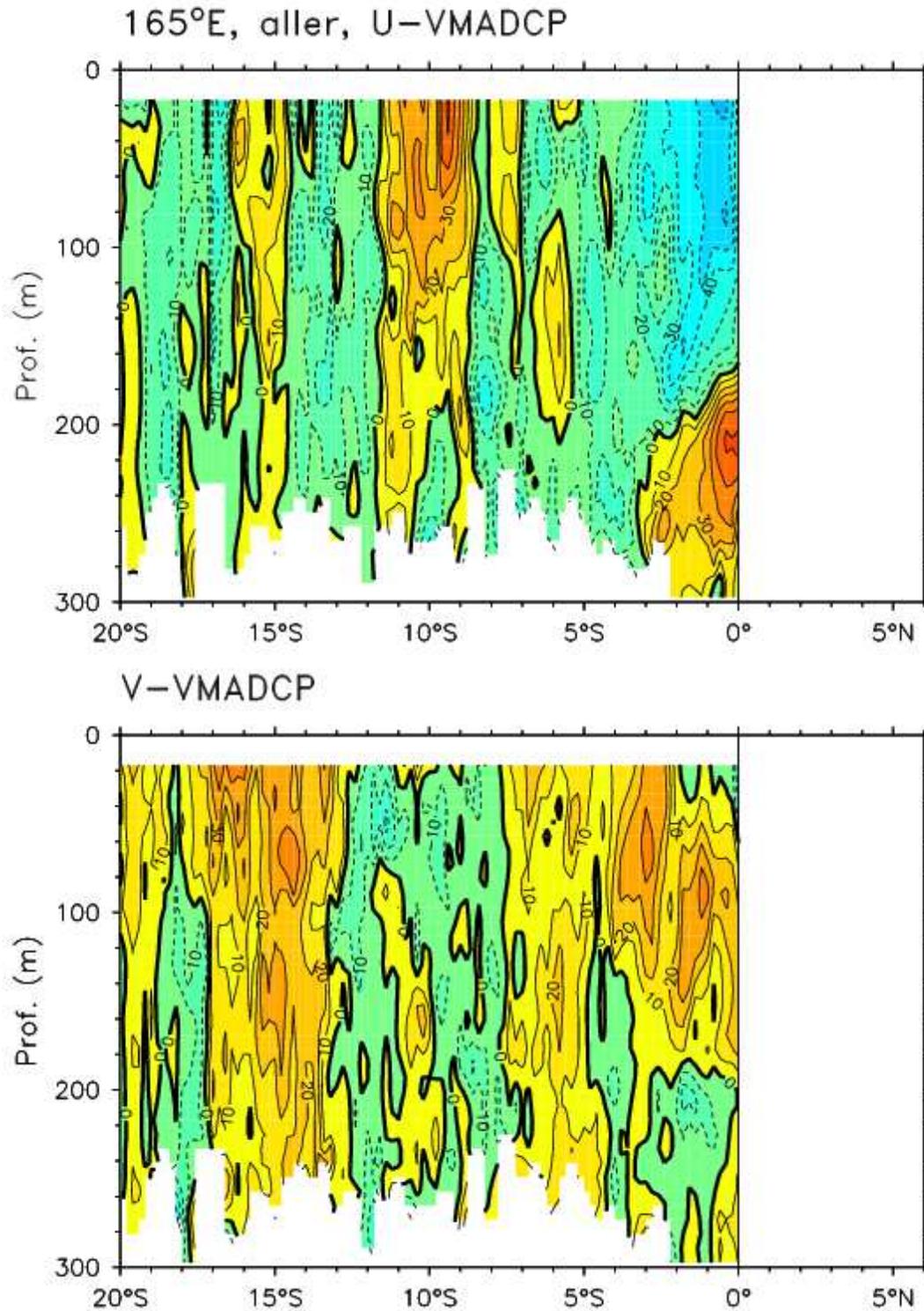


Figure 59 : Coupes verticales 0-300 m des composantes zonales et méridiennes du courant mesurées par le VM-ADCP pour la section aller le long de 165°E, de 20°S le 30/03/01 à 0° le 05/04/01. Les valeurs positives désignent des courants U vers l'est et V vers le nord, en cm/s.

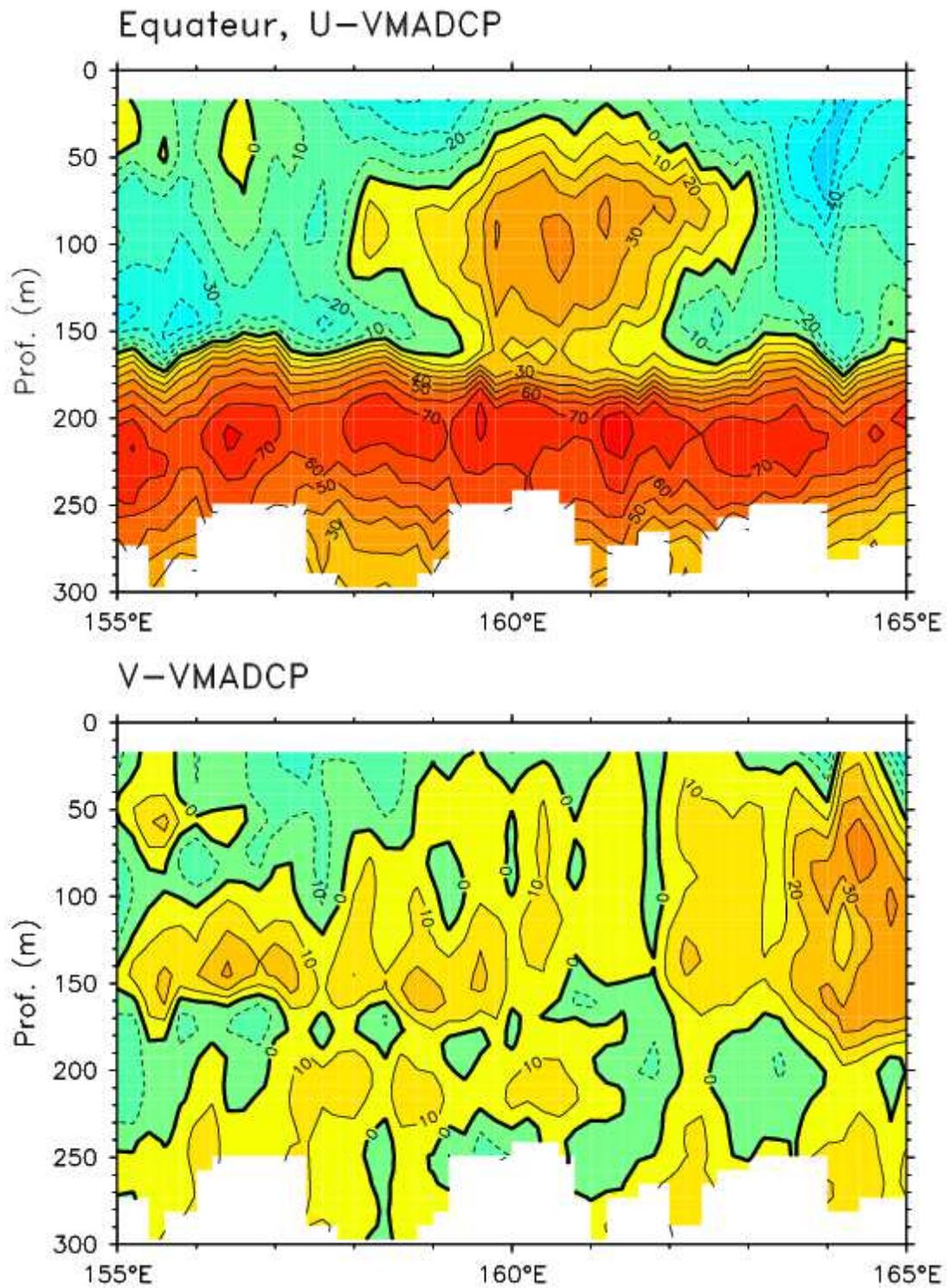


Figure 60 : Coupes verticales 0-300 m des composantes zonales et méridiennes du courant mesurées par le VM-ADCP pour la section équatoriale, de 165°E le 05/04/01 à 155° le 09/04/01. Les valeurs positives désignent des courants U vers l'est et V vers le nord, en cm/s.

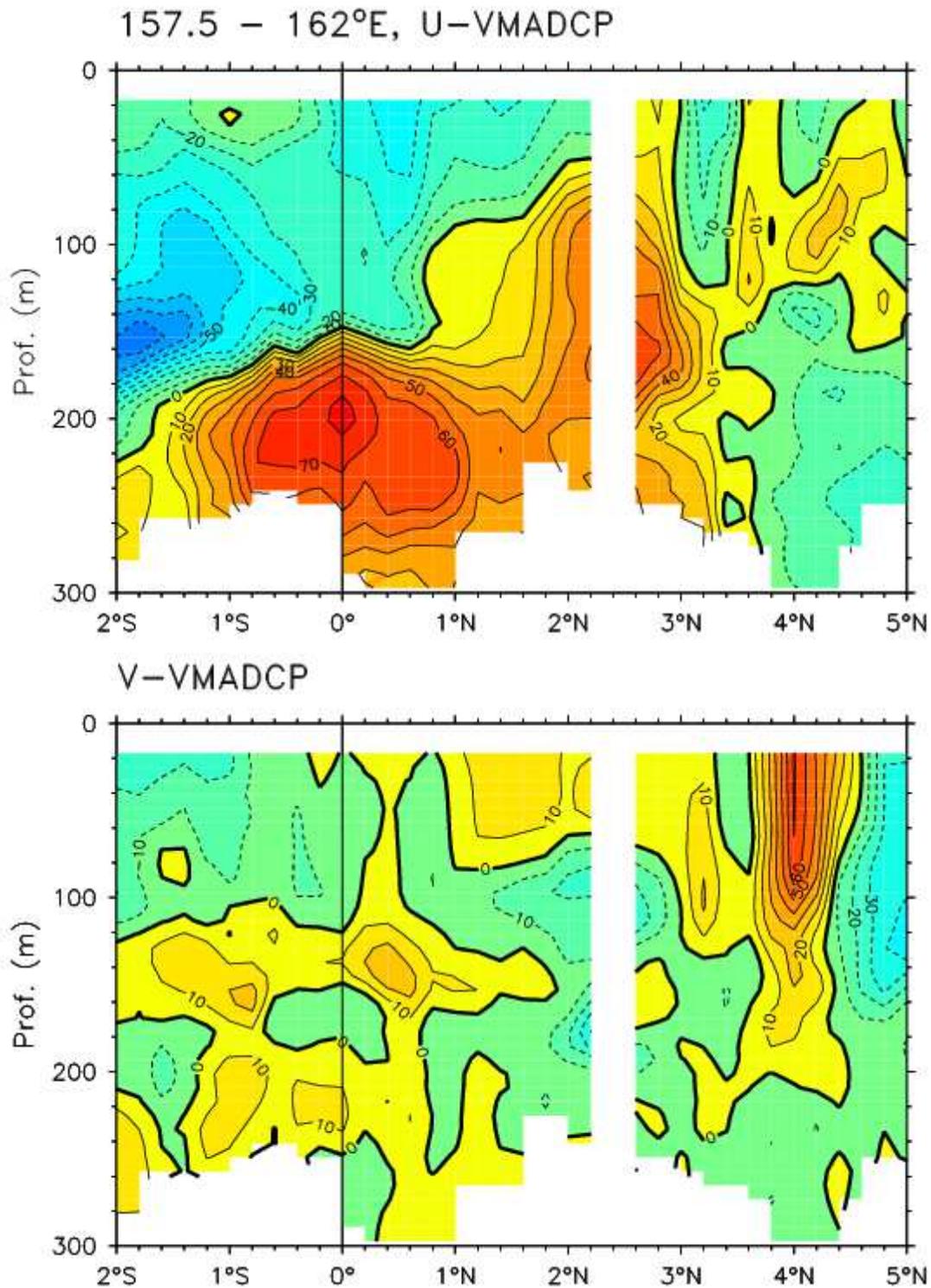


Figure 61: Coupes verticales 0-300 m des composantes zonales et méridiennes du courant mesurées par le VM-ADCP pour la section le long de 157.5°E de 2°S le 10/04/01 à 2°N le 11/04/01, puis pour la section orientée SW-NE de 2°N-157.5°E le 11/04/01 à 5°N-162.5°E le 13/04/01. Les valeurs positives désignent des courants U vers l'est et V vers le nord, en cm/s.

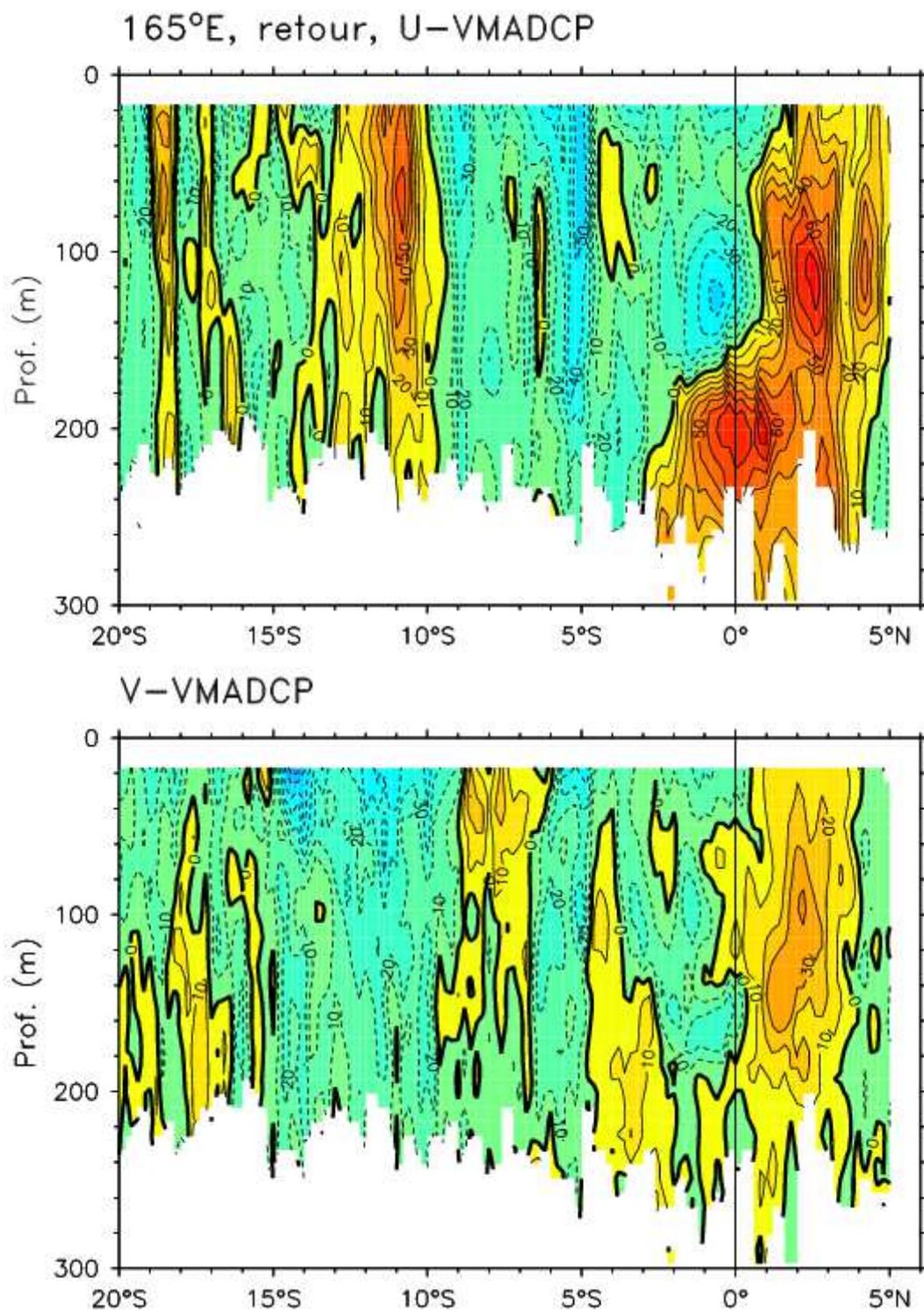


Figure 62 : Coupes verticales 0-300 m des composantes zonales et méridiennes du courant mesurées par le VM-ADCP pour la section retour le long de 165°E, de 5°N le 16/04/01 à 20°S le 24/04/01. Les valeurs positives désignent des courants U vers l'est et V vers le nord, en cm/s.

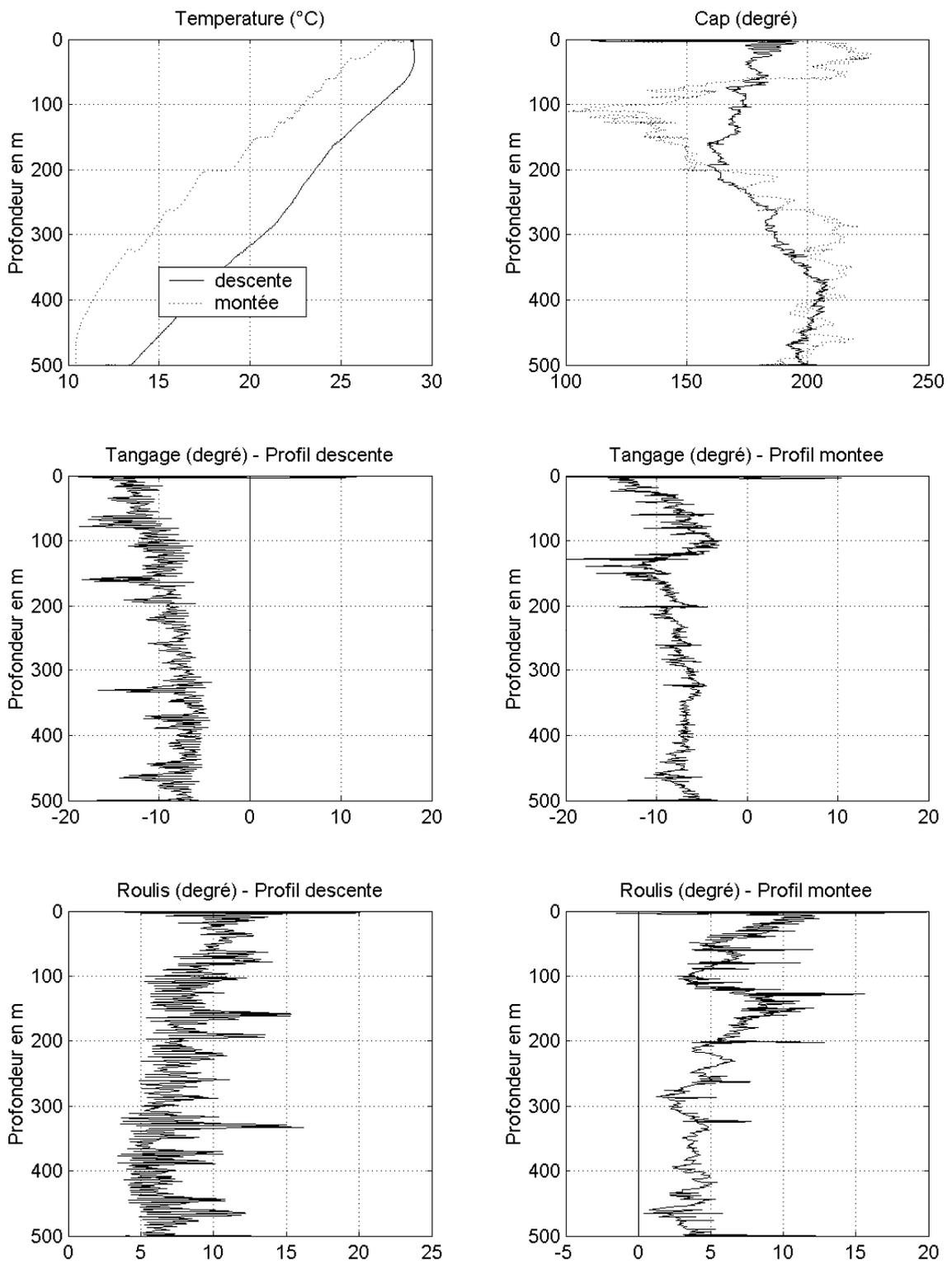


Figure 63. Paramètres mesurés par le LADCP. Exemple pour la station 2.

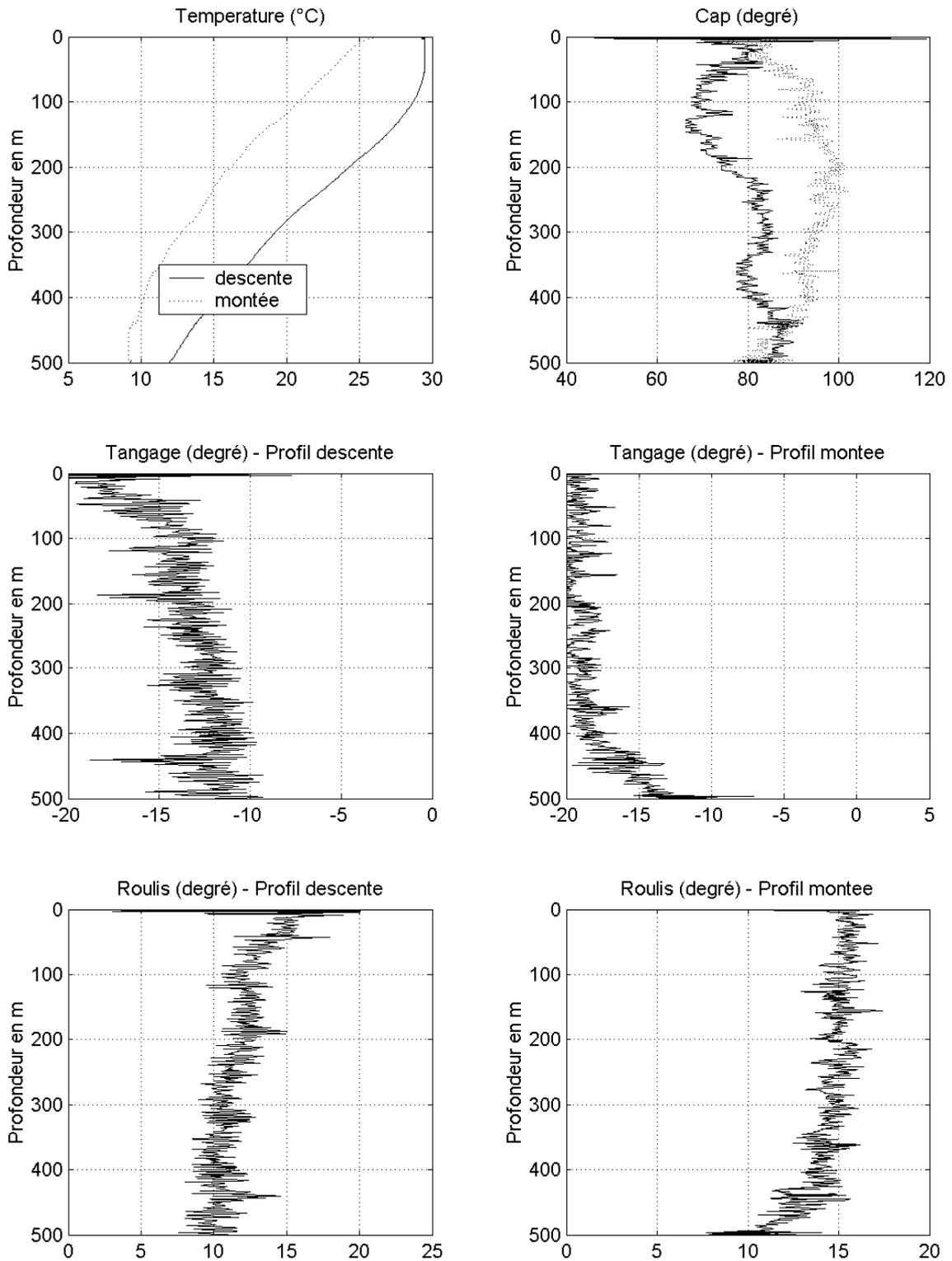


Figure 64. Paramètres mesurés par le LADCP. Exemple pour la station 80.

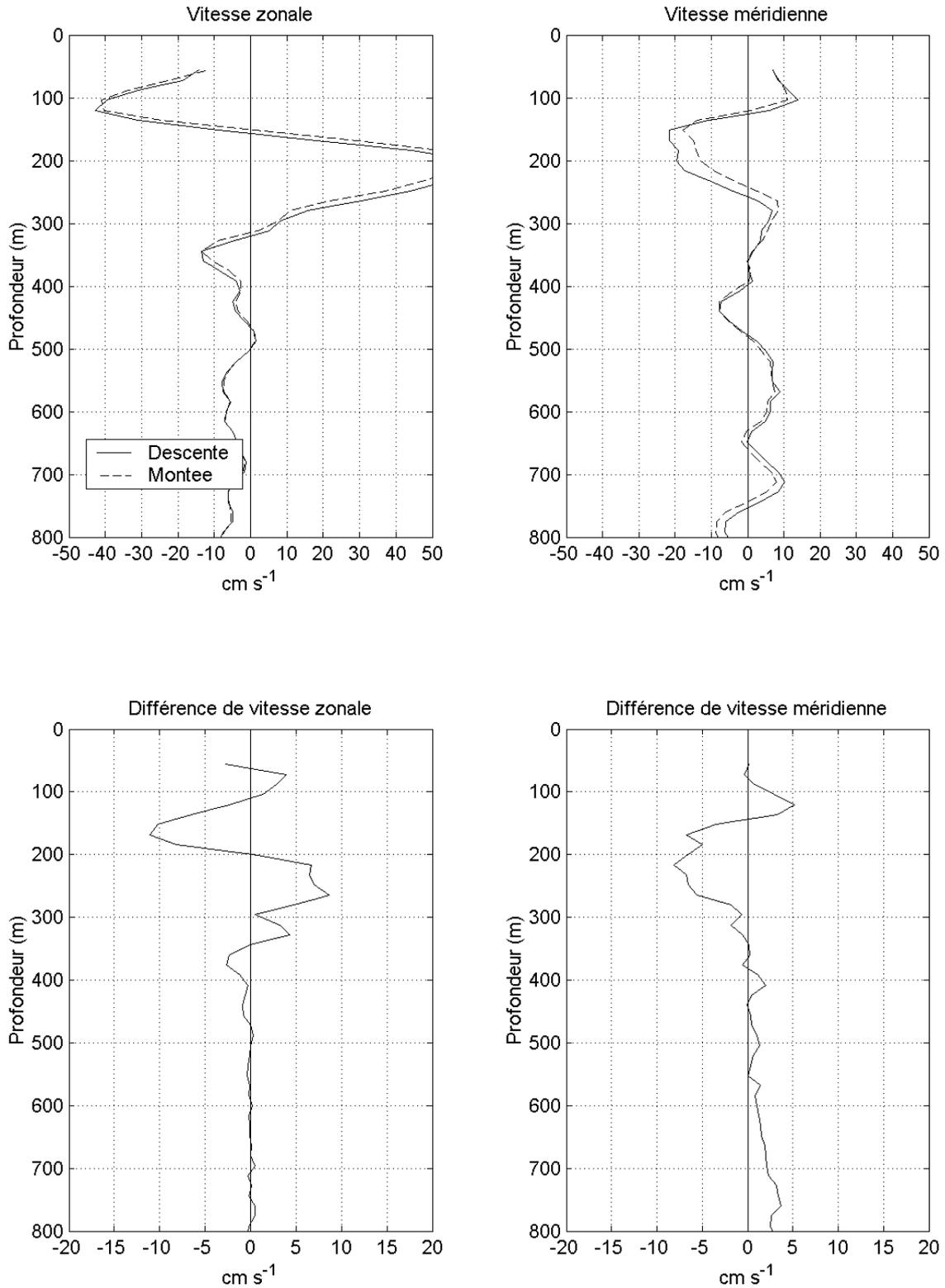


Figure 65 : Composante zonale et méridienne des profils de vitesse L-ADCP à la montée (traits pointillés) et à la descente (traits pleins) ainsi que la différence entre ces profils. Exemple pour la Station 62.

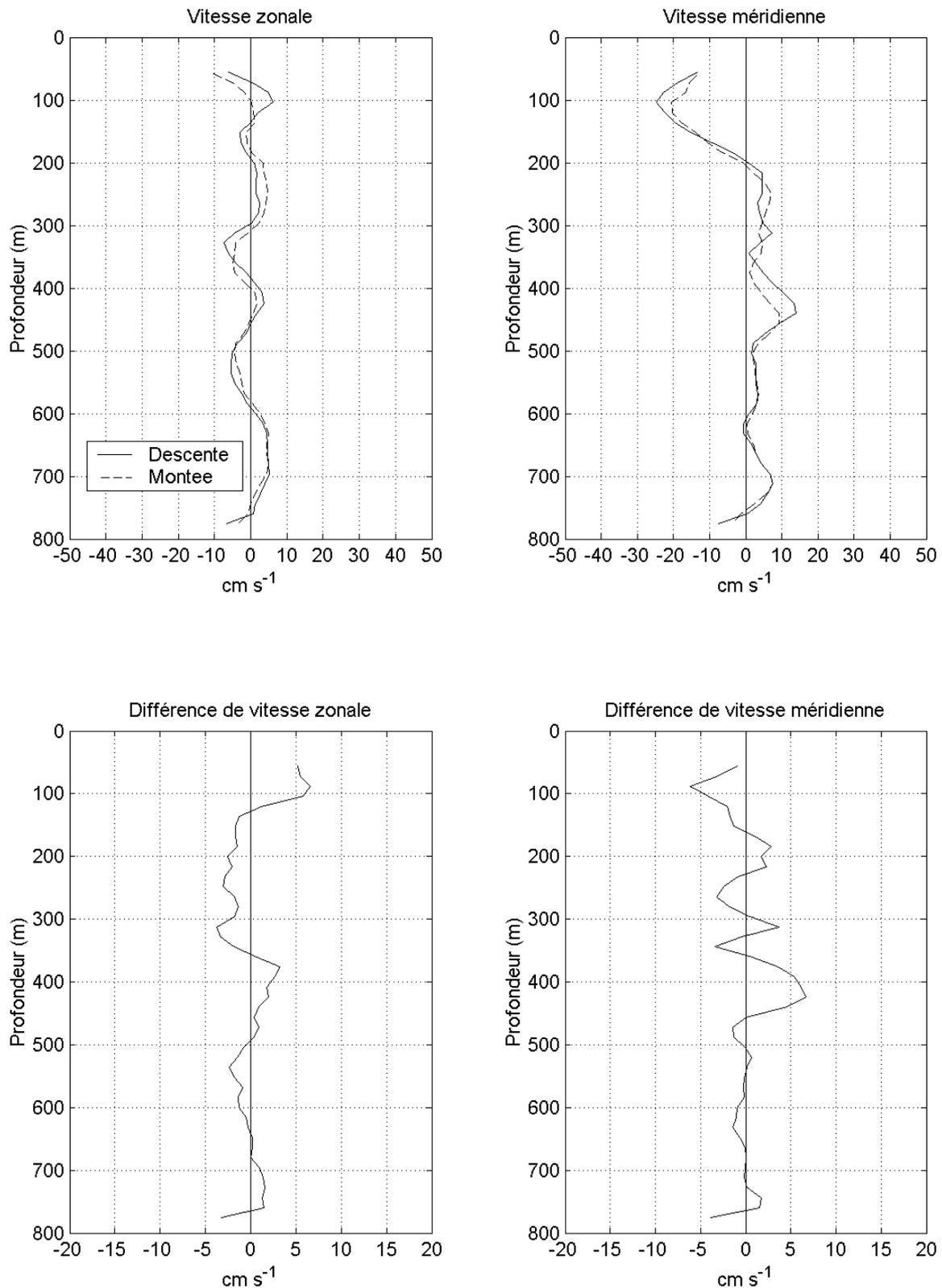


Figure 66 : Composante zonale et méridienne des profils de vitesse L-ADCP à la montée (traits pointillés) et à la descente (traits pleins) ainsi que la différence entre ces profils. Exemple pour la Station 80.

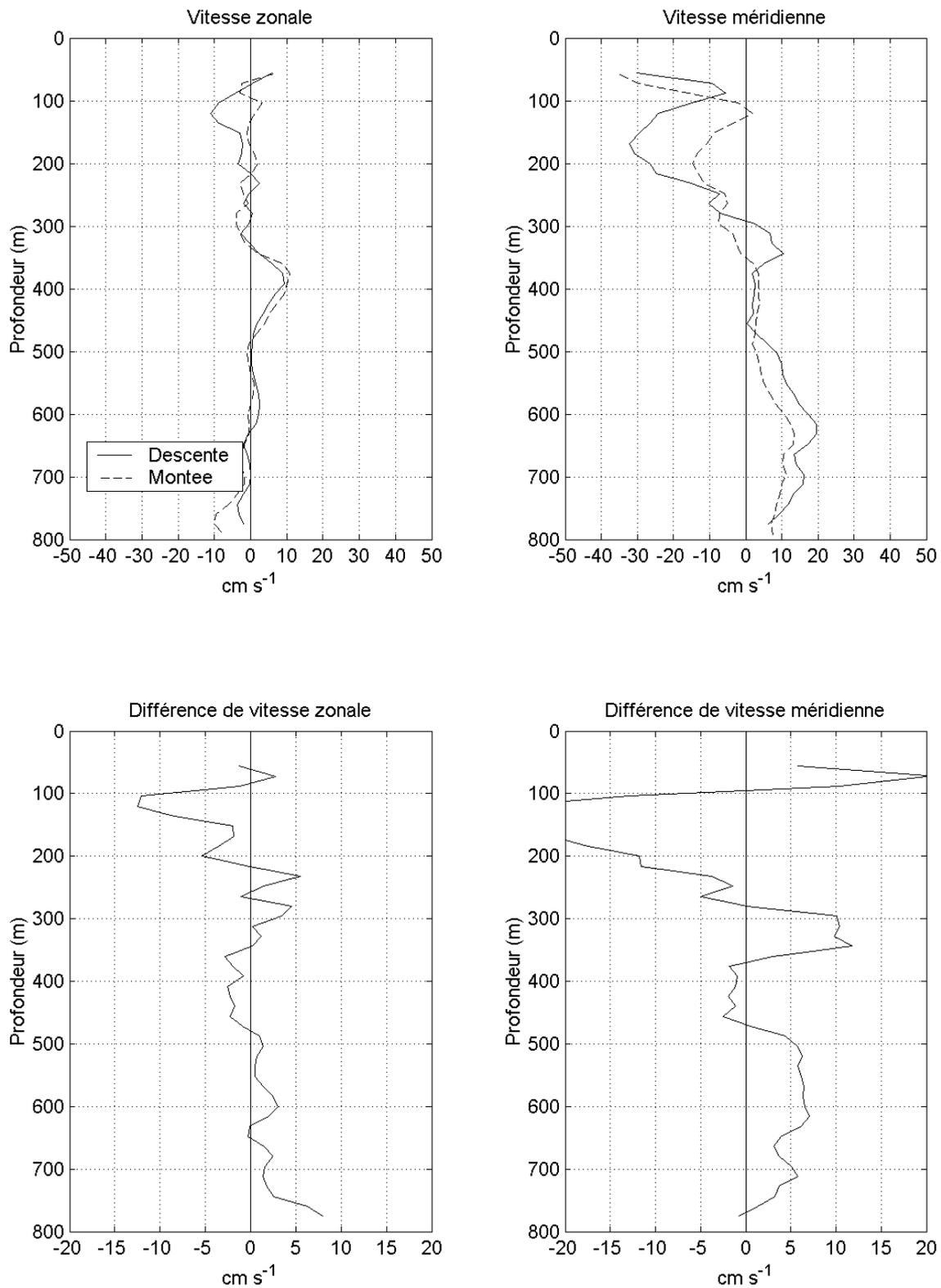


Figure 67 : Composante zonale et méridienne des profils de vitesse L-ADCP à la montée (traits pointillés) et à la descente (traits pleins) ainsi que la différence entre ces profils. Exemple pour la Station 81.

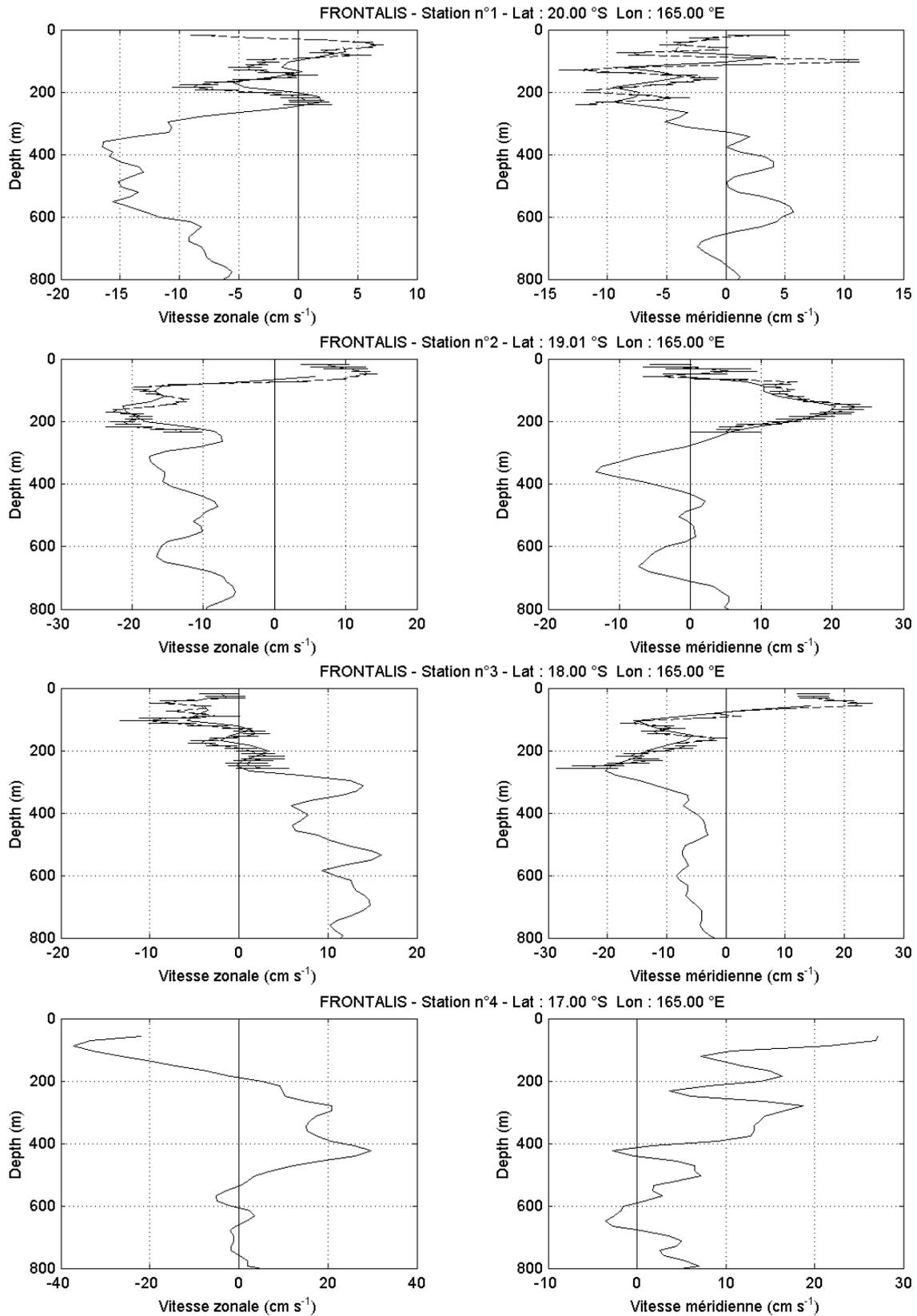


Figure 68: Profils verticaux des composantes zonale et méridienne de la vitesse du courant mesurée par l'ADCP de coque (traits pointillés ; 0-200/300 m) et le L-ADCP (traits pleins ; 0-800 m) pour les stations 1 à 4 de la campagne (voir figures suivantes pour les stations 5 à 87).

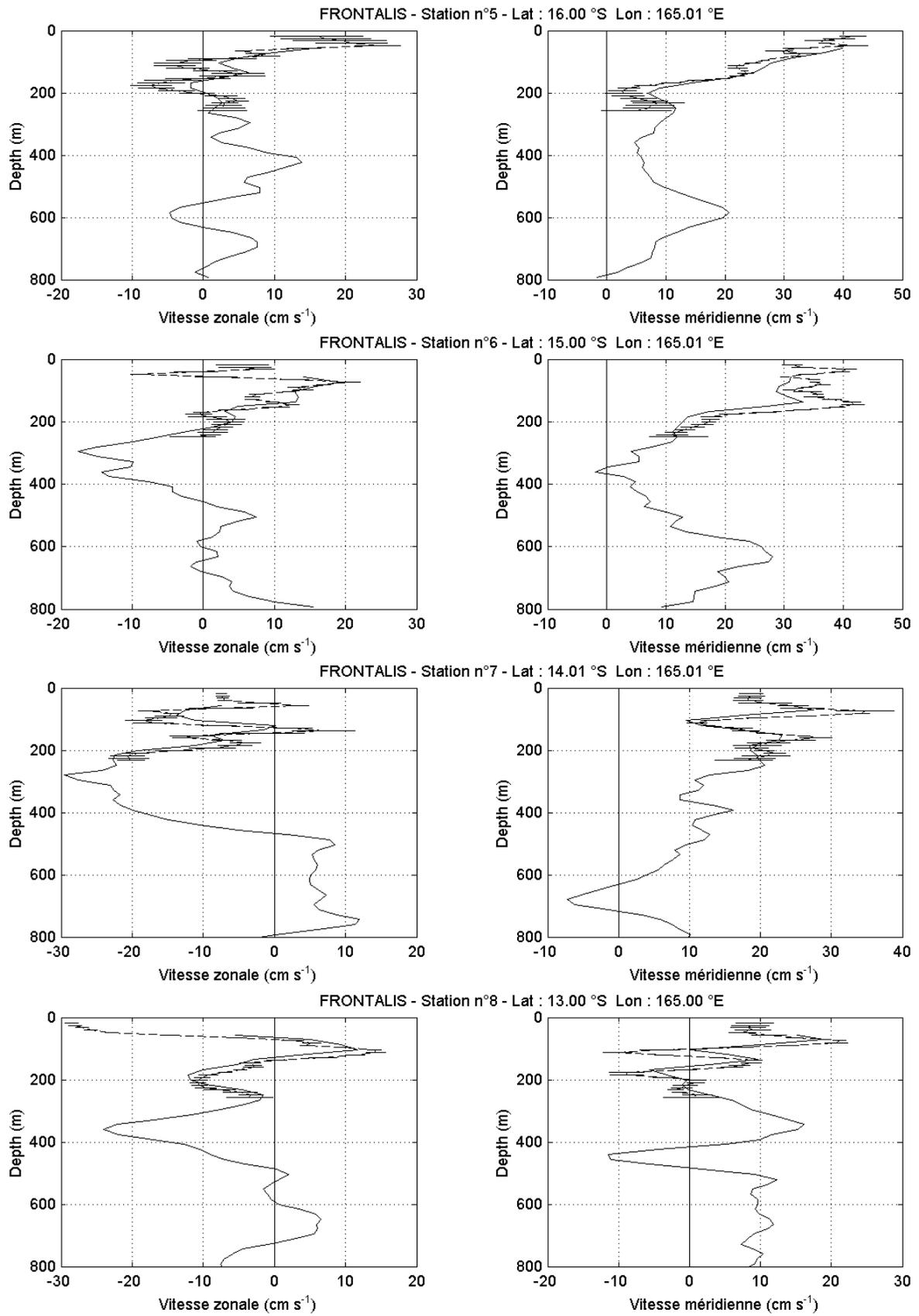


Figure 68 (suite).

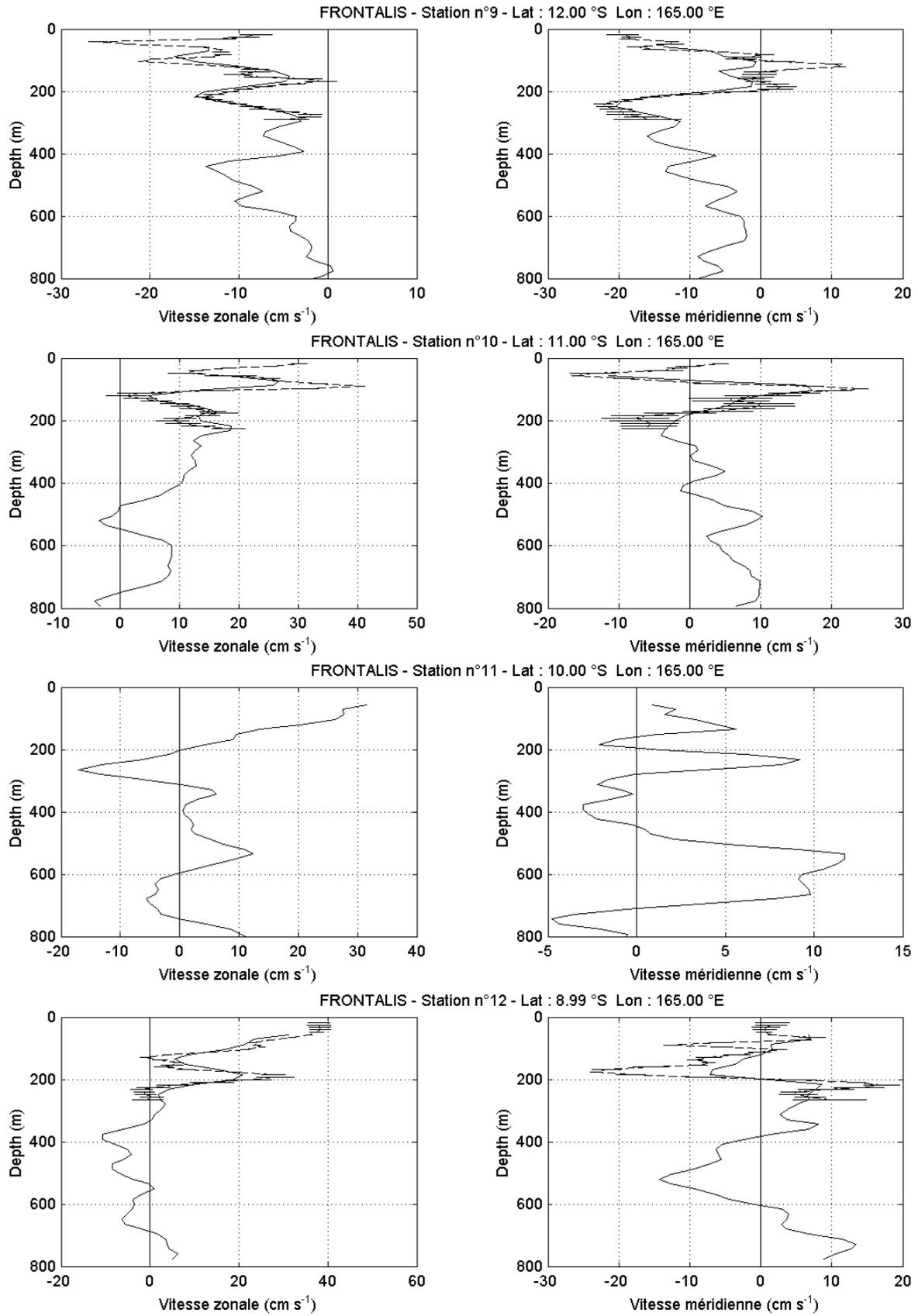


Figure 68 (suite).

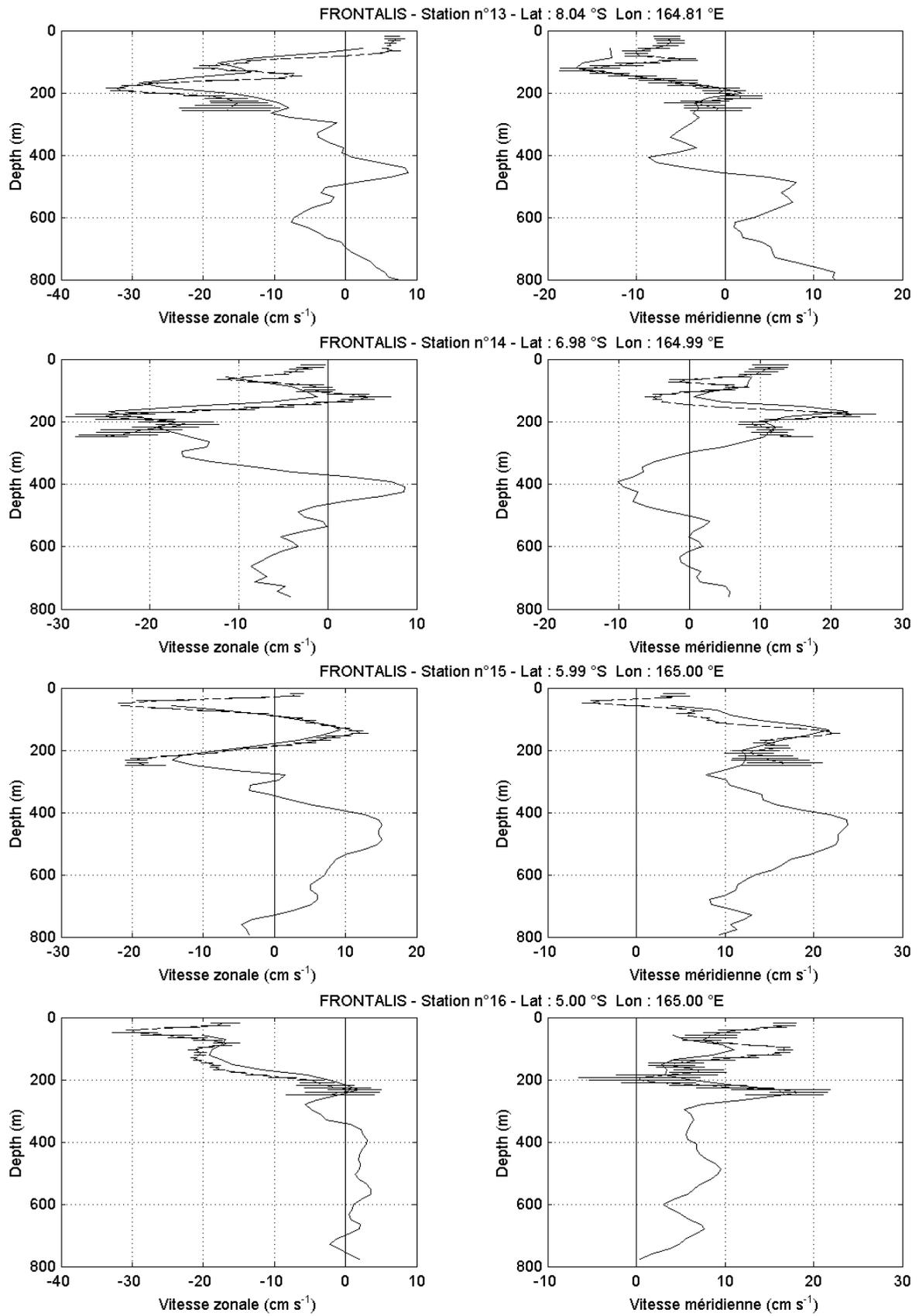


Figure 68 (suite).

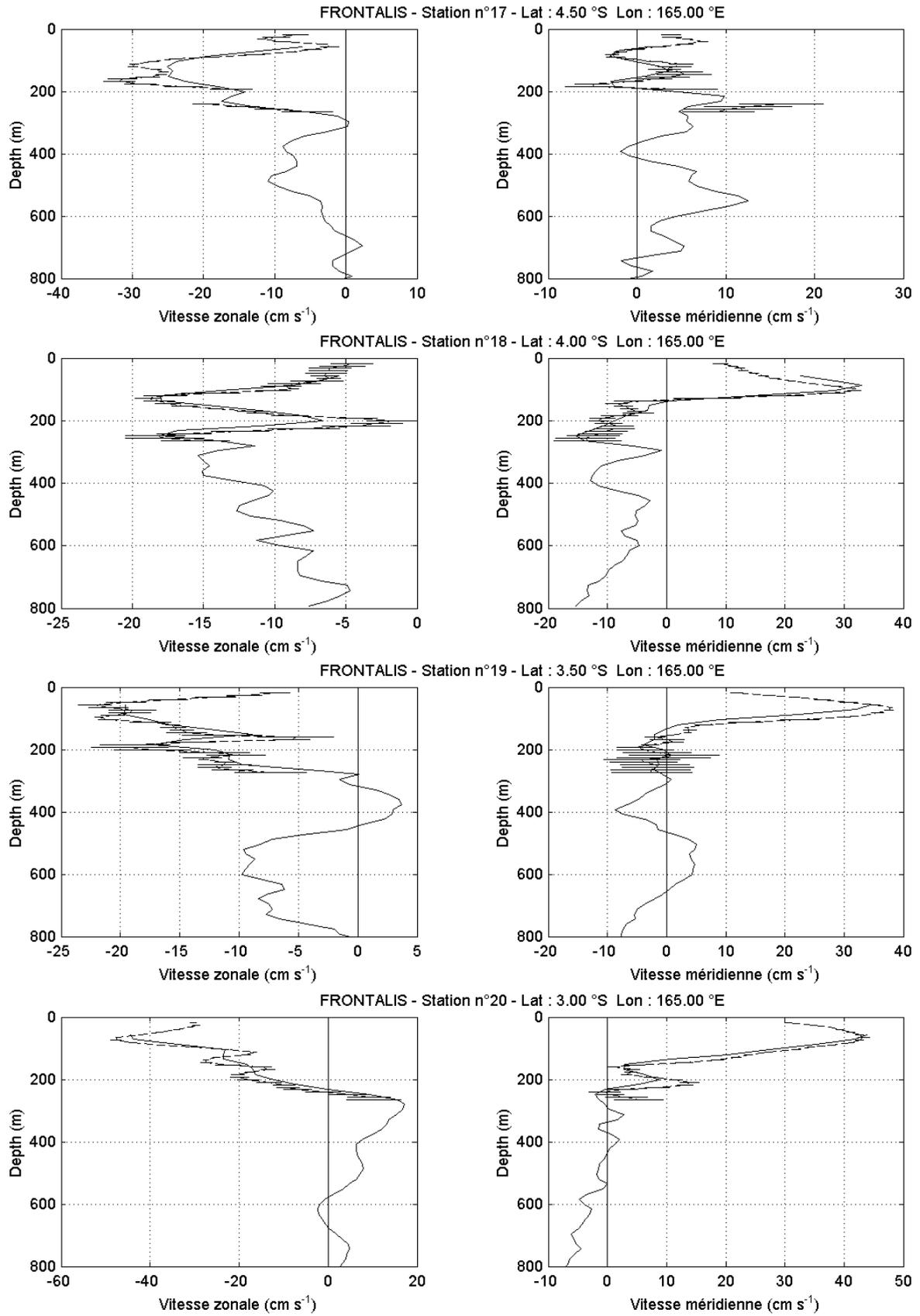


Figure 68 (suite).

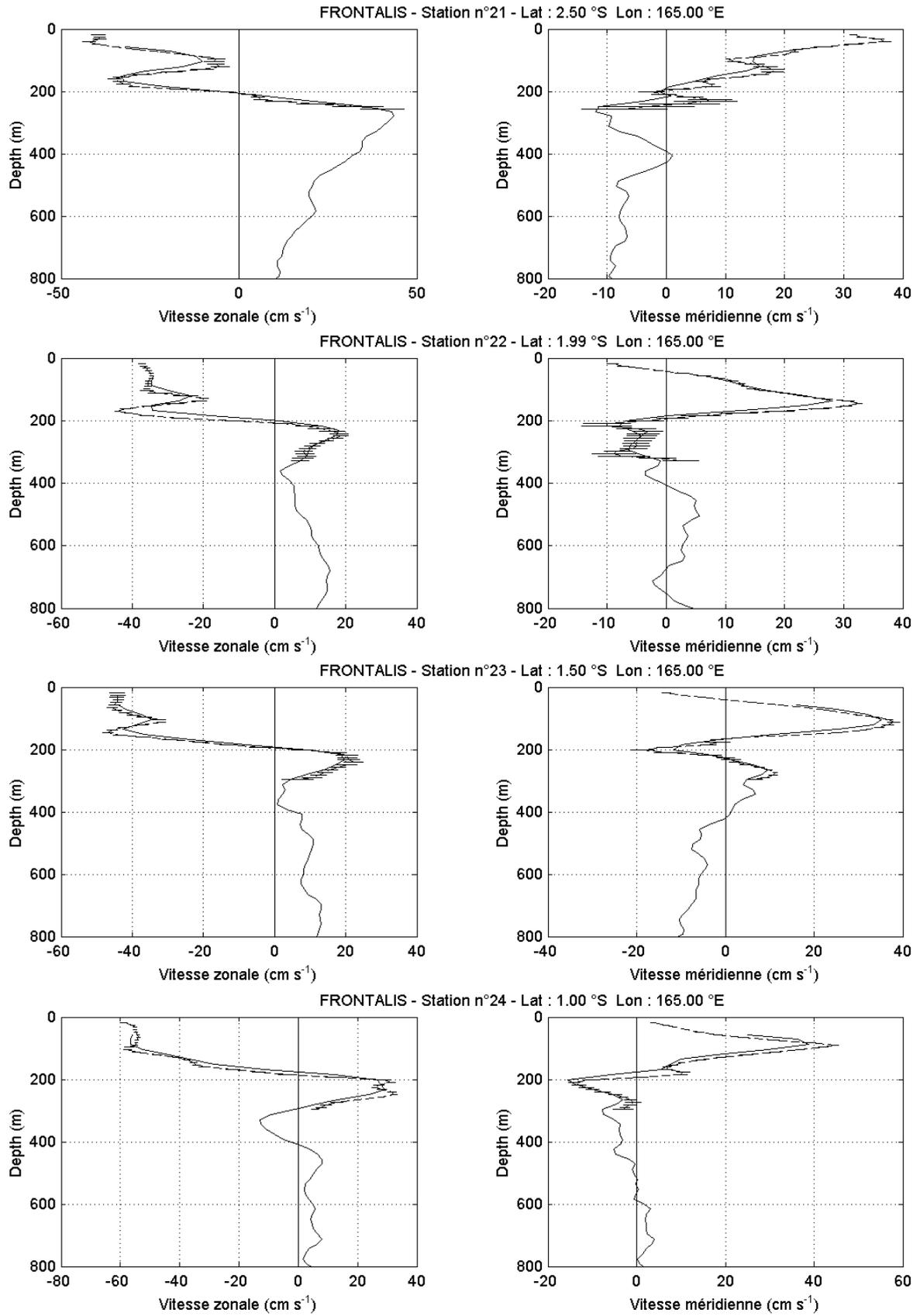


Figure 68 (suite).

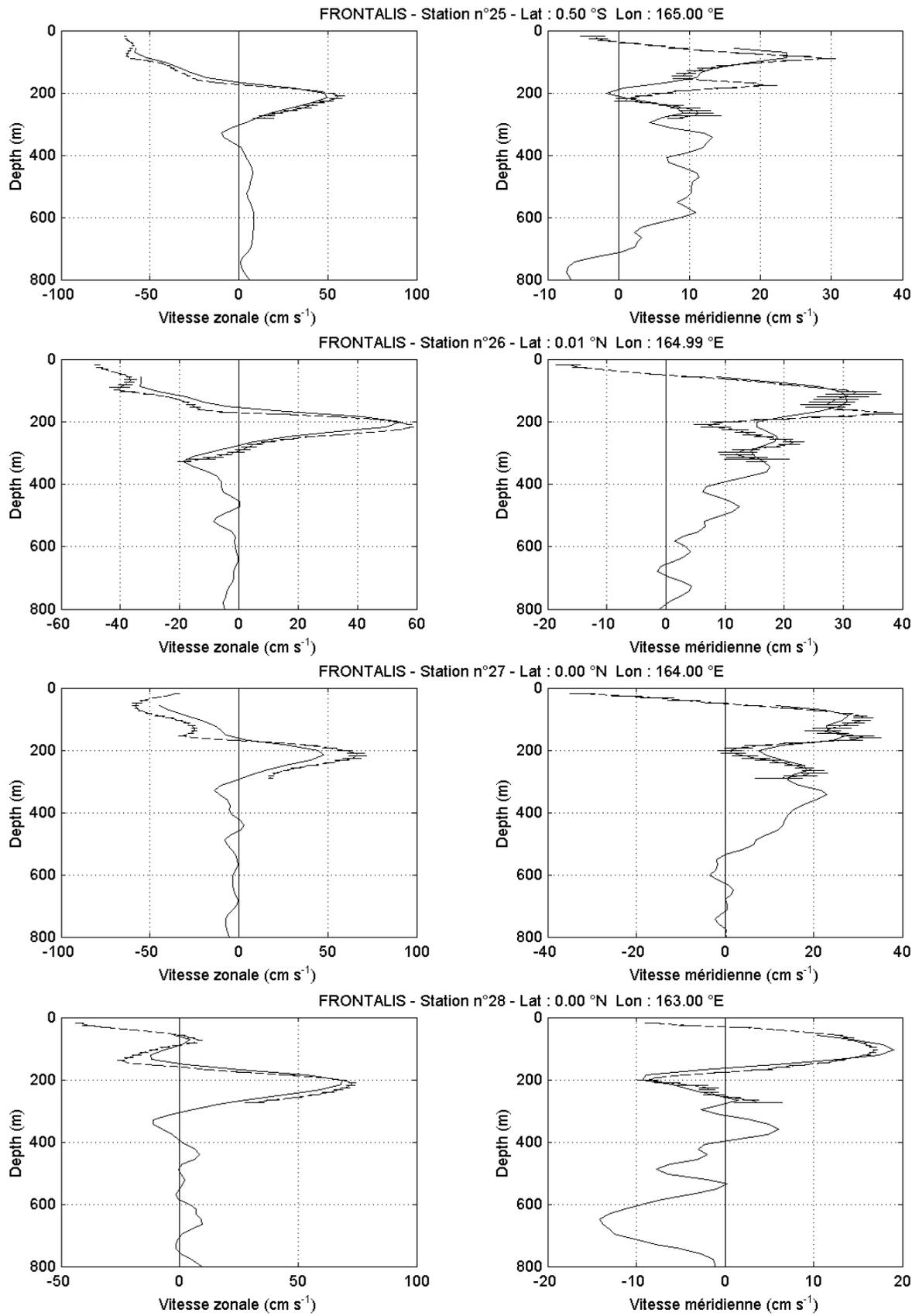


Figure 68 (suite).

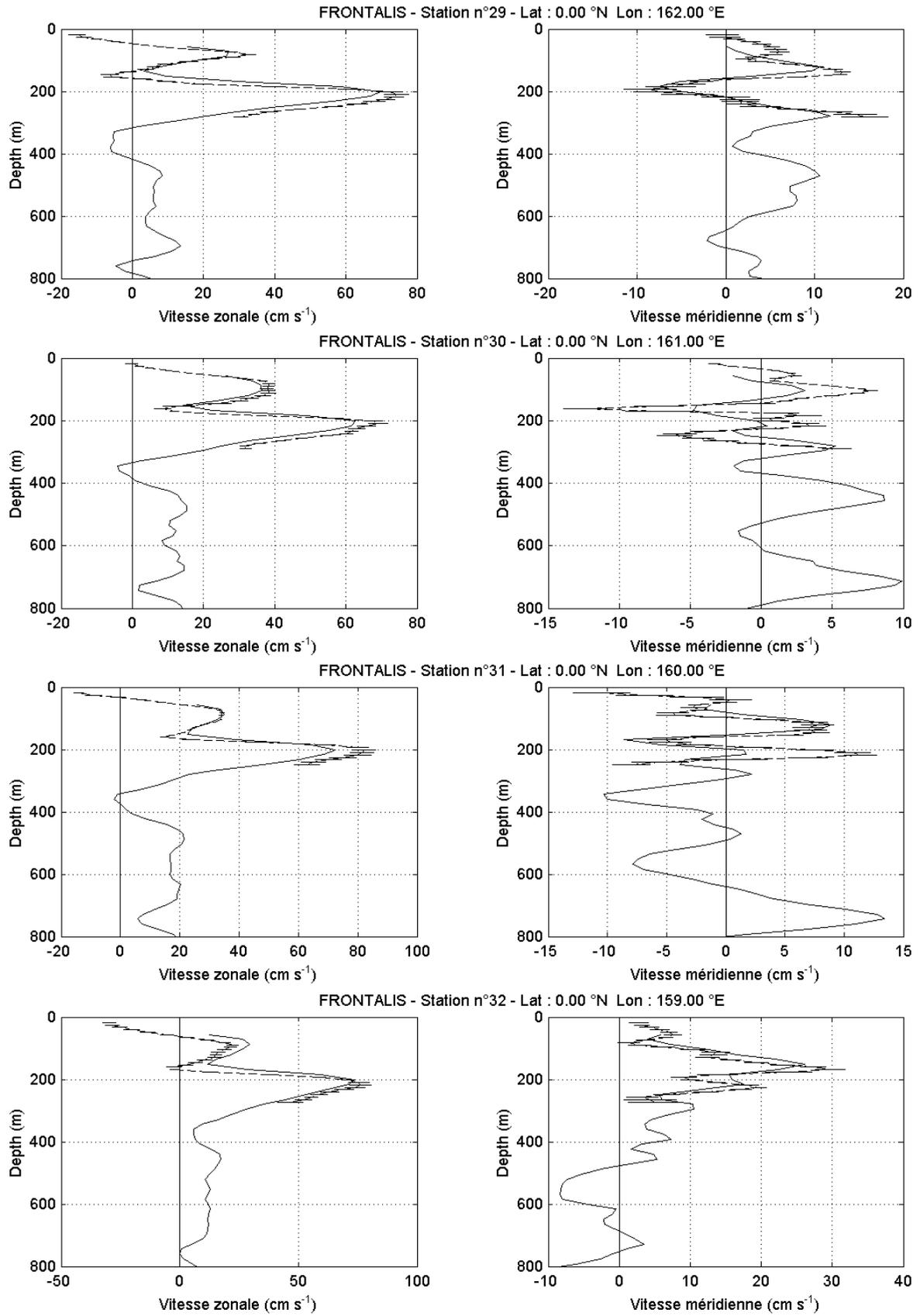


Figure 68 (suite).

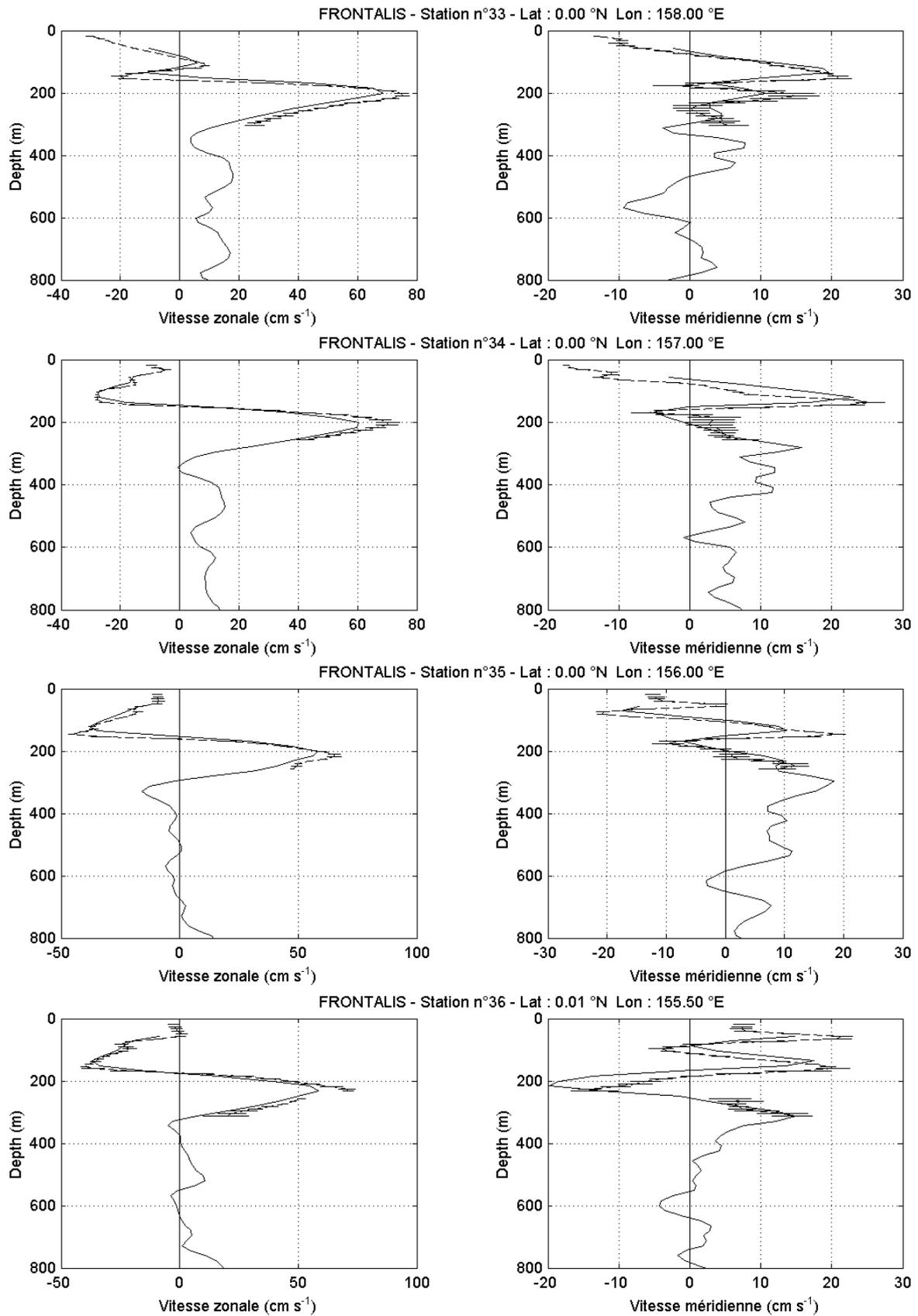


Figure 68 (suite).

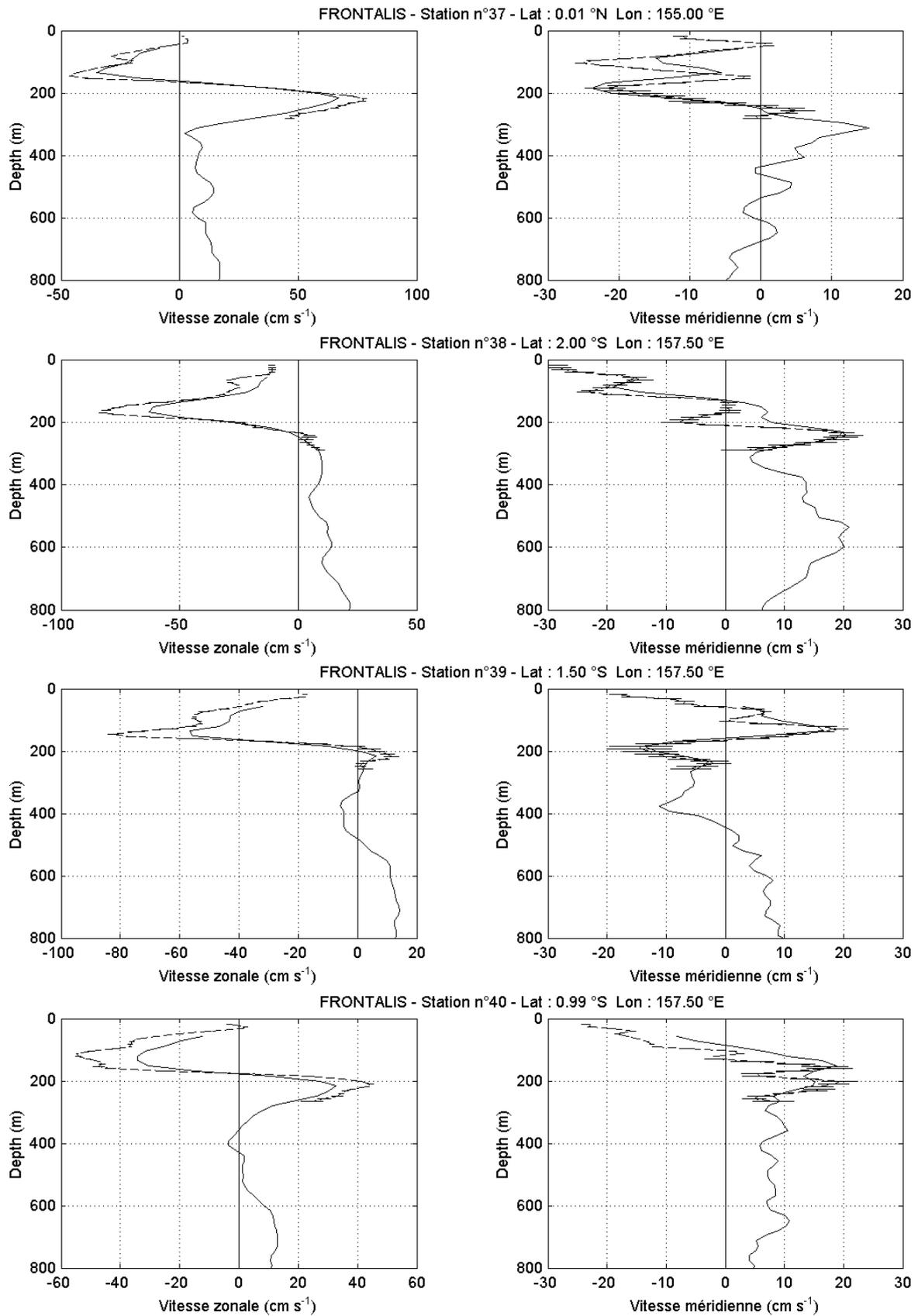


Figure 68 (suite).

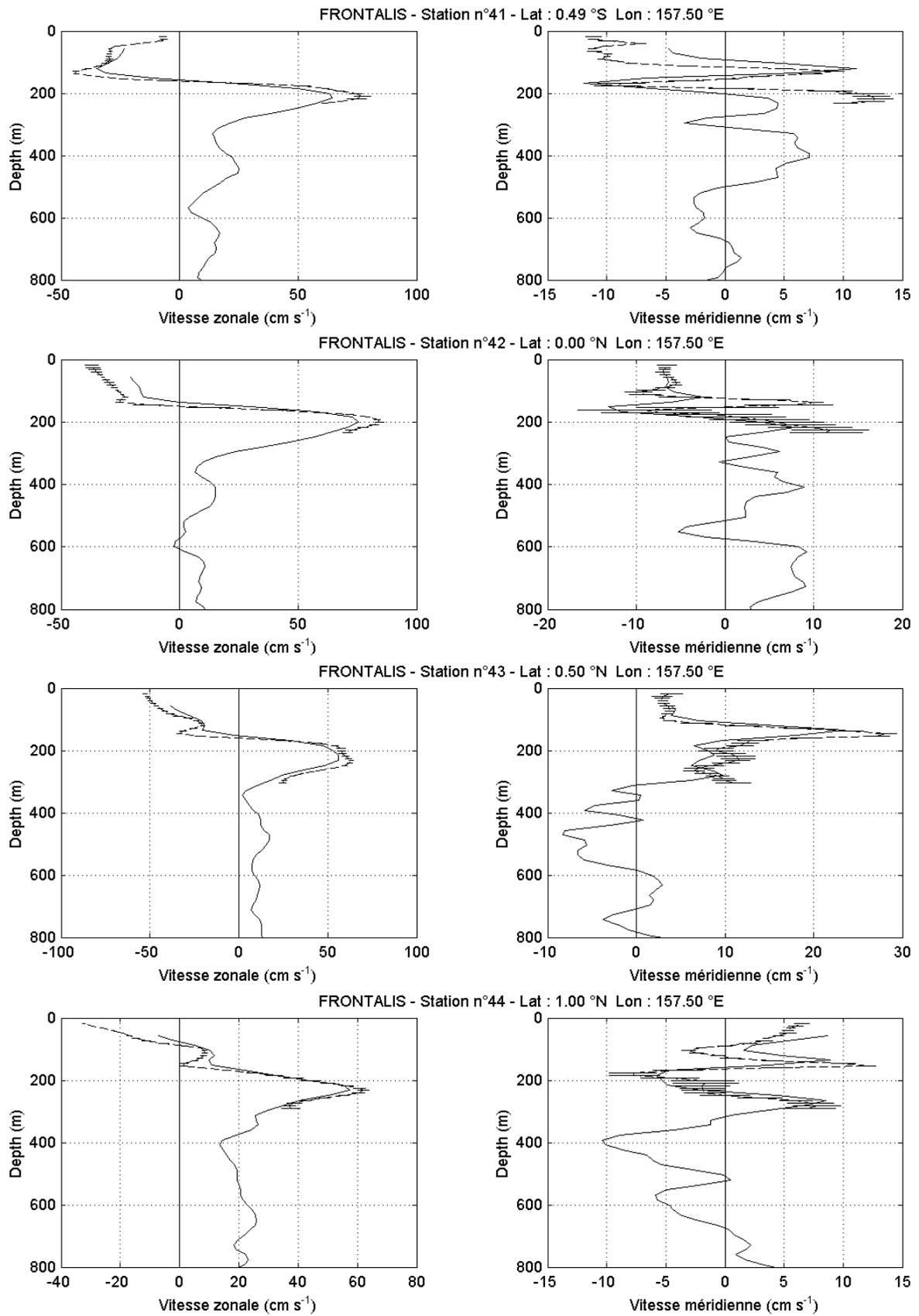


Figure 68 (suite).

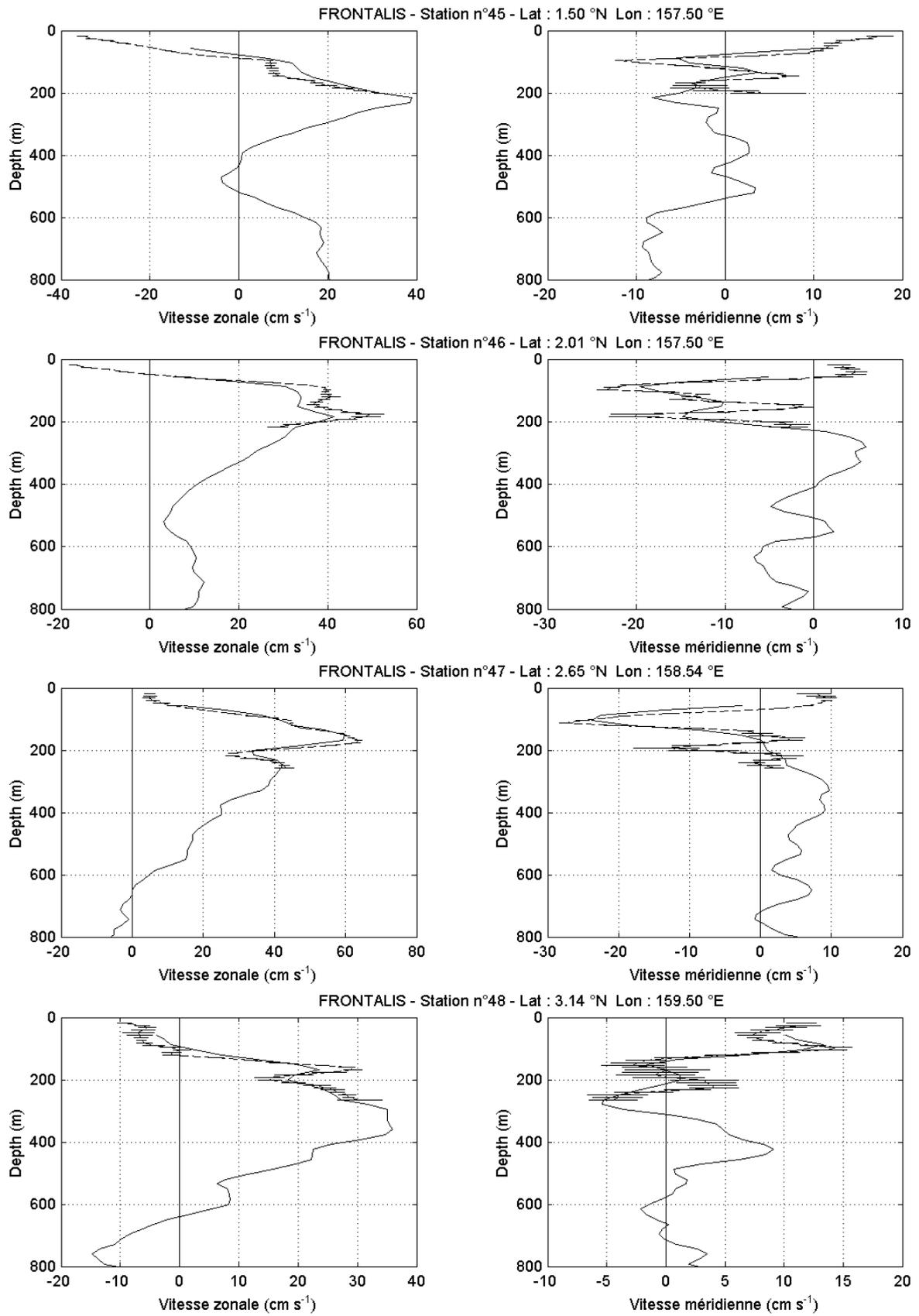


Figure 68 (suite).

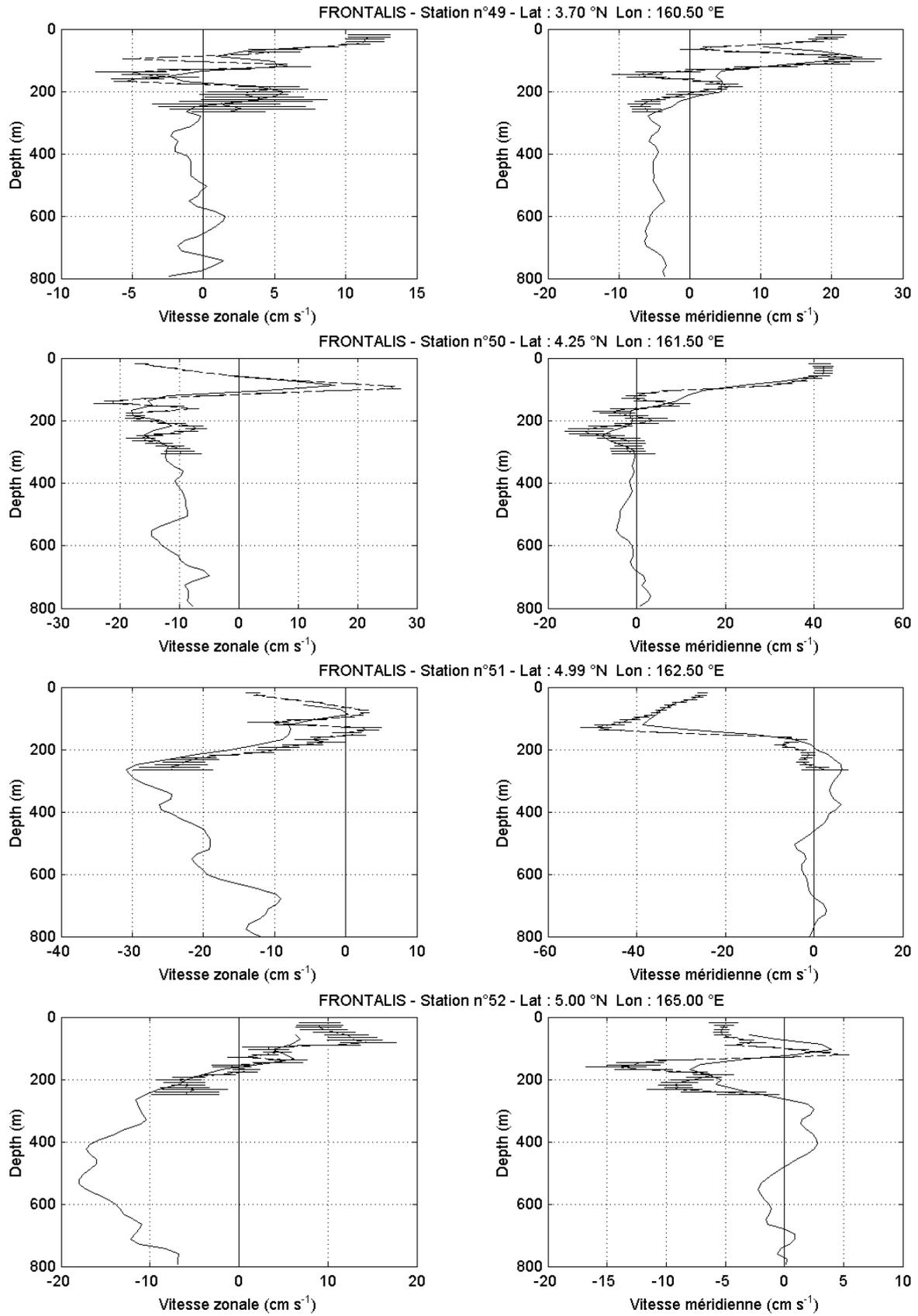


Figure 68 (suite).

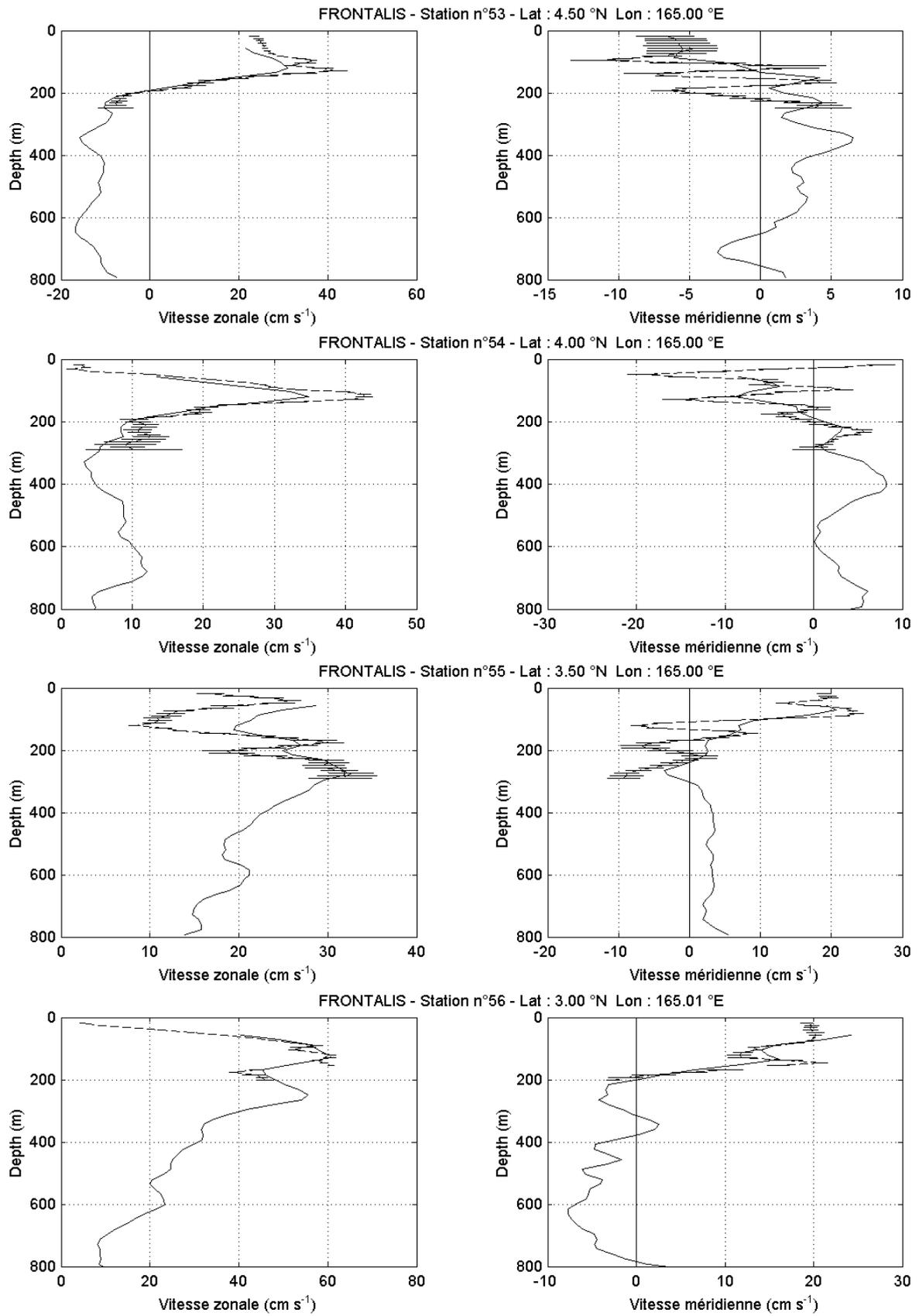


Figure 68 (suite).

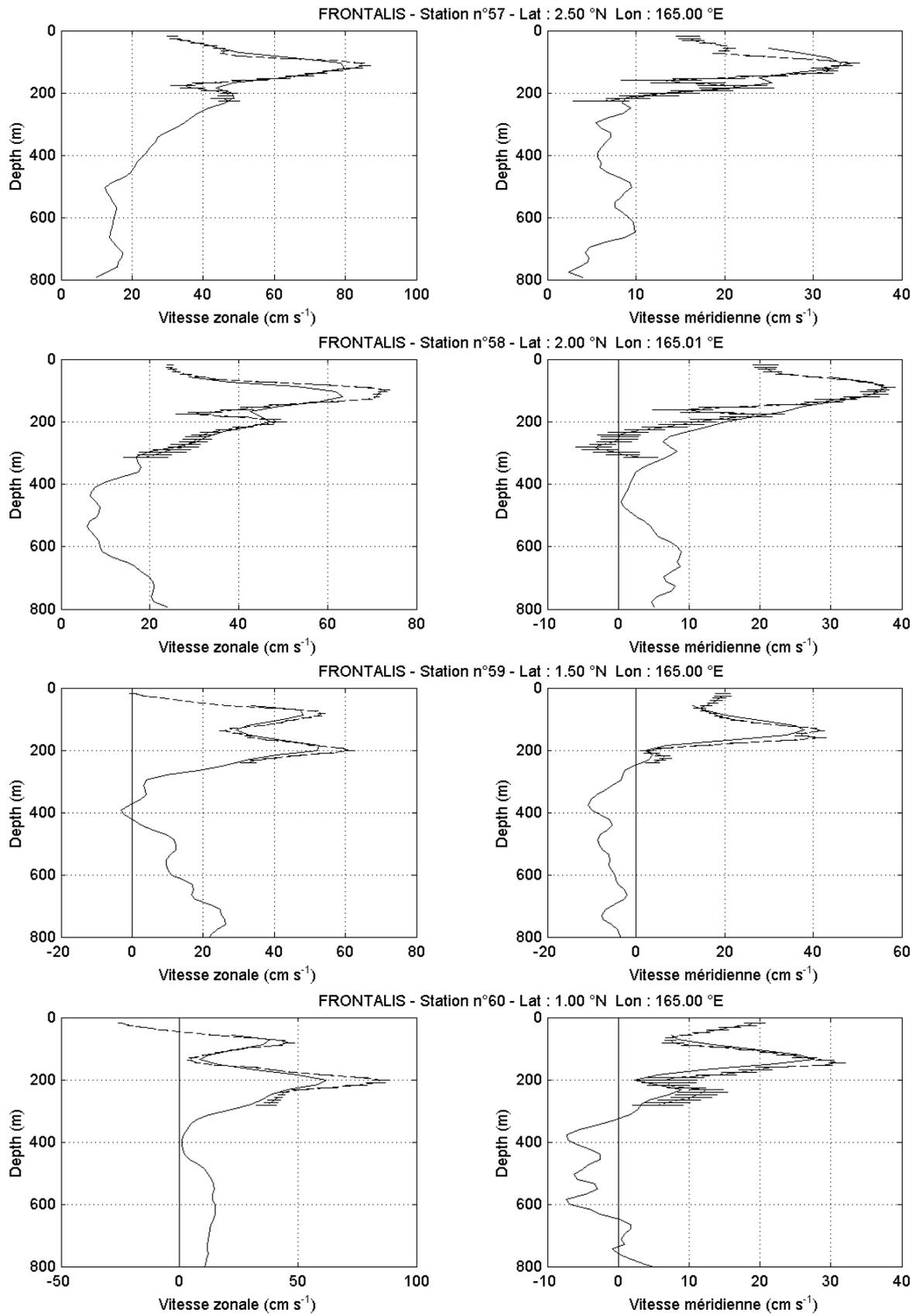


Figure 68 (suite).

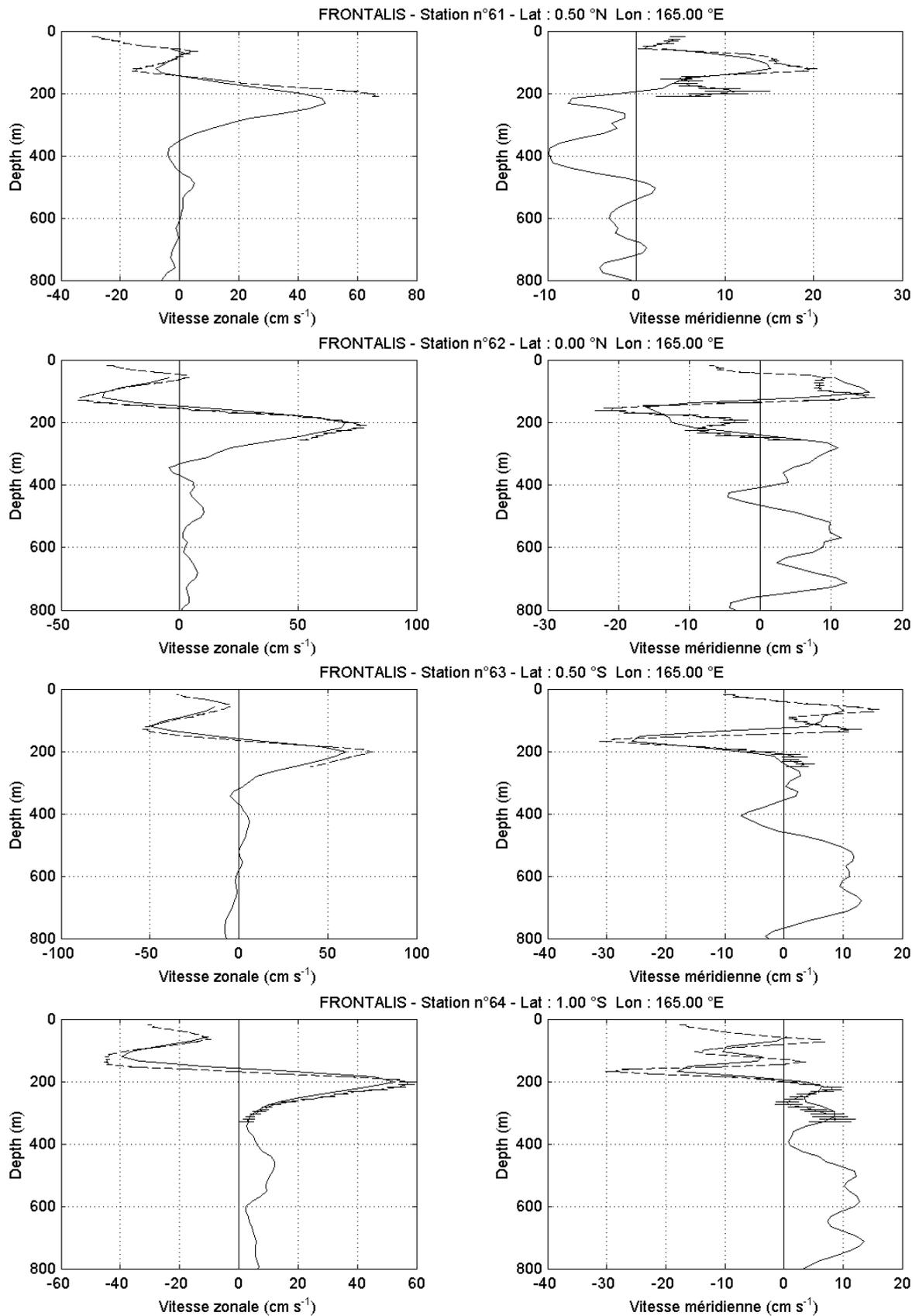


Figure 68 (suite).

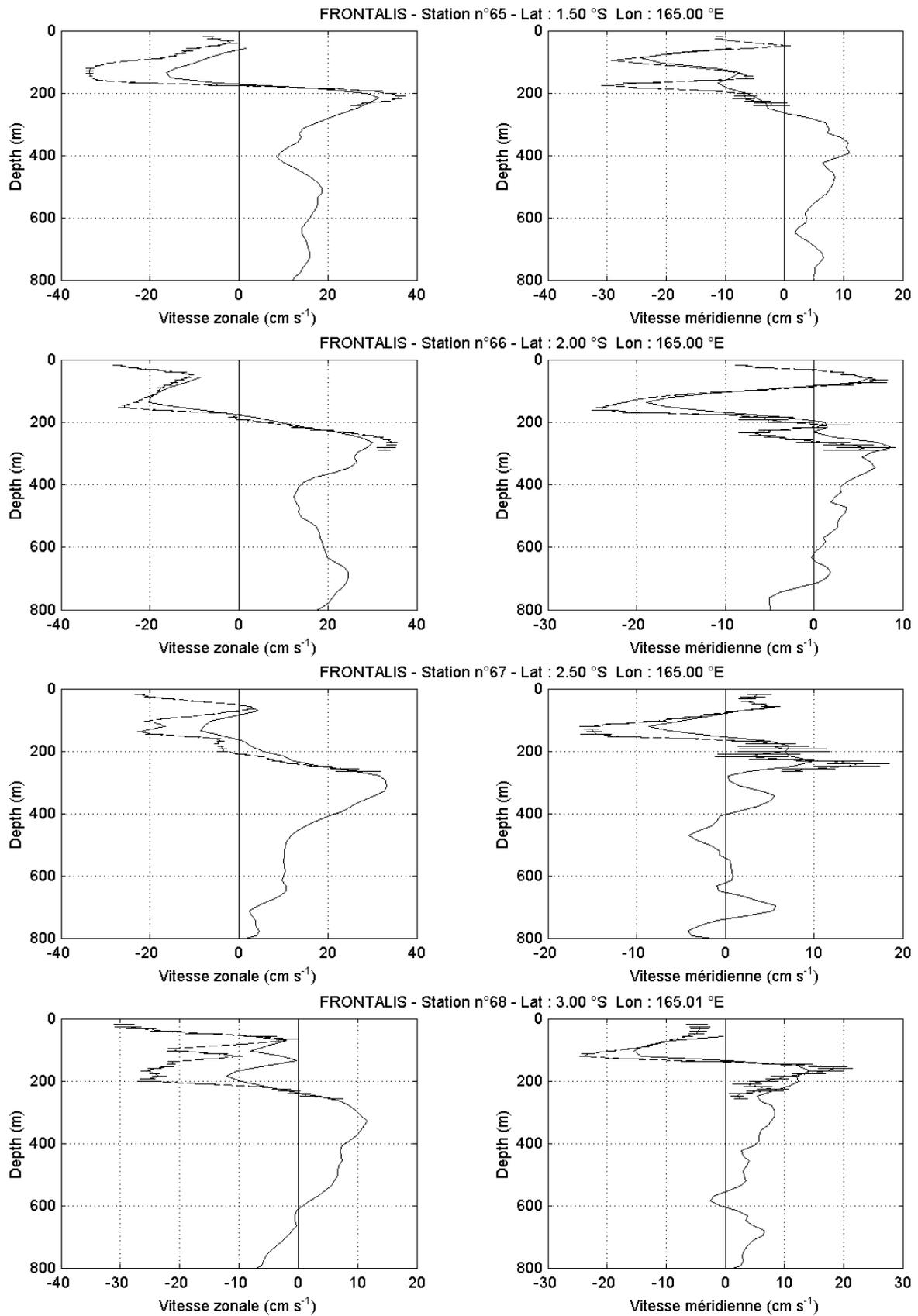


Figure 68 (suite).

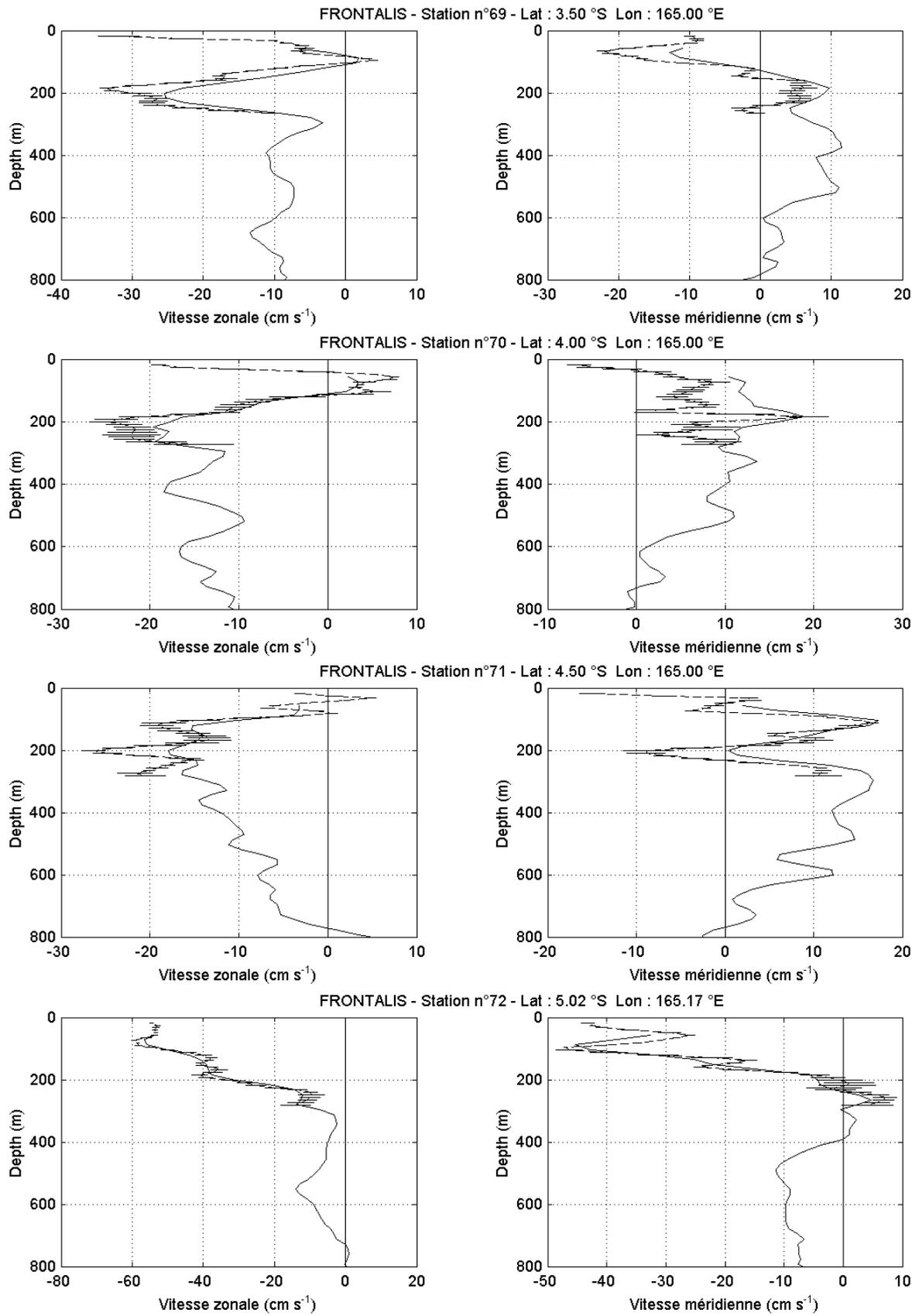


Figure 68 (suite).

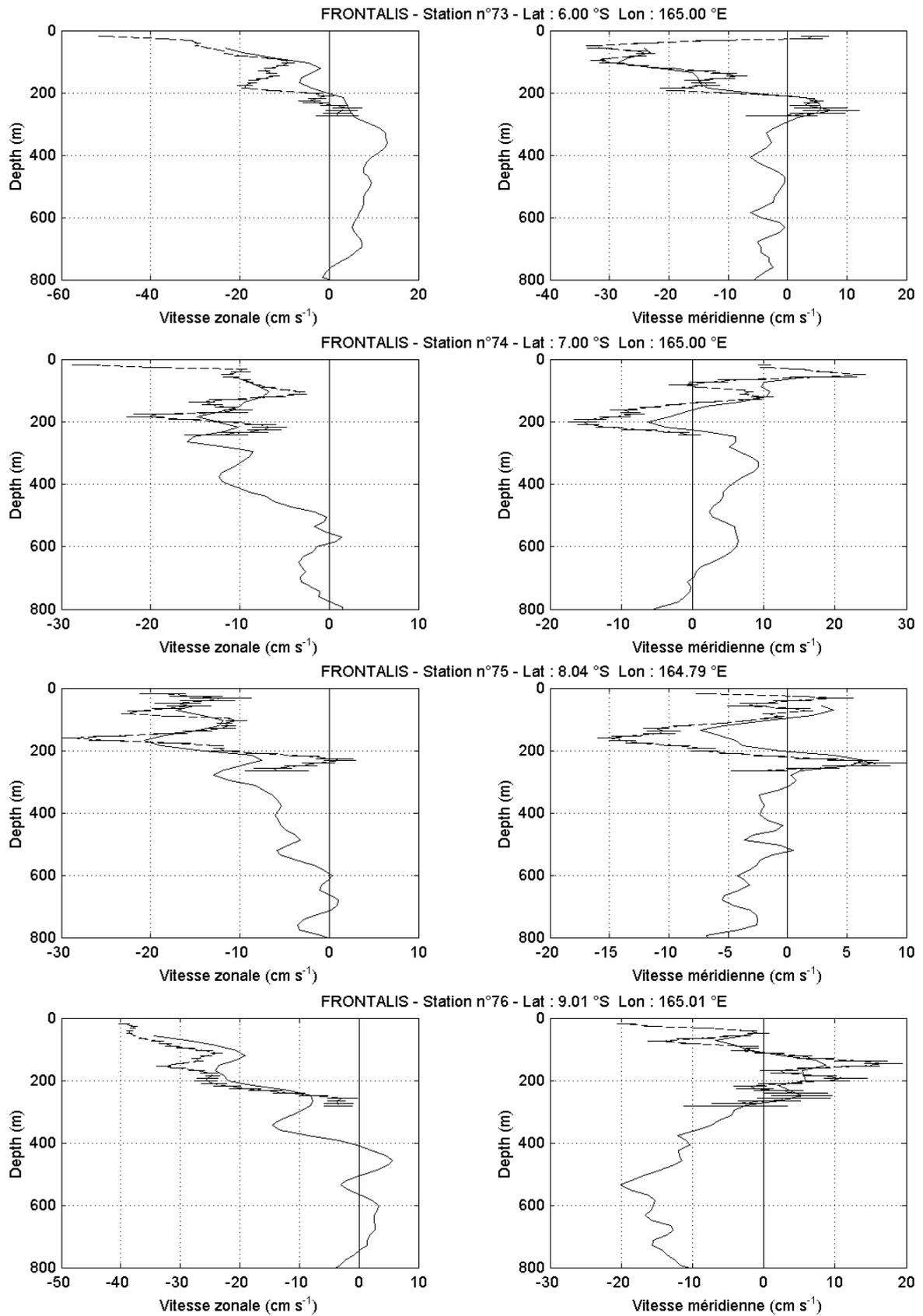


Figure 68 (suite).

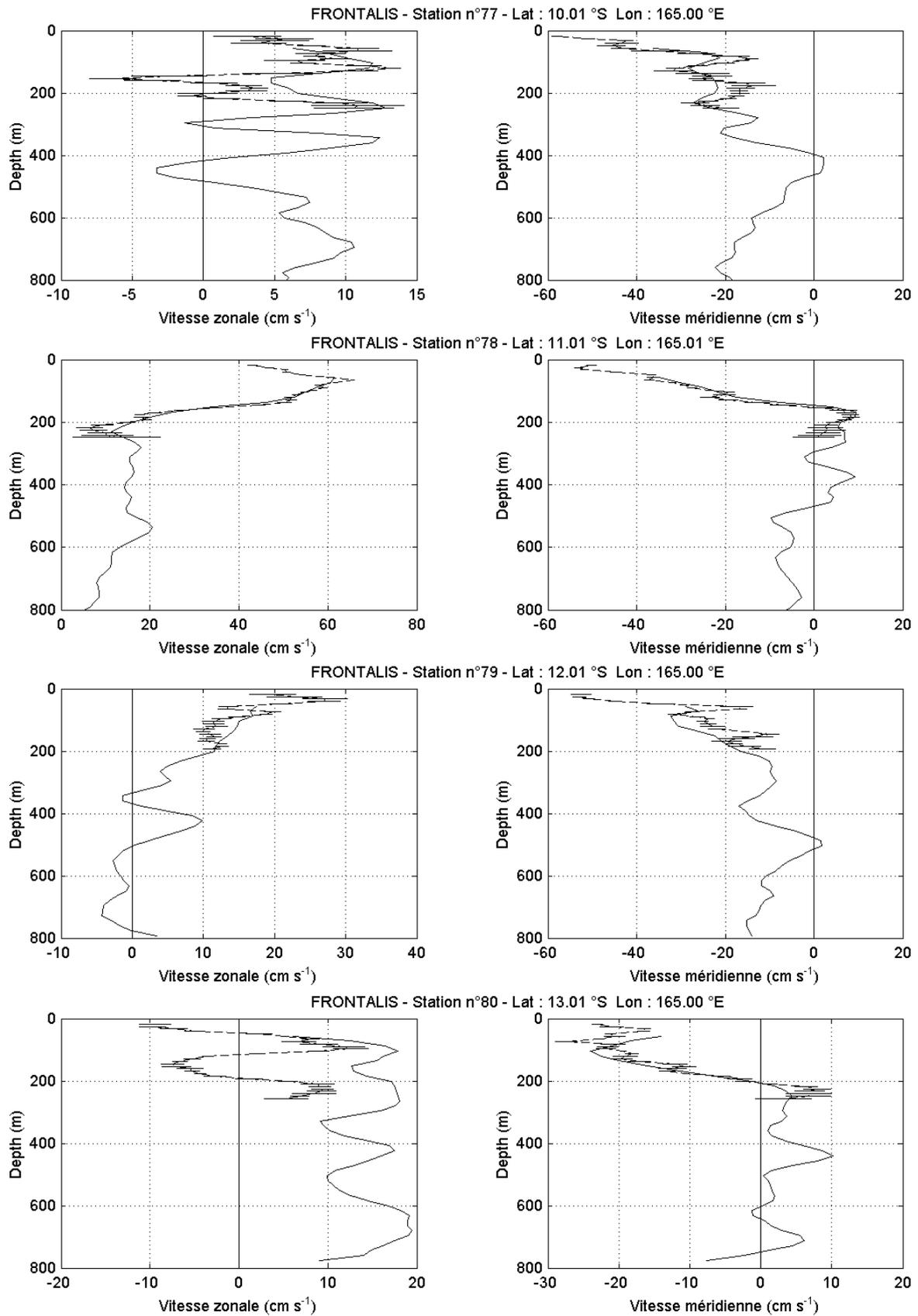


Figure 68 (suite).

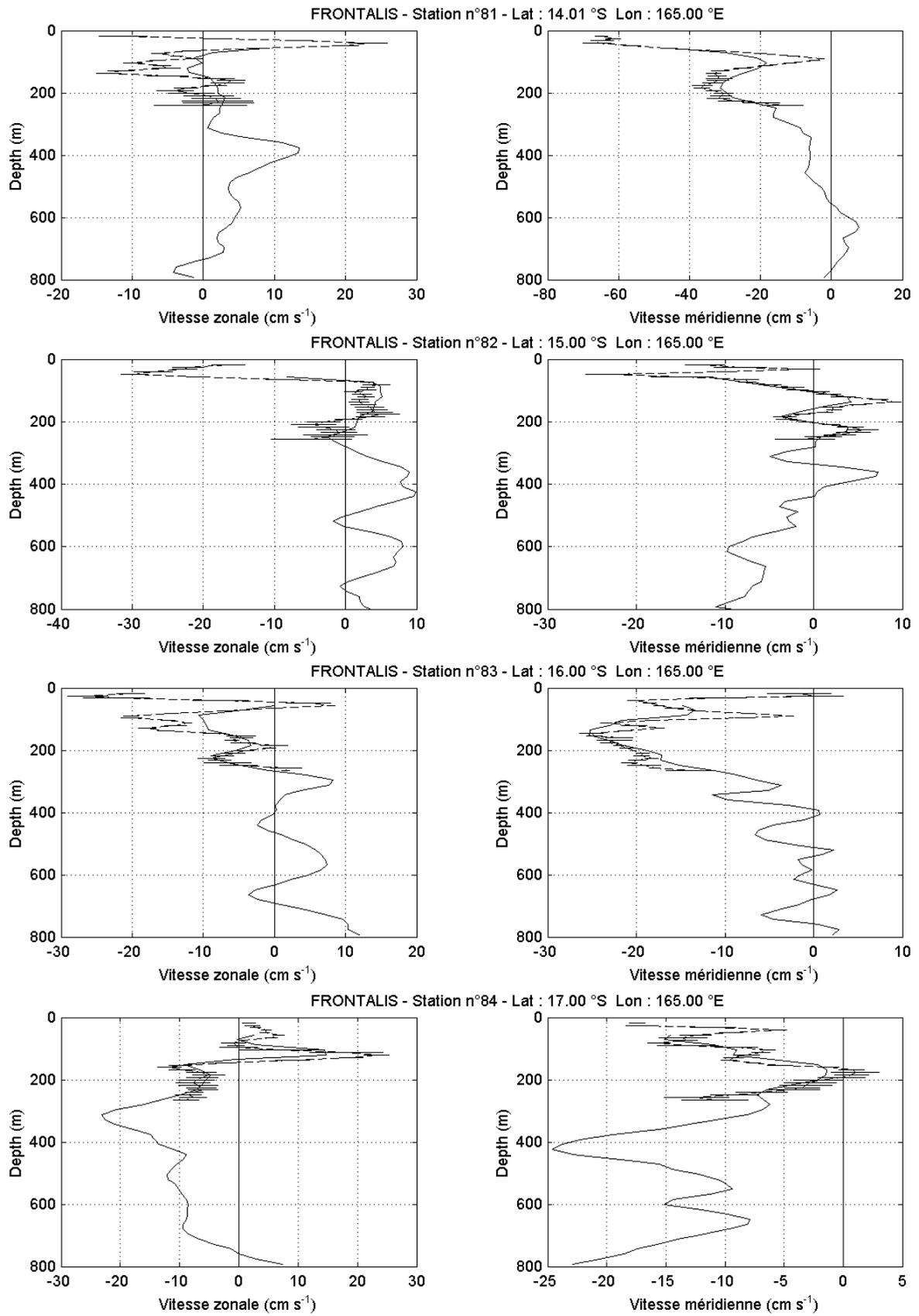


Figure 68 (suite).

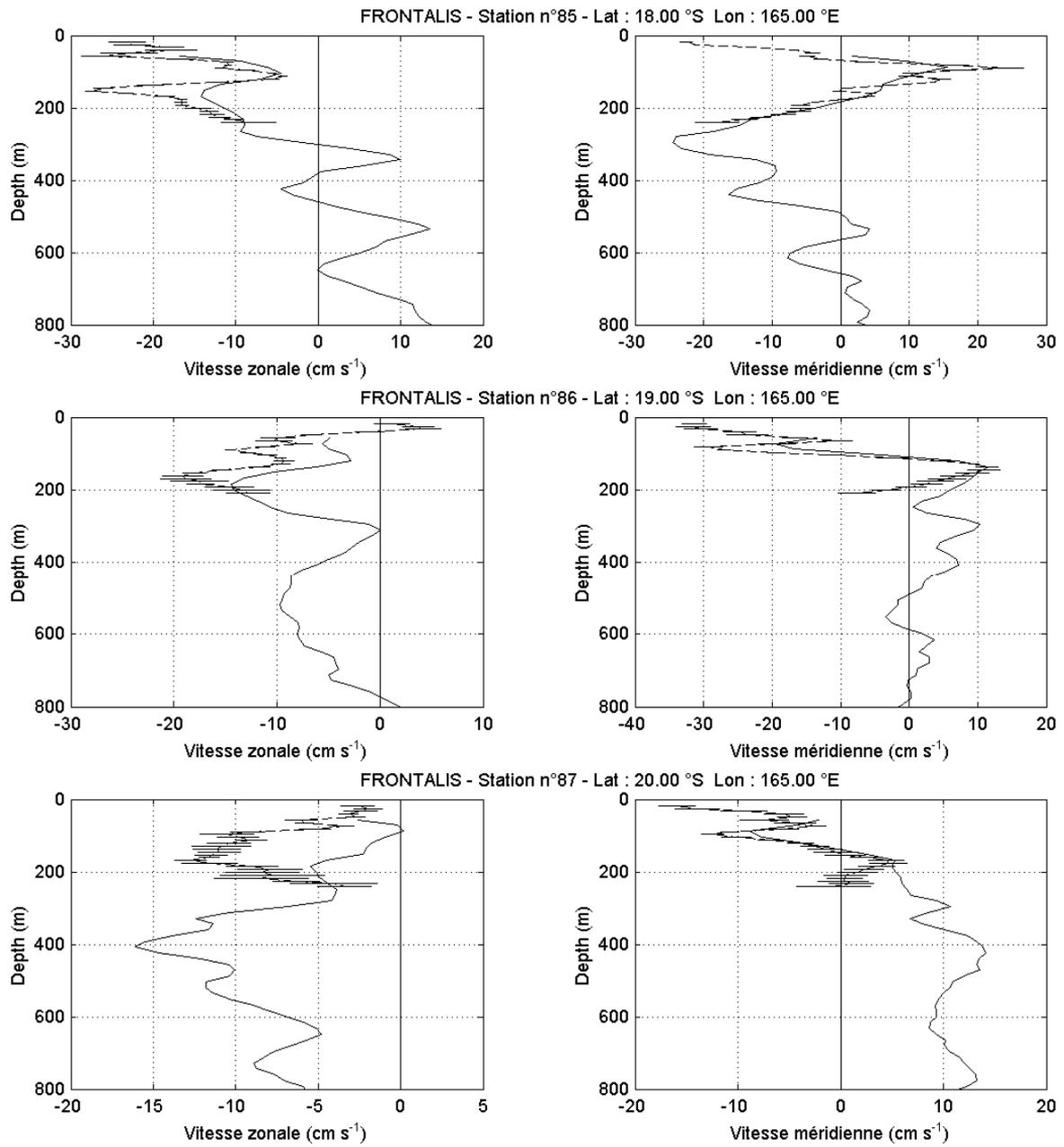


Figure 68 (suite).

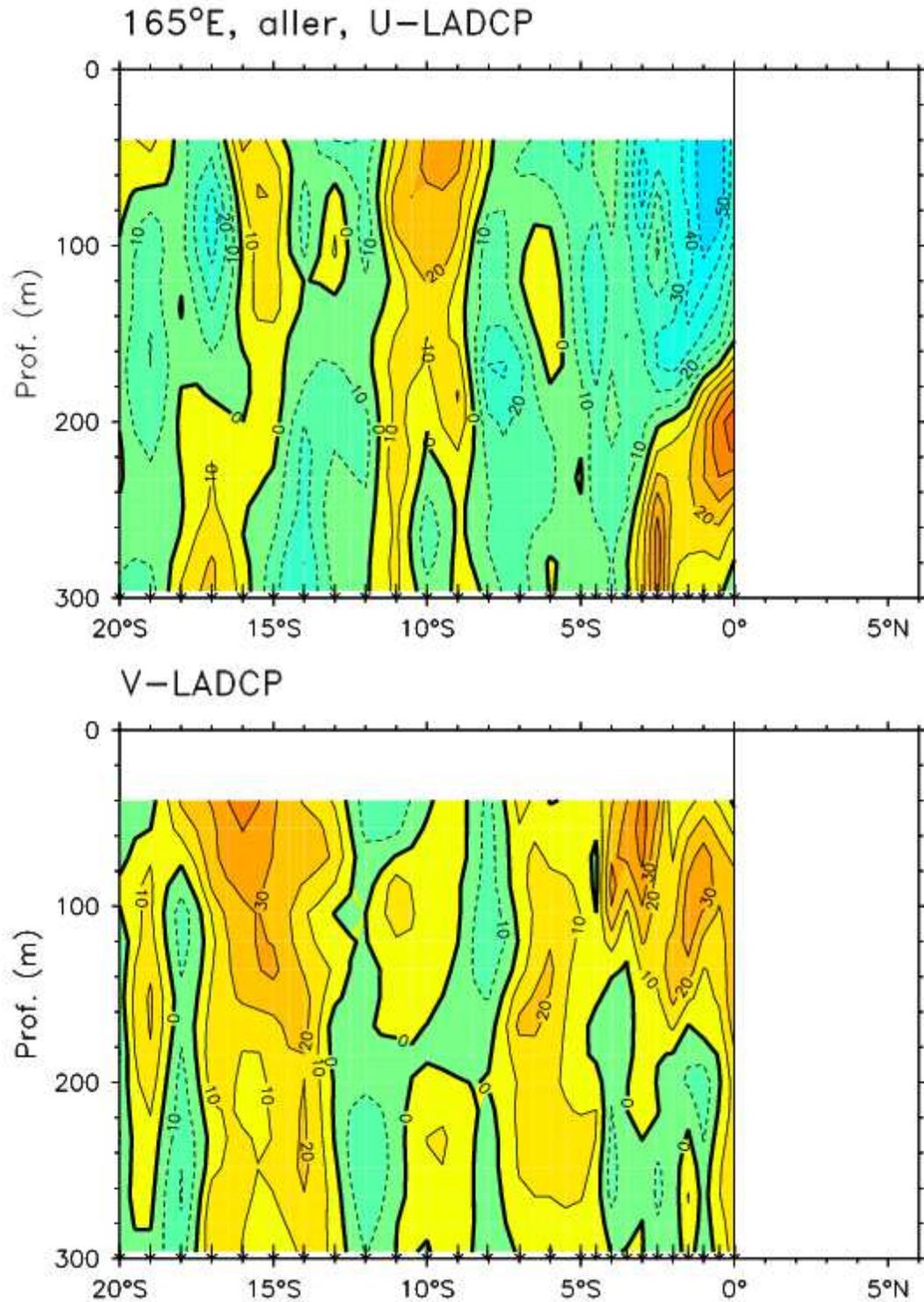


Figure 69: Coupes verticales 0-300 m des composantes zonales et méridiennes du courant mesurées par le LADCP pour la section aller le long de 165°E, de 20°S le 30/03/01 à 0° le 05/04/01. Les valeurs positives désignent des courants U vers l'est et V vers le nord, en cm/s.

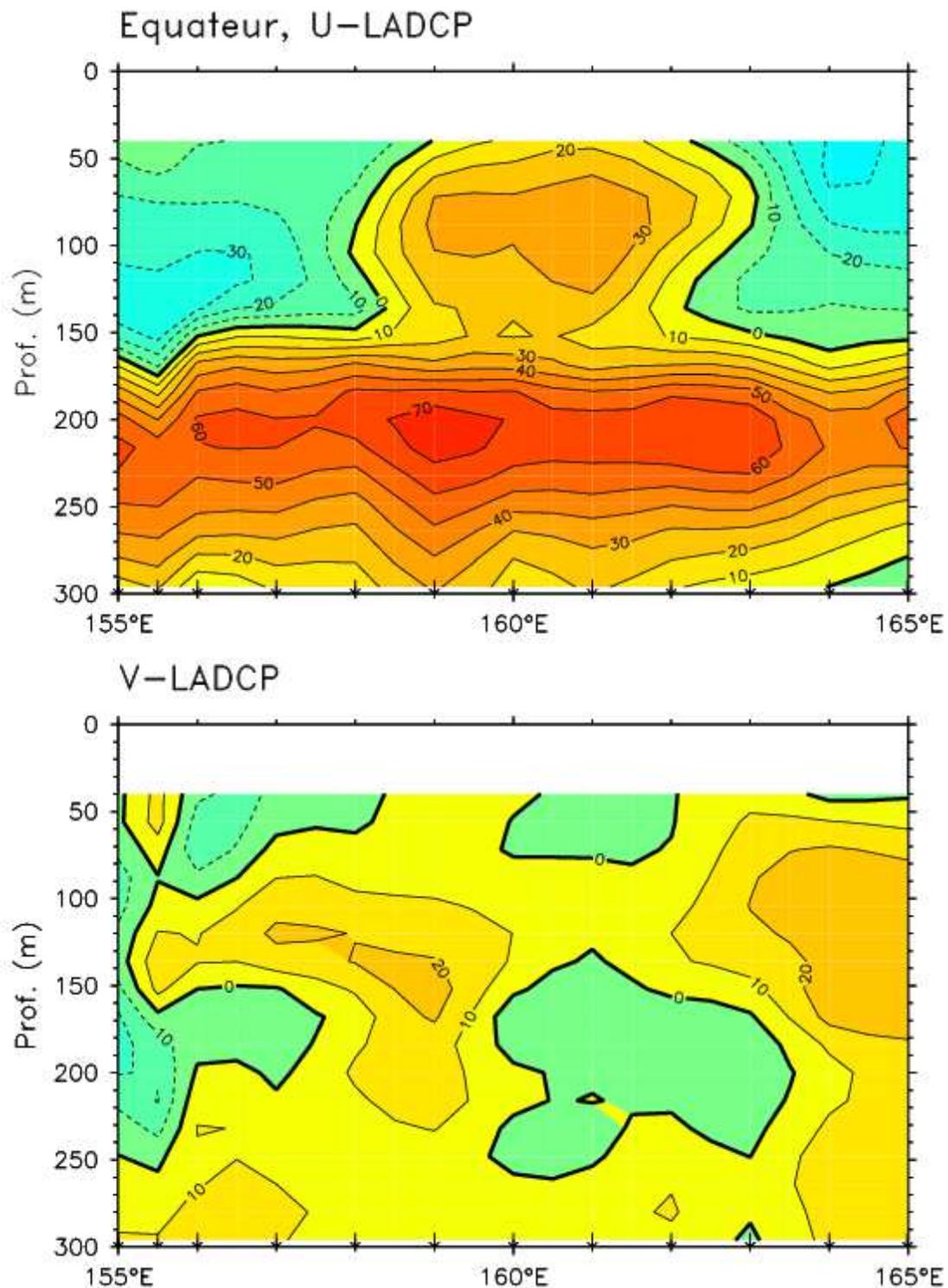


Figure 70: Coupes verticales 0-300 m des composantes zonales et méridiennes du courant mesurées par le LADCP pour la section équatoriale, de 165°E le 05/04/01 à 155° le 09/04/01. Les valeurs positives désignent des courants U vers l'est et V vers le nord, en cm/s.

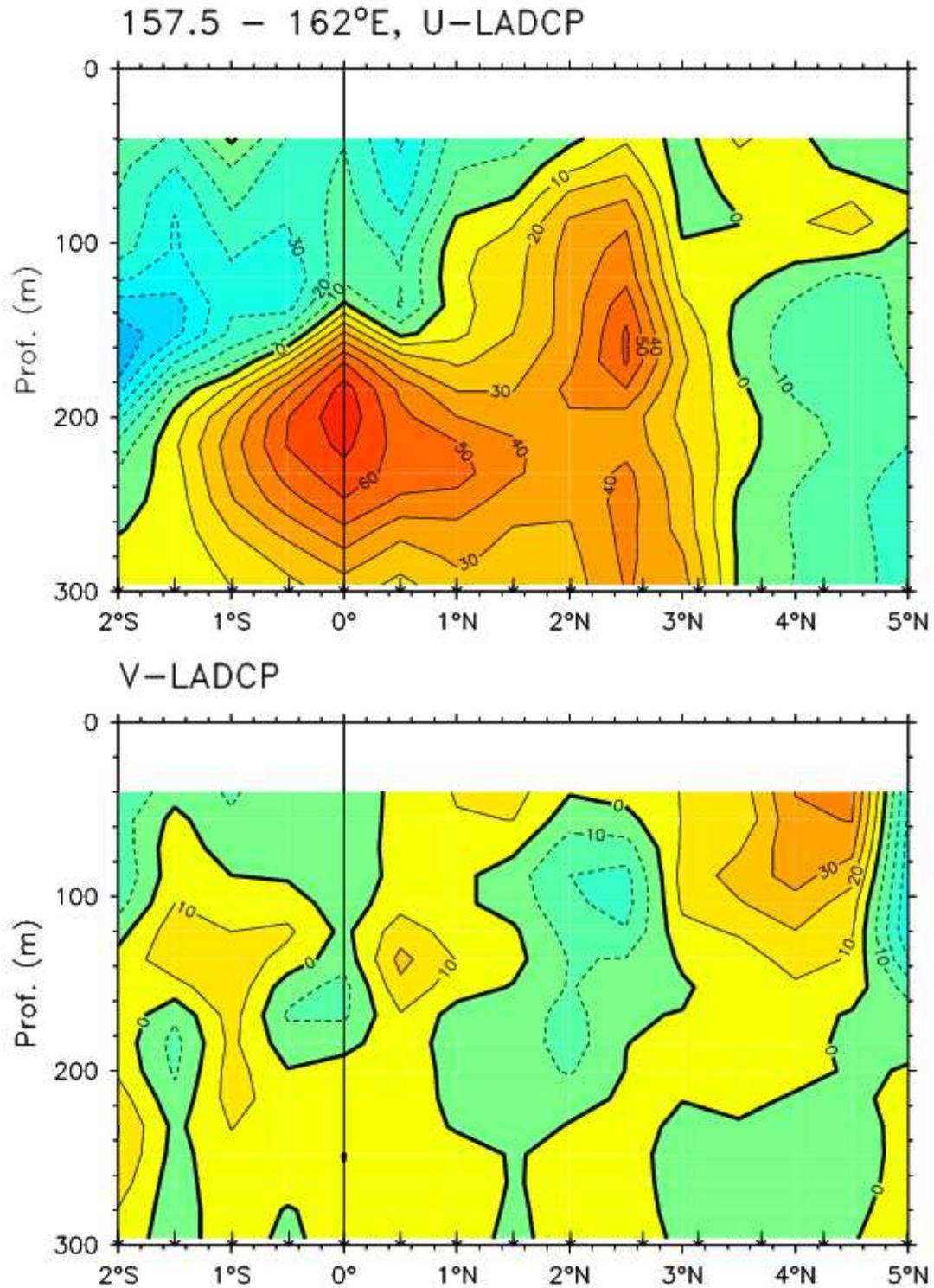


Figure 71: Coupes verticales 0-300 m des composantes zonales et méridiennes du courant mesurées par le LADCP pour la section le long de 157.5°E de 2°S le 10/04/01 à 2°N le 11/04/01, puis pour la section orientée SW-NE de 2°N-157.5°E le 11/04/01 à 5°N-162.5°E le 13/04/01. Les valeurs positives désignent des courants U vers l'est et V vers le nord, en cm/s.

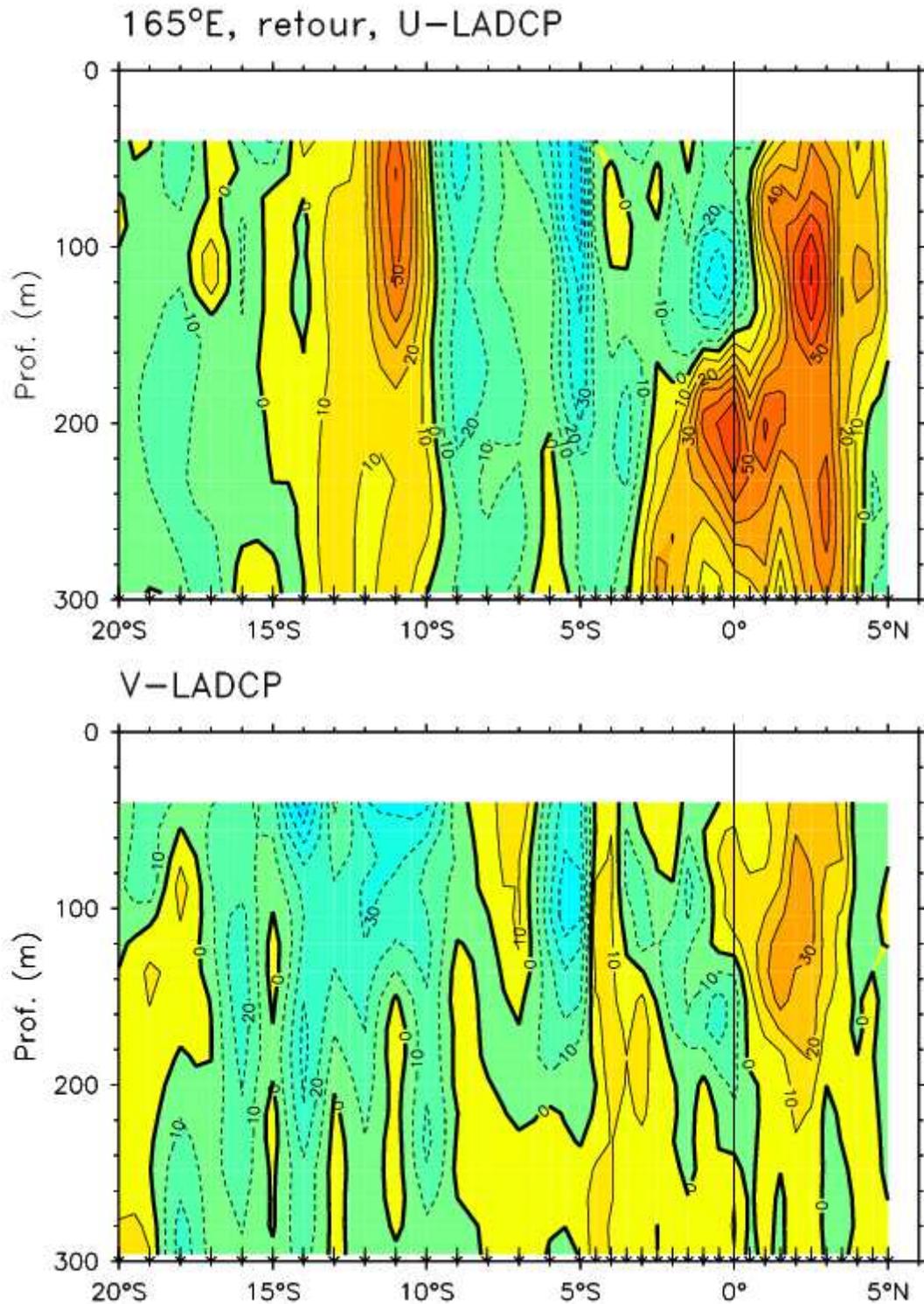


Figure 72: Coupes verticales 0-300 m des composantes zonales et méridiennes du courant mesurées par le LADCP pour la section retour le long de 165°E, de 5°N le 16/04/01 à 20°S le 24/04/01. Les valeurs positives désignent des courants U vers l'est et V vers le nord, en cm/s.

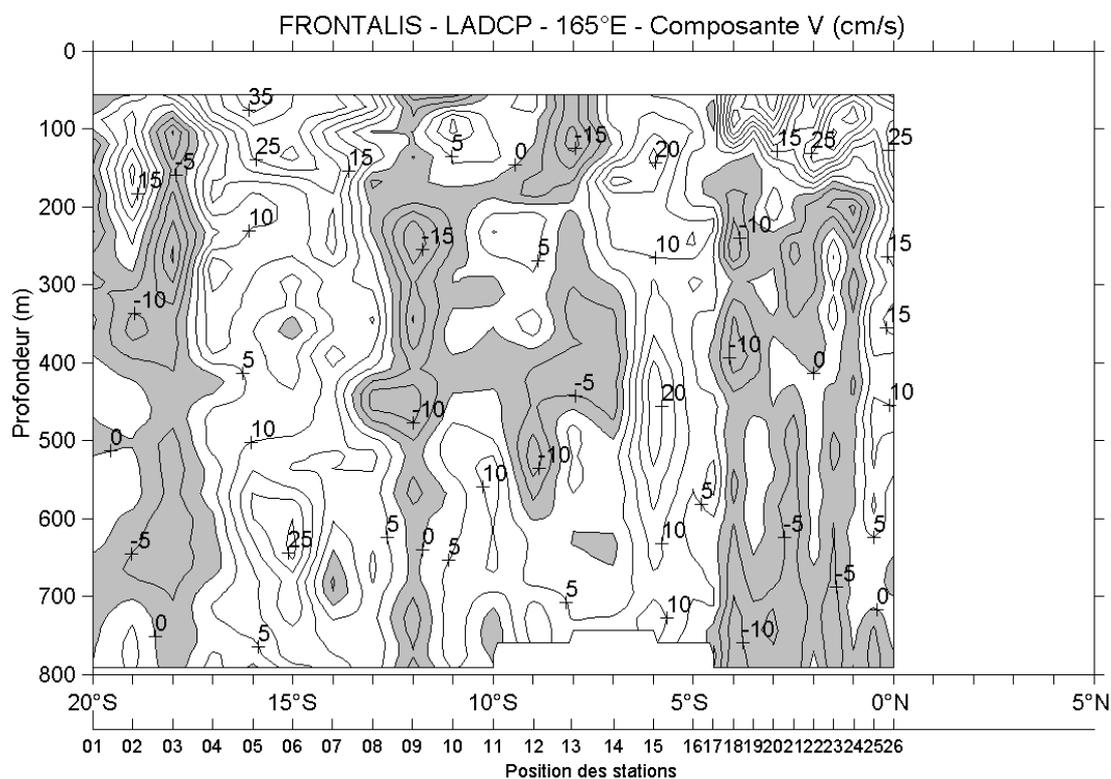
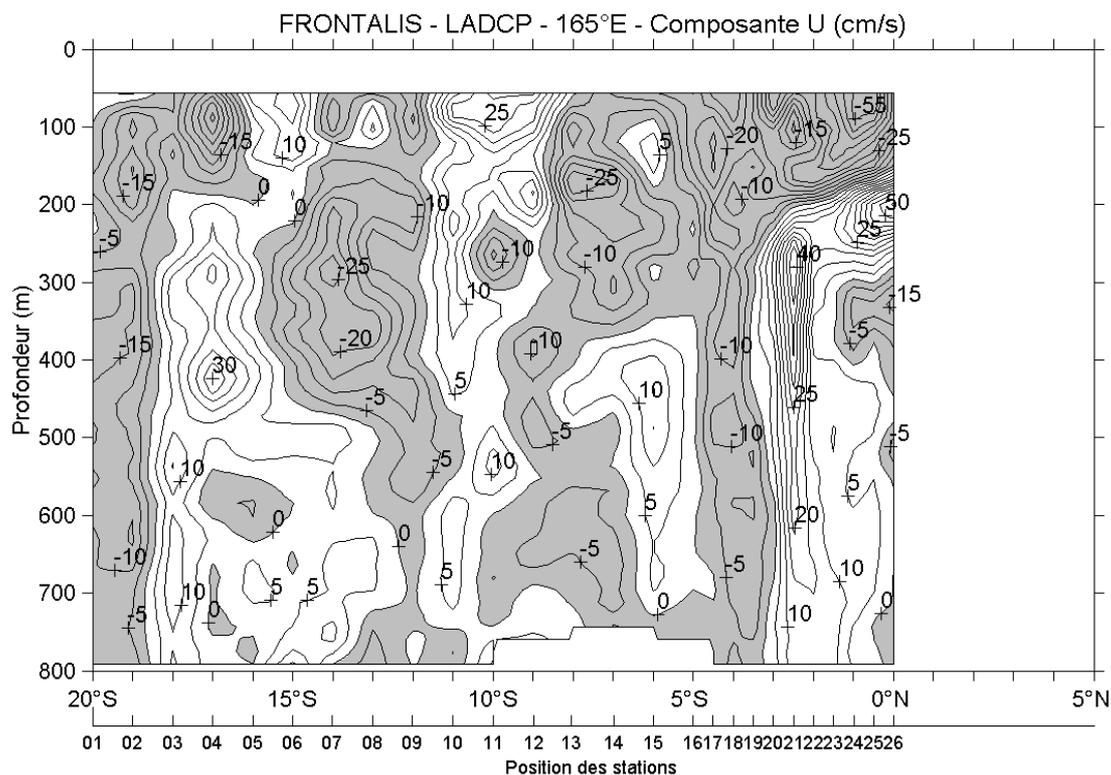


Figure 73: Coupes verticales 0-800 m des composantes zonales et méridiennes du courant mesurées par le LADCP pour la section aller le long de 165°E, de 20°S le 30/03/01 à 0° le 05/04/01. Les valeurs positives désignent des courants U vers l'est et V vers le nord, en cm/s.

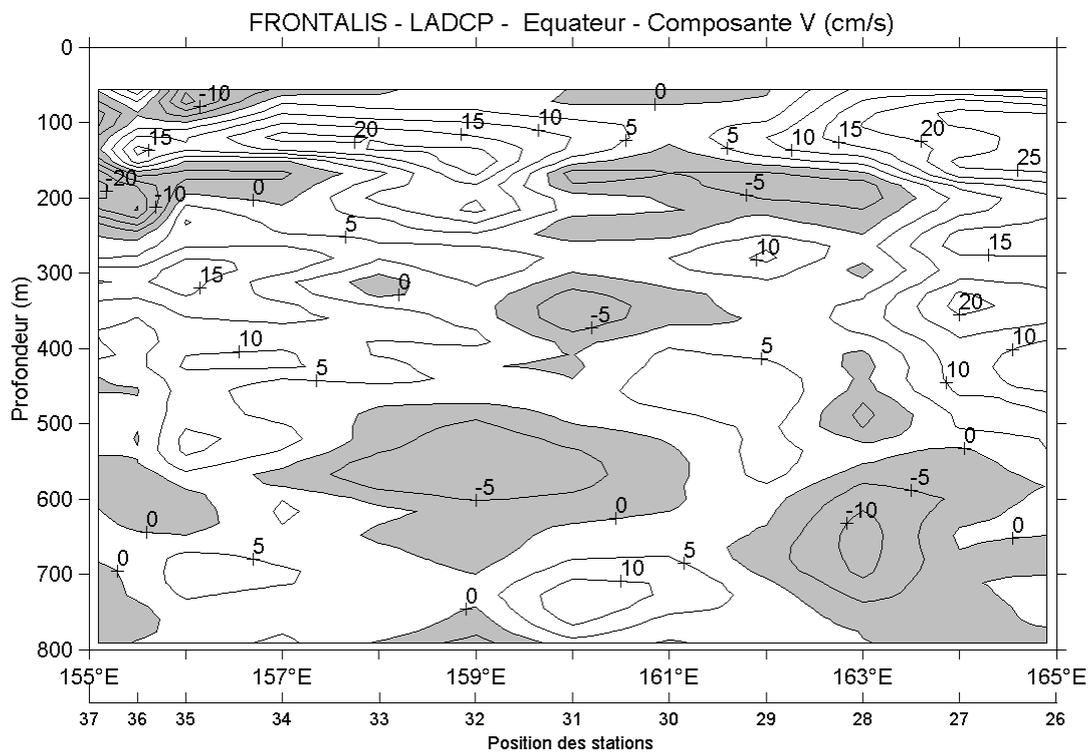
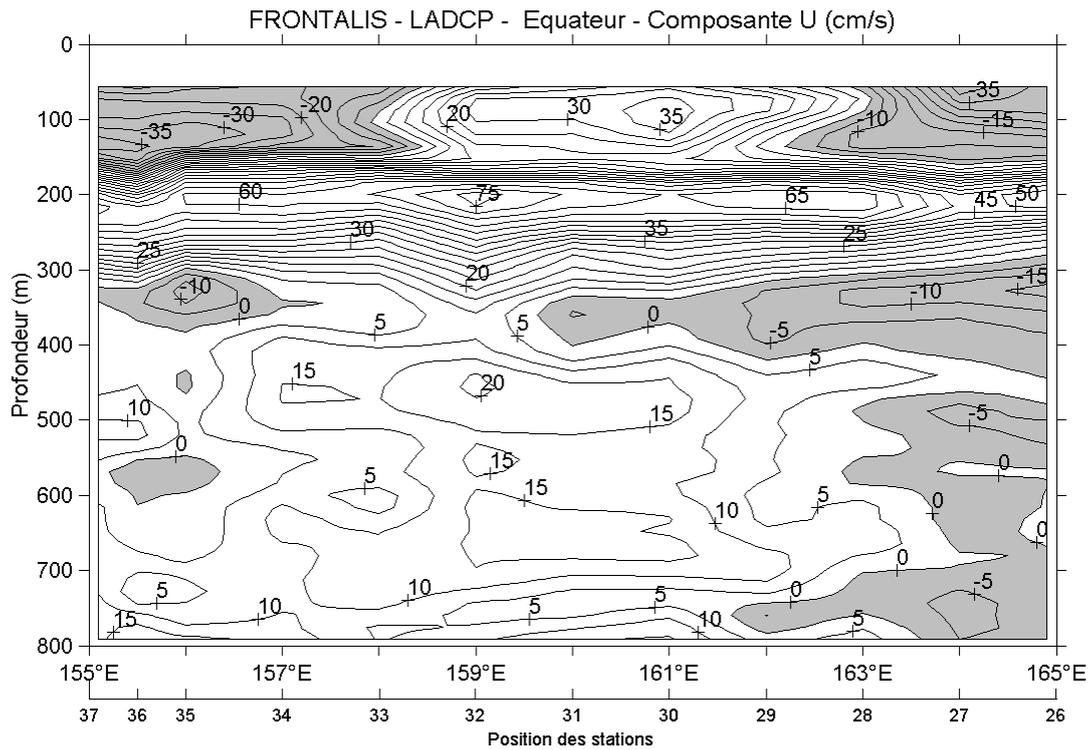


Figure 74: Coupes verticales 0-800 m des composantes zonales et méridiennes du courant mesurées par le LADCP pour la section équatoriale, de 165°E le 05/04/01 à 155°E le 09/04/01. Les valeurs positives désignent des courants U vers l'est et V vers le nord, en cm/s.

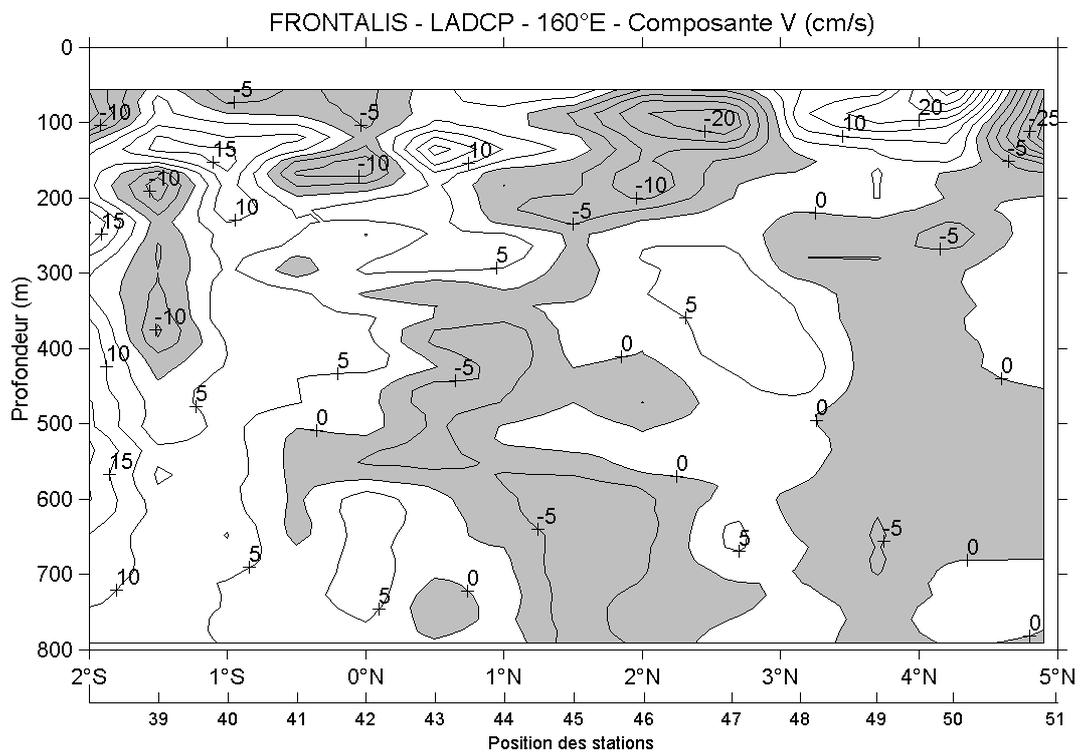
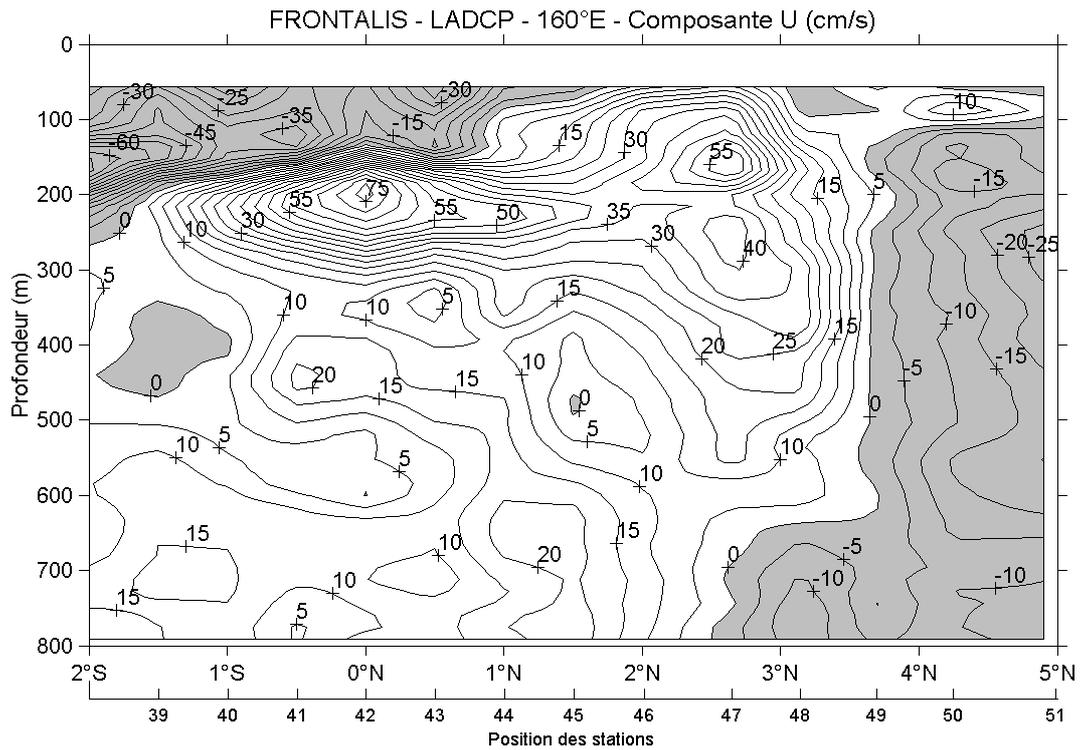


Figure 75: Coupes verticales 0-800 m des composantes zonales et méridiennes du courant mesurées par le LADCP pour la section le long de 157.5°E de 2°S le 10/04/01 à 2°N le 11/04/01, puis pour la section orientée SW-NE de 2°N-157.5°E le 11/04/01 à 5°N-162.5°E le 13/04/01. Les valeurs positives désignent des courants U vers l'est et V vers le nord, en cm/s.

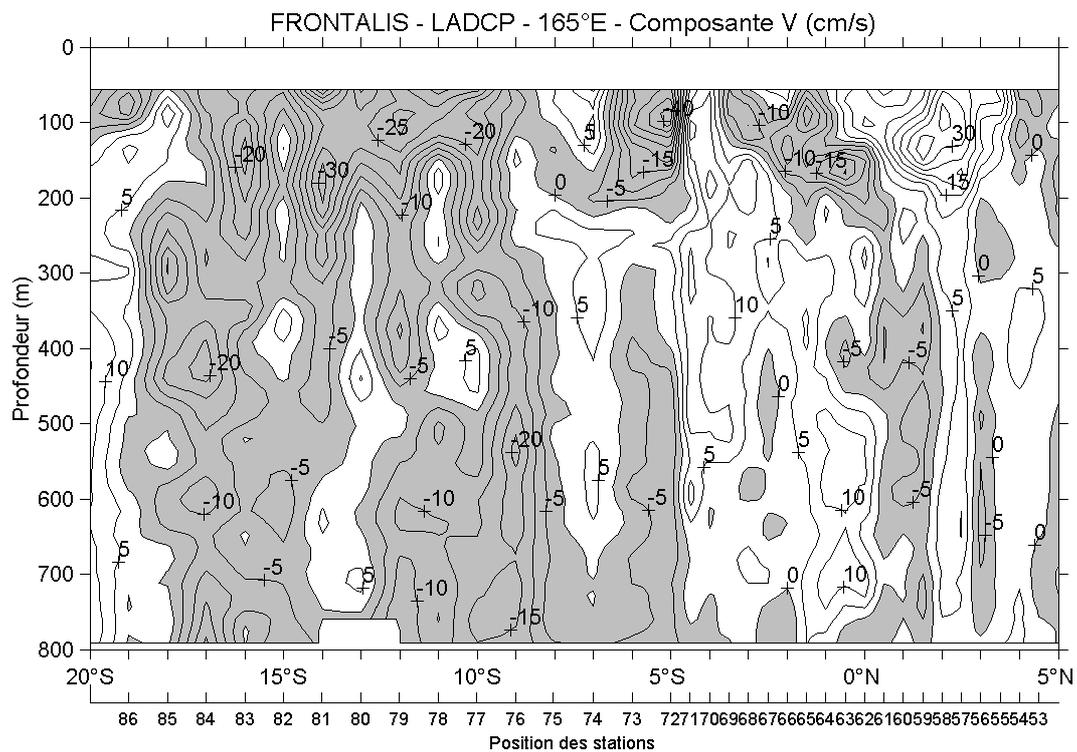
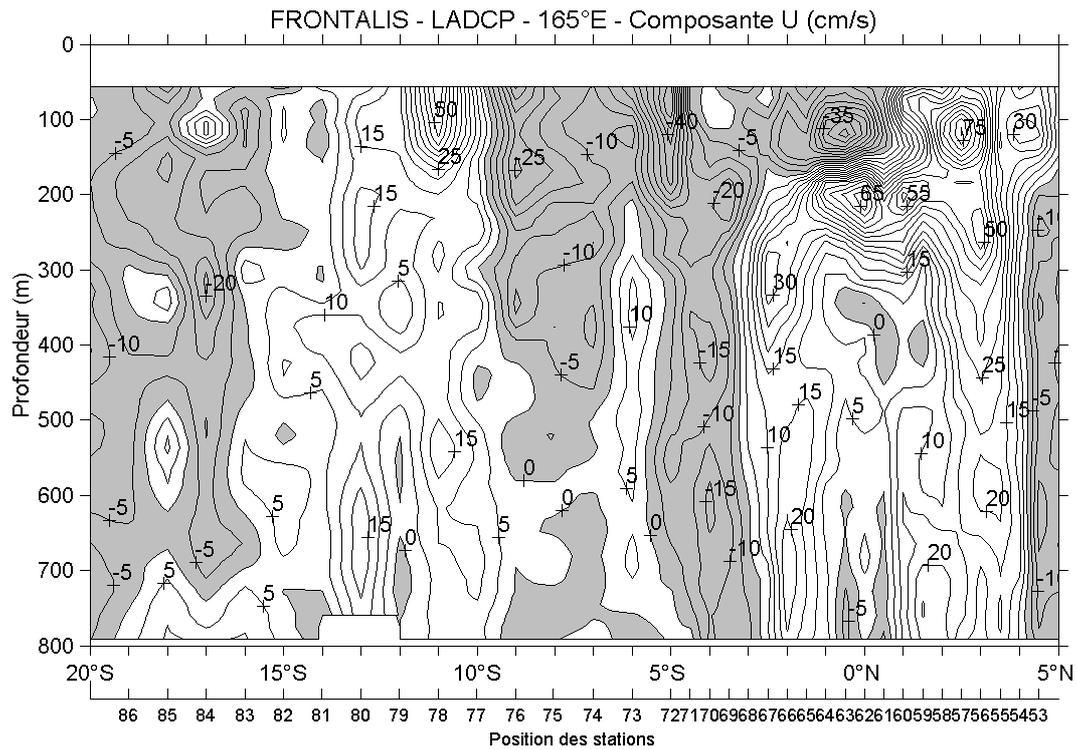


Figure 76: Coupes verticales 0-800 m des composantes zonales et méridiennes du courant mesurées par le LADCP pour la section retour le long de 165°E, de 5°N le 16/04/01 à 20°S le 24/04/01. Les valeurs positives désignent des courants U vers l'est et V vers le nord, en cm/s.

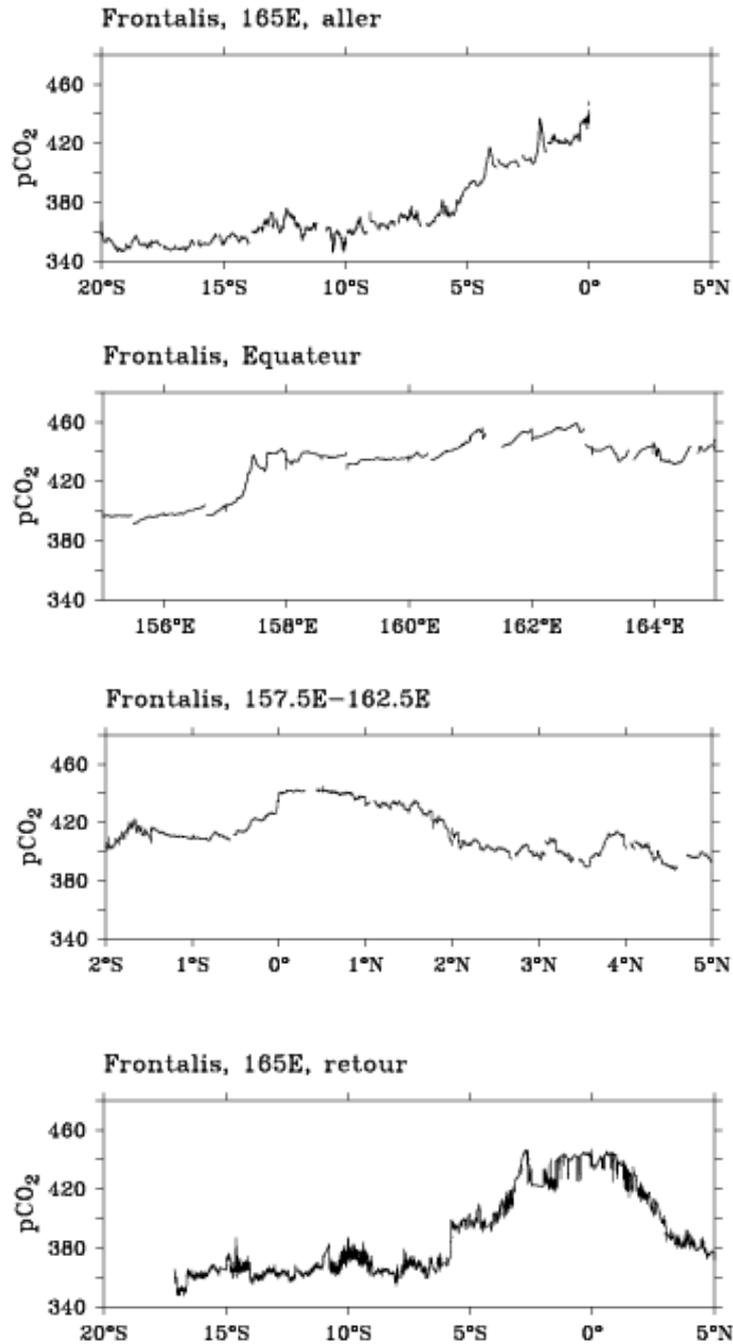


Figure 77: Variations de la pression partielle de CO<sub>2</sub> (ppm) mesurée, de haut en bas : a) pour la section aller le long de 165°E, de 20°S le 30/03/01 à 0° le 05/04/01 ; b) pour la section équatoriale, de 165°E le 05/04/01 à 155° le 09/04/01 ; c) pour la section le long de 157.5°E de 2°S le 10/04/01 à 2°N le 11/04/01, puis pour la section orientée SW-NE de 2°N-157.5°E le 11/04/01 à 5°N-162.5°E le 13/04/01 ; d) pour la section retour le long de 165°E, de 5°N le 16/04/01 à 20°S le 24/04/01.

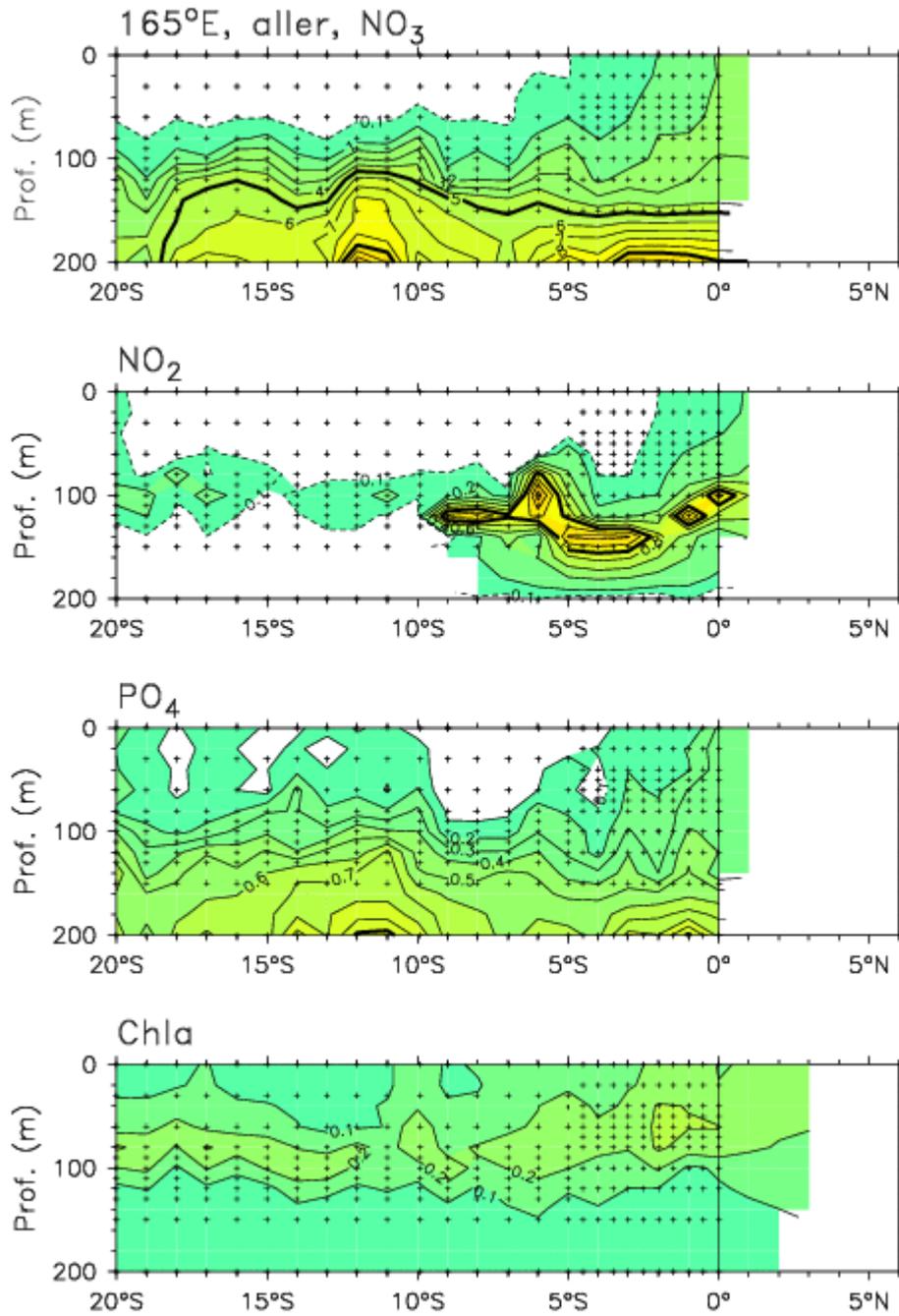


Figure 78: Coupes verticales 0-200 m du nitrate ( $\text{NO}_3$ , micromoles par litre), du nitrite ( $\text{NO}_2$ , micromoles par litre) du phosphate ( $\text{PO}_4$ , micromoles par litre) et de la Chlorophylle a ( $\text{Chla}$ ,  $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) mesurés à intervalles discrets (signes +) lors des stations CTD pour la section aller le long de 165°E, de 20°S le 30/03/01 à 0° le 05/04/01.

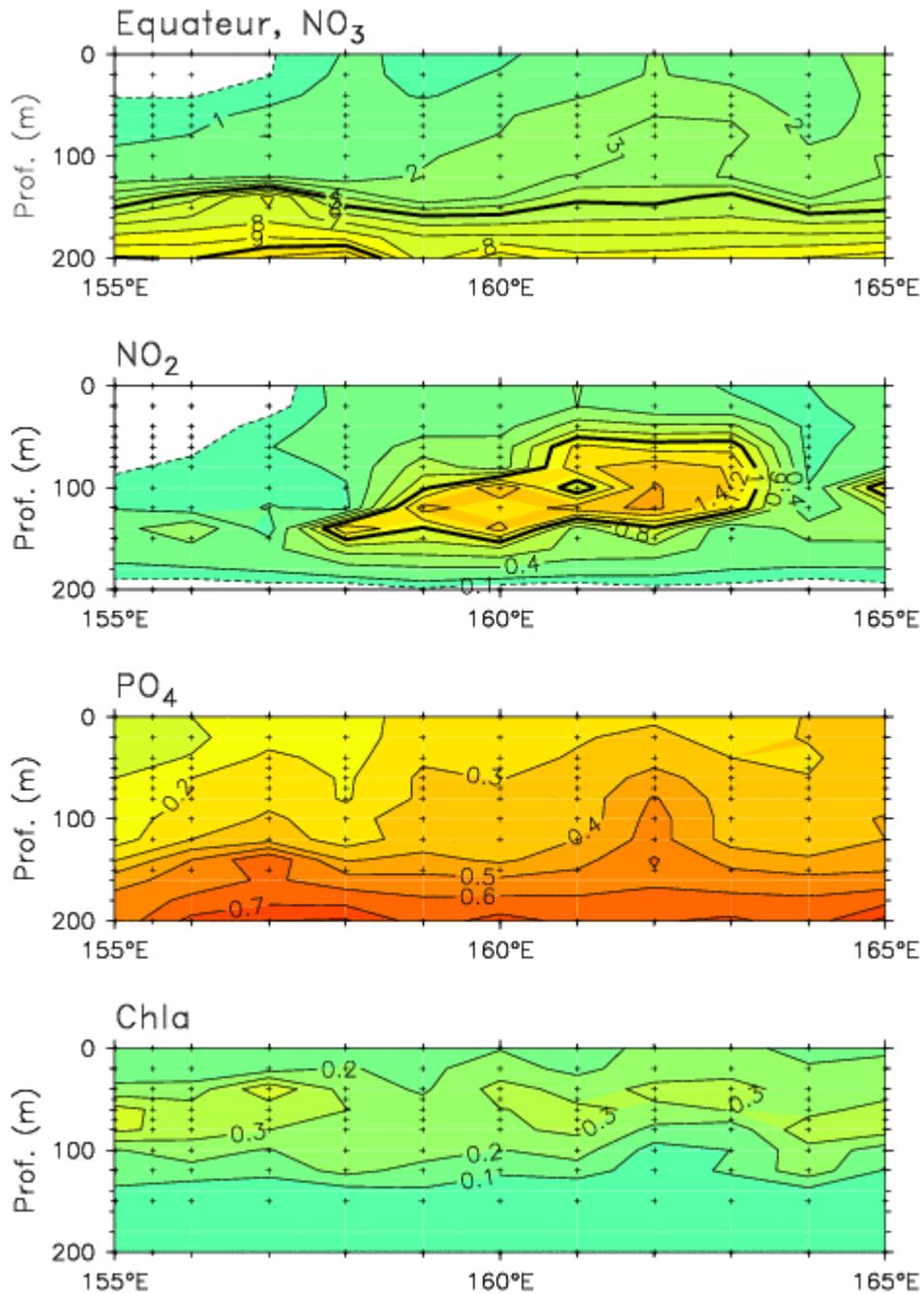


Figure 79: Coupes verticales 0-200 m du nitrate (NO<sub>3</sub>, micromoles par litre), du nitrite (NO<sub>2</sub>, micromoles par litre) du phosphate (PO<sub>4</sub>, micromoles par litre) et de la Chlorophylle a (Chla, µg.l<sup>-1</sup>) mesurés à intervalles discrets (signes +) lors des stations CTD pour la section équatoriale, de 165°E le 05/04/01 à 155° le 09/04/01.

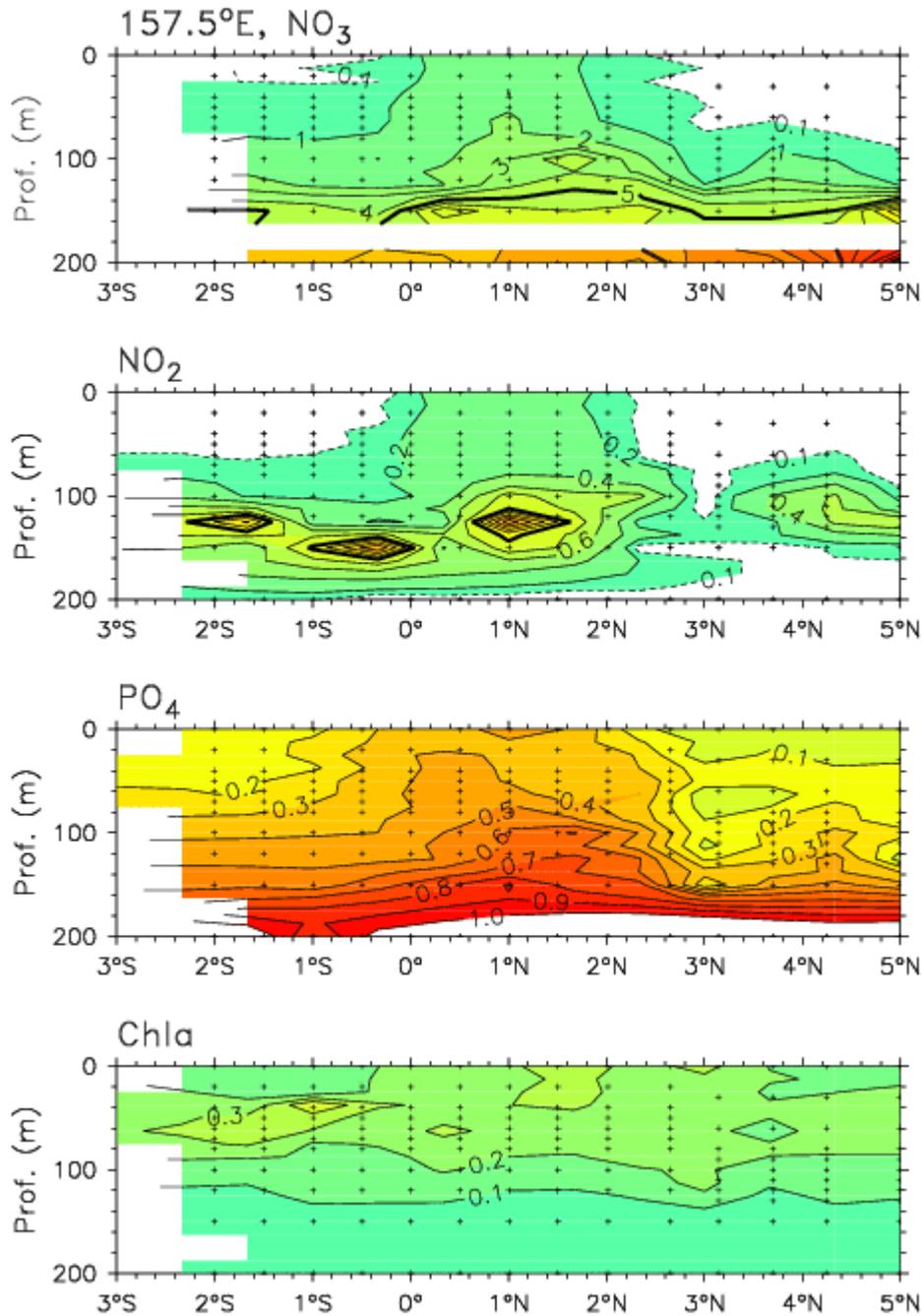


Figure 80: Coupes verticales 0-200 m du nitrate (NO<sub>3</sub>, micromoles par litre), du nitrite (NO<sub>2</sub>, micromoles par litre) du phosphate (PO<sub>4</sub>, micromoles par litre) et de la Chlorophylle a (Chla, µg.l<sup>-1</sup>) mesurés à intervalles discrets (signes +) lors des stations CTD pour la section le long de 157.5°E de 2°S le 10/04/01 à 2°N le 11/04/01, puis pour la section orientée SW-NE de 2°N-157.5°E le 11/04/01 à 5°N-162.5°E le 13/04/01.

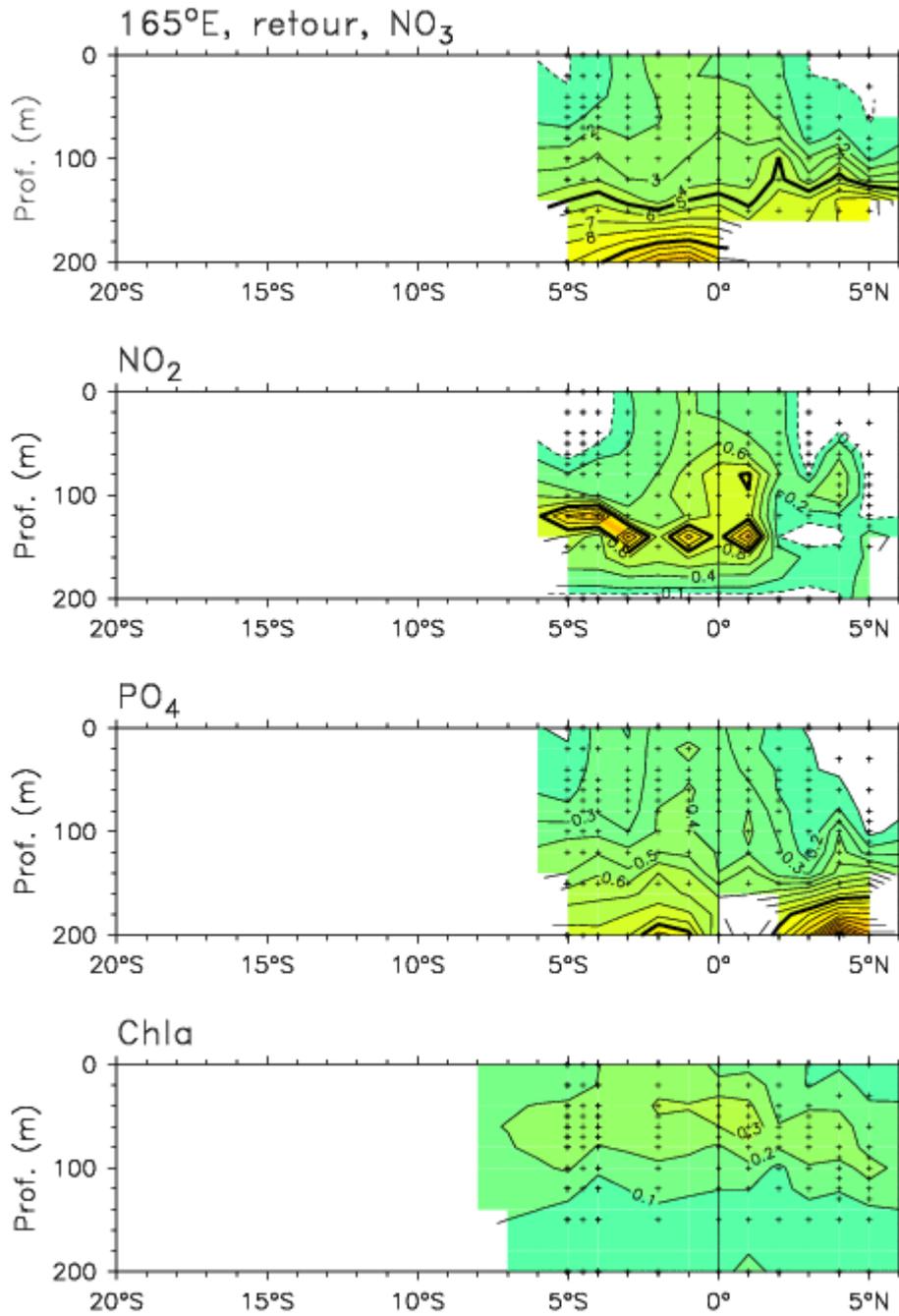


Figure 81: Coupes verticales 0-200 m du nitrate (NO<sub>3</sub>, micromoles par litre), du nitrite (NO<sub>2</sub>, micromoles par litre) du phosphate (PO<sub>4</sub>, micromoles par litre) et de la Chlorophylle a (Chla,  $\mu\text{g.l}^{-1}$ ) mesurés à intervalles discrets (signes +) lors des stations CTD pour la section retour le long de 165°E, de 5°N le 16/04/01 à 5°S le 20/04/01.

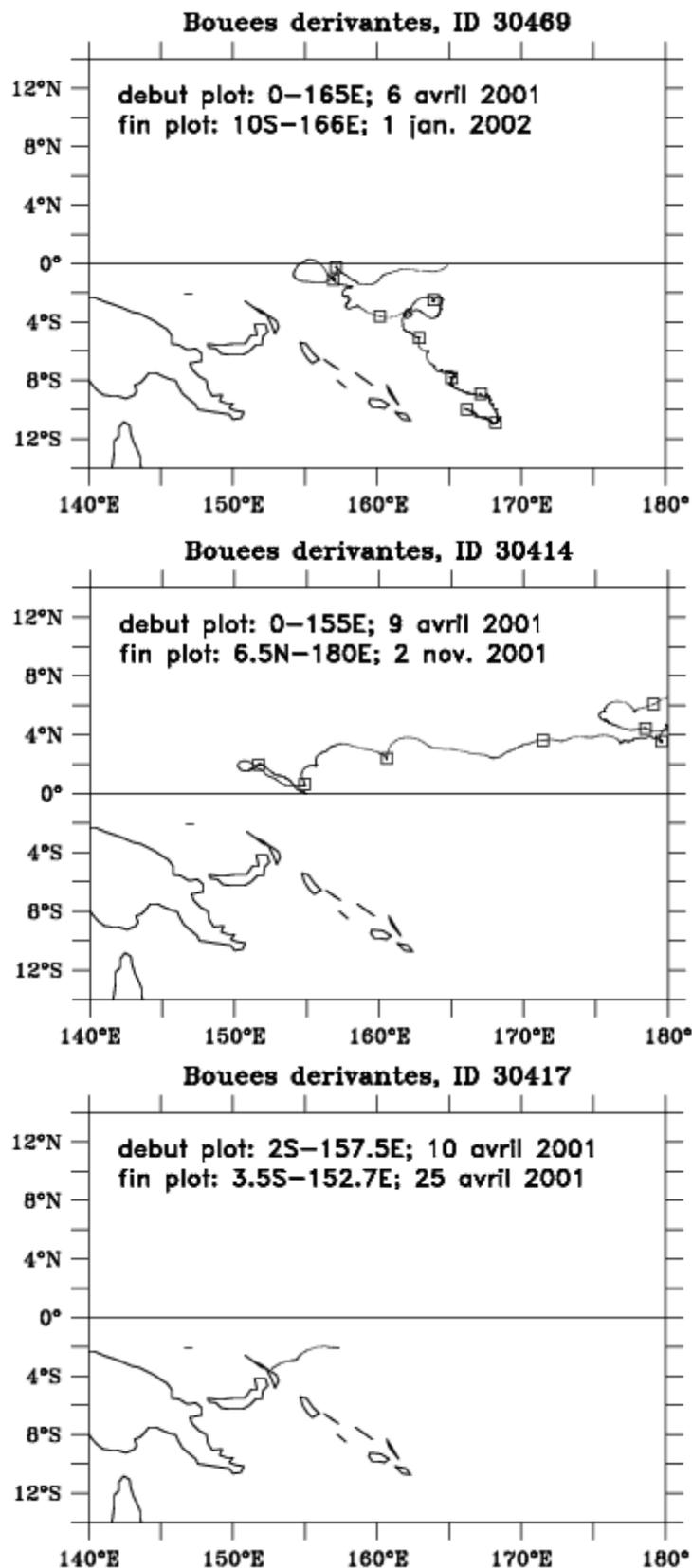


Figure 82. Trajectoires des bouées dérivantes larguées au cours de la campagne. Les carrés le long des trajectoires dénotent les positions le premier jour des mois de mai à décembre 2001. Noter que les trajectoires ne sont plus tracées en 2002, quand elles sortent de la figure ou à la mort de la bouée et/ou de l'émetteur Argos. (suite sur la figure suivante).

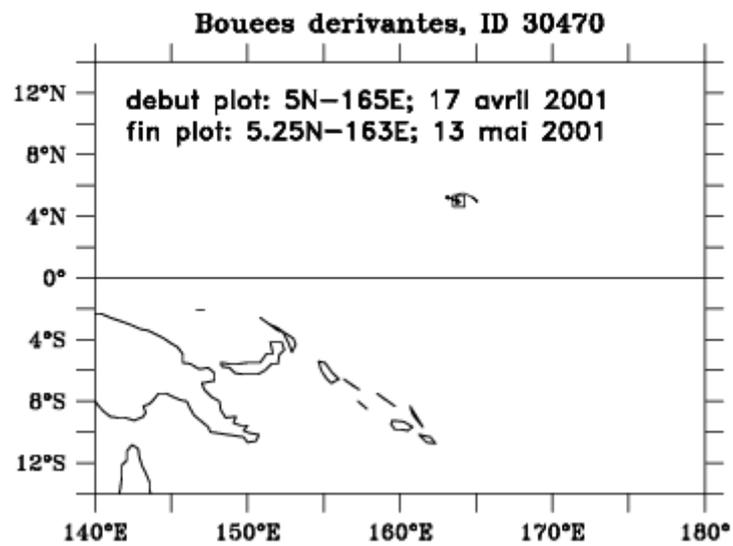
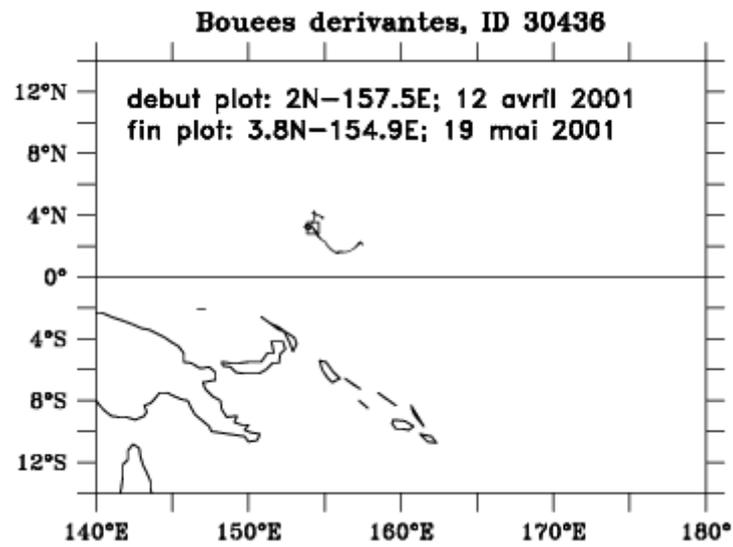
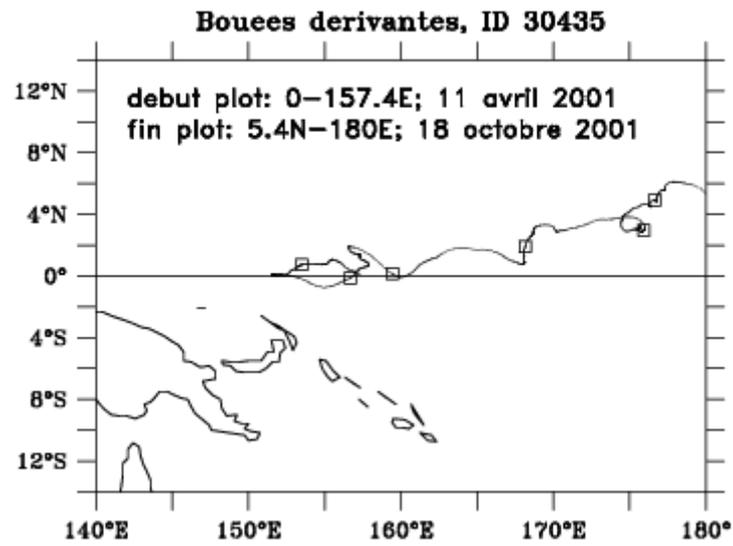


Figure 82 (suite)

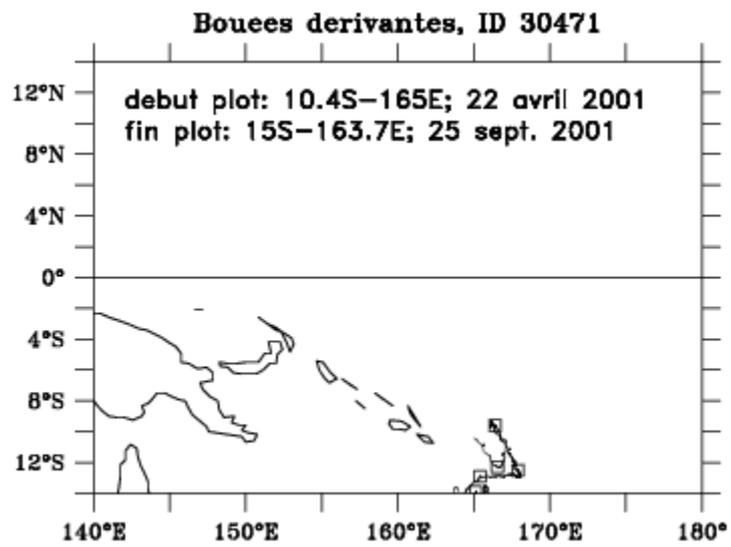
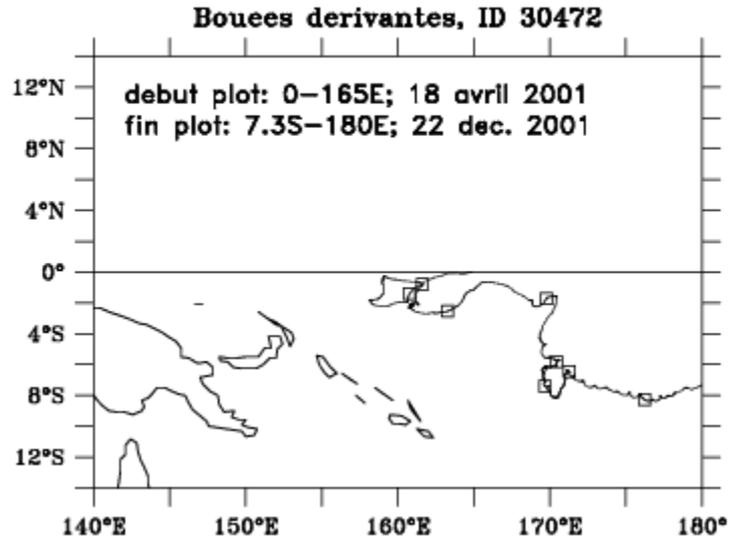


Figure 82 (suite).

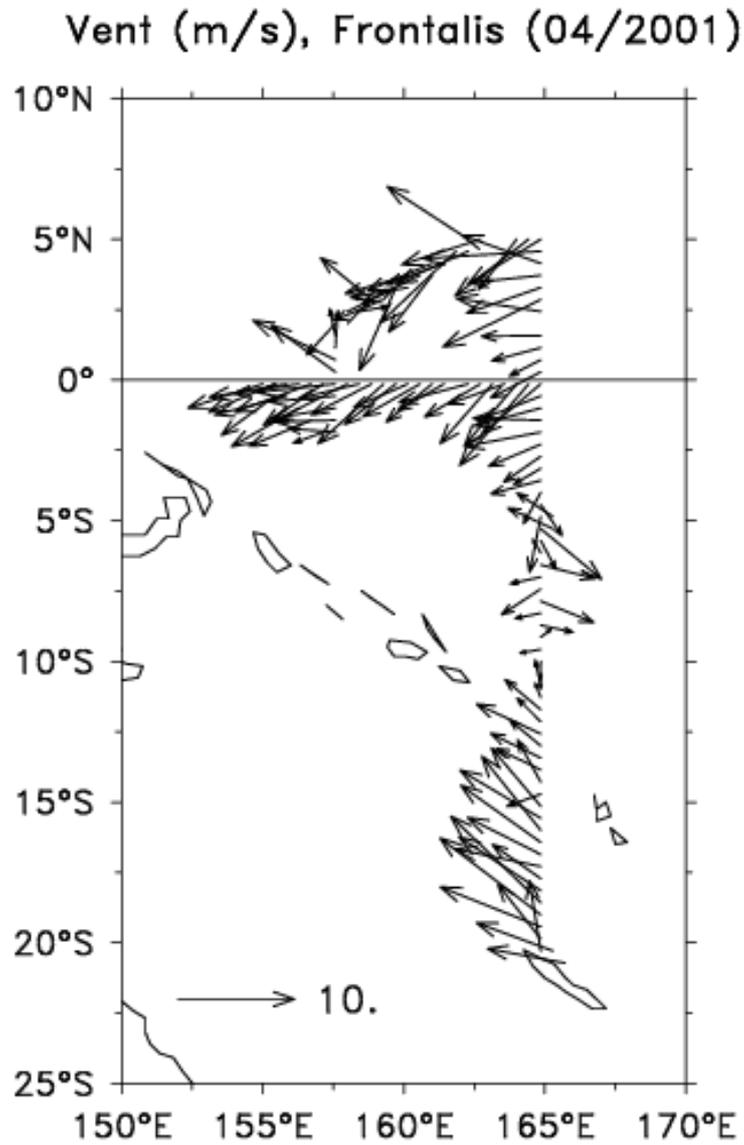


Figure 83 : Vents observés durant la campagne Frontalis. Seules les valeurs instantanées mesurées toutes les heures paires (0h,2h,4h...) sont tracées.

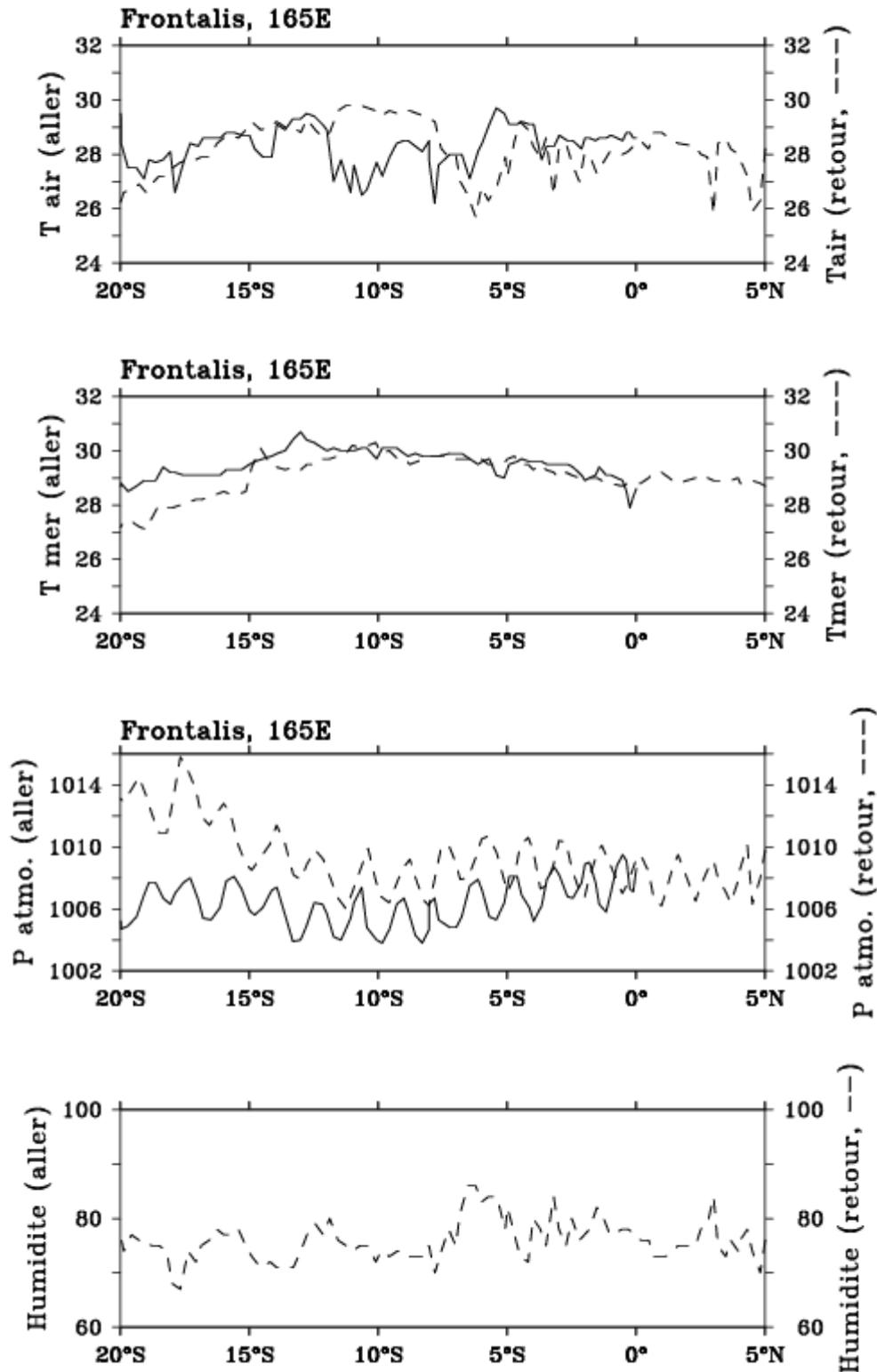
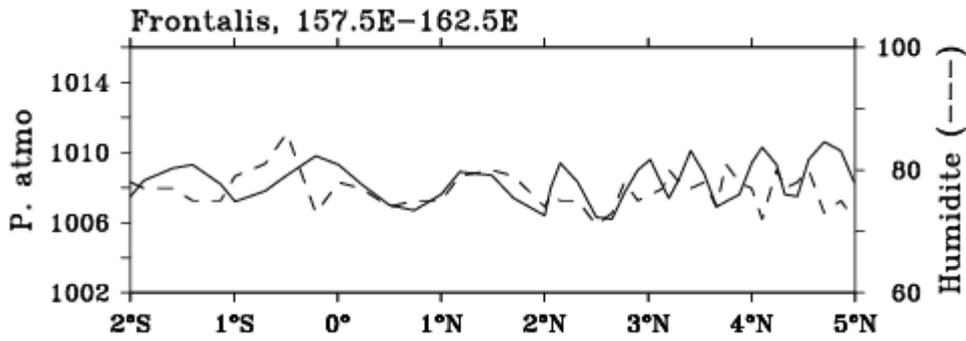
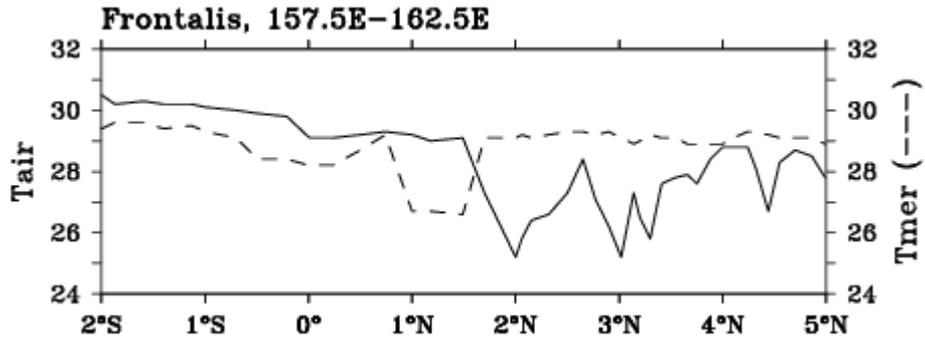


Figure 84 : Variations (du haut vers le bas) de la température l'air en °C, de la température de surface de la mer en °C, de la pression atmosphérique en hPa et de l'humidité de l'air en % mesurées le long du méridien 165°E lors de la campagne Frontalis. Les traits pleins dénotent la route vers le nord (voyage aller, de 20°S à 0°, du 30/03 au 05/04/02) et les pointillés la route vers le sud (voyage retour, de 5°N à 20°S, du 16 au 24/04/02).



Figures 85 : Variations de la température l'air en °C, de la température de surface de la mer en °C, de la pression atmosphérique en hPa et de l'humidité de l'air en % mesurées le long de 157.5°E de 2°S le 10/04/01 à 2°N le 11/04/01, puis le long de la section orientée SW-NE de 2°N-157.5°E le 11/04/01 à 5°N-162.5°E le 13/04/01.

