

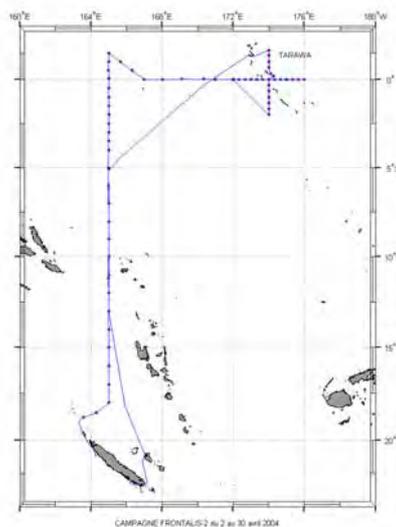
Rapport de la Mission

FRONTALIS 2

à Bord du Navire Océanographique l'ALIS

FRONTALIS-2 Cruise Report

2 avril-30 avril 2004 ; 22°S-1°40N 163°E-176°E



Alexandre Ganachaud⁽¹⁾

Gérard Eldin⁽²⁾

Rémy Chuchla⁽³⁾

Martine Rodier⁽⁴⁾

Alain Lapetite⁽⁴⁾

Francis Gallois⁽⁵⁾

Cécile Dupouy⁽⁶⁾

⁽¹⁾UMR65 IRD/LEGOS, Nouméa, Nouvelle Calédonie

⁽²⁾UMR65 IRD/LEGOS, Toulouse, France

⁽³⁾UMR65 IRD/LEGOS, Brest, France

⁽⁴⁾UR 99 CYANO, IRD, Nouméa, Nouvelle Calédonie

⁽⁵⁾US 25, IRD Nouméa, Nouvelle Calédonie

⁽⁶⁾UR CAMELIA, COM, Marseille, France

Le 27 février 2006

RESUME

La Campagne FRONTALIS-2 fait partie d'une série de trois campagnes dans le cadre du projet « ENSO dans le Pacifique, variabilité à long terme et prévisibilité » du Programme National d'Etude du Climat. L'objectif de ces campagnes est 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 s'est déroulée à bord du navire océanographique l'ALIS, le long des méridiens 165°E (20°S-1°30'N), 174°E (2°S-1°40'N) et le long de l'équateur (165°E-176°E).

Au cours de la campagne FRONTALIS-2, 66 profils de température, salinité, oxygène, fluorescence et phosphorescence 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 de la salinité, de l'oxygène, 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 CO₂ ainsi que des relevés météorologiques ont été enregistrées toutes les minutes. Des échantillons de méso-zooplankton (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 l'intervention sur un mouillage TAO à 2°S, 165°E, ainsi que le largage de 4 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 FRONTALIS-2 cruise is part of a three-cruise series attached to the French National Program for Climate Studies project entitled "Pacific ENSO, long term variability and predictability". The objective is to observe and improve understanding of the frontal zone located on the eastern edge of the western equatorial Pacific "warm pool" and to pursue the 165°E repeat cruise series that started in 1984 in the context of decadal variability. This cruise was carried out from R/V ALIS along the 165°E (20°S-1°30'N) and 174°E (2°S-1°40'N) meridians and along the equator (165°E-176°E).

During the FRONTALIS-2 cruise, 66 temperature, salinity, oxygen, fluorescence and phosphorescence profiles were obtained with the CTD probe (0-500m) and current profiles (0-600m) were obtained with a lowered Doppler current profiler (ADCP). Simultaneously, discrete samples were taken from Niskin bottles to analyze salinity, oxygen, nutrients and chlorophyll-a. Continuous current measurements (0-250m) were taken from shipboard ADCP. Surface temperature and salinity, C O₂ partial pressure and meteorological parameters were recorded every minute. Mezo-zooplankton (200-2000 µm) has also been collected using triple WP2 nets along 165°E and on either side of the frontal zone. This cruise also allowed the maintenance of the TAO mooring at 2°S, 165°E as well as the release of 4 surface drifting buoys.

This report describes the cruise and the materials and methods that were used. Preliminary results are also displayed

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

REMERCIEMENTS

La responsabilité générale de l'ensemble des missions Frontalis a été assumée par Thierry Delcroix en tant que chef de projet. Une campagne hauturière de 29 jours sur un navire de 28 mètres ne peut s'effectuer avec succès qu'avec un équipage aux compétences hors normes. Nous tenons à remercier l'équipage du NO ALIS, le commandant Le Houarno, les officiers et matelots, pour leur professionnalisme, leur disponibilité et leur serviabilité. Le sourire et l'humour sont restés omniprésents, même dans les conditions les plus extrêmes de fatigue, de mauvaise météo et d'exiguïté.

Les autorisations de travail dans les eaux territoriales des pays traversés ont été obtenues grâce aux interventions de la direction du Centre IRD de Nouméa auprès des ambassades de France à Fidji et en Papouasie Nouvelle Guinée. Nous remercions sincèrement ces Ambassades ainsi que les gouvernements du Vanuatu, des Iles Salomon, de Nauru, de Kiribati, de Papouasie-Nouvelle Guinée et des Etats Fédérés de Micronésie pour leurs autorisations.

De nombreux aspects techniques et logistiques nécessaires au bon déroulement de la campagne ont été menés à bien grâce à Paul Mazoyer, Jean-Yves Panche et Pierre Gode du Centre IRD de Nouméa, ainsi que les moyens navigants de l'IRD. L'analyse de l'oxygène n'aurait pu se faire sans les conseils de mise au point de François Baurand (US 25, Brest), et l'aide de Philippe Gérard ainsi que Pierre Waigna (IRD-Nouméa). La calibration du thermosalinographe a été effectuée par David Varillon (US 25, IRD-Nouméa), et les graphiques des profils CTD générés par Lionel Gourdeau (LEGOS, IRD-Nouméa). Les bouées dérivantes ont été fournies par le Global Drifter Center de la NOAA et déployées avec en interaction avec Creg Engler.

La campagne FRONTALIS-2 a été financée par l'IRD, et soutenue par le Programme National d'Etude du Climat et la commission flotte de l'OPCB.

ACKNOWLEDGMENTS

Thierry Delcroix has endorsed the responsibility of the Frontalis Cruises as the project chief. A 29 day deep sea cruise on a 28 meter ship can only be a success with an exceptionally competent crew. We warmly thank the RV ALIS crew, officers and sailors, for their professionalism, their availability and helpfulness. Smile and good mood were omnipresent, event in the extreme sleepless, bad weather and exiguity conditions.

Working authorizations in different countries were granted through the IRD direction request to the French embassies in Fiji and Papua-New Guinea. We sincerely thank the Embassies as well as the Vanuatu, Solomon Islands, Nauru, Kiribati, Papua-New Guinea and Federated States of Micronesia Governments for their authorizations.

Many logistical and technical aspects were worked out successfully by Paul Mazoyer, Jean-Yves Panche and Pierre Gode from the IRD-Noumea center, as well as the seagoing IRD bureau. Oxygen analyses have been setup with the advices from François Baurand (US 25, Brest), and the help from Philippe Gérard and Pierre Waigna (IRD-Nouméa). Thermosalinograph calibration was accomplished by David Varillon (US 25, IRD-Noumea) and CTD cast graphics were generated by Lionel Gourdeau (LEGOS, IRD-Noumea). The surface drifters were provided by the Global Drifter Centre (NOAA) and deployed in interaction with Creg Engler.

The FRONTALIS-2 cruise was supported by IRD, the PNEDC (National Program for Climate Studies) and the OPCB (National fleet commission).

Table des matières

1	Introduction	8
2	Déroulement de la campagne	8
2.1	Travaux réalisés en station	10
2.2	Travaux réalisés en route.....	10
2.3	Personnel scientifique embarqué.....	11
2.4	Personnel du bord embarqué	11
3	Hydrologie.....	12
3.1	Sonde CTD-Oxygène et calibration	12
3.1.1	Présentation des sondes utilisées et de l'acquisition des mesures.....	12
3.1.2	Déroulement des travaux.....	13
3.1.3	Calibration de la température.....	13
3.1.4	Calibration de la salinité.....	14
3.1.5	Calibration de l'oxygène.....	15
3.1.6	Contenu et format des fichiers générés.....	17
3.2	Mesures de salinité.....	26
3.2.1	Prélèvement des échantillons	26
3.2.2	Equipement.....	27
3.2.3	Analyse des échantillons	27
3.2.4	Résultats	27
3.3	Mesures d'oxygène	28
3.3.1	Technique d'échantillonnage	28
3.3.2	Analyse des échantillons	28
3.3.3	Précautions particulières	29
3.3.4	Contrôle des réactifs pendant la campagne	30
3.3.5	Détermination de la concentration d'oxygène des échantillons	31
3.4	Thermosalinographe.....	33
4	Courantométrie ADCP de rosette (LADCP).....	35
4.1	Introduction: Mesures avec le profileur de courant à effet Doppler 'Profond' (LADCP)	35
4.2	Principes de la mesure.....	35
4.3	Acquisition des mesures.....	36
4.4	Traitement des mesures.....	37
5	Mesures de courants par le profileur de coque à effet Doppler (VM-ADCP)	46
5.1	Introduction	46
5.2	Equipement.....	46
5.3	Acquisition	46
5.4	Traitement des données.....	47
5.4.1	Constitution d'une base de données	47
5.4.2	Vérification des profils relatifs.....	47
5.4.3	Intégration de la navigation.....	47
5.4.4	Etalonnage.....	48
5.4.5	Contrôle de qualité	49
5.4.6	Présentation des résultats	49
6	Mesures météorologiques.....	58
7	Mesures chimiques.....	59
7.1	Mesure en continu de la pression partielle du CO2	59
7.2	Sels nutritifs (ammonium, nitrates, nitrites, phosphates).....	60
7.2.1	Nitrates (NO ₃ ⁻) et Nitrites (NO ₂ ⁻).....	60
7.2.2	Phosphates (PO ₄ ⁻ ou PSR).....	60

7.2.3	Ammonium (NH ₄ ⁺)	60
8	Mesures biologiques.....	61
8.1	Chlorophylle "a" (Chla) et phéopigments(Phéo).....	61
8.2	Mésozooplancton (200-2000µm)	61
9	Mesures de Rétrodiffusion et d'absorption « Canard ».....	73
9.1	Rétrodiffusion.....	73
9.2	Traitement des données.....	74
9.3	Absorption.....	74
9.3.1	Mesures au spectrophotomètre.....	74
9.3.2	Présentation des données en base.....	74
9.4	Résultats	75
10	Mesures sondeur multifaisceaux	79
11	Bouées dérivantes.....	79
12	Mouillages TAO.....	82
13	Références	83
14	Annexe 1 : Photos	85
15	Annexe 2 : Chronologie détaillée de la campagne.....	86
16	Annexe 3 : Graphiques.....	87
16.1	Profils CTD	87
16.2	Courantométrie ADCP de sonde (LADCP) et de surface (SADCP) par station....	121

Liste des figures

Figure 1 : Trajectoire de la campagne. Les points rouges correspondent aux stations.....	9
Figure 2 : écarts entre les valeurs de conductivité issues de l'analyse des échantillons et des mesures de la sonde avant calibration.....	14
Figure 3 : Ecart d'oxygène dissous (en ml/l), entre les mesures des échantillons et les mesures de la sonde lors du profil de descente, avant calibration ; en fonction de temps (numéro de station, en haut) et de la pression (en bas)	15
Figure 4 : Ecart, en ml/l, entre les mesures des échantillons et les mesures de la sonde extraites du profil de descente, après la calibration des profils.....	16
Figure 5 : Histogramme des écarts entre les valeurs d'oxygène dissous issues de l'analyse des échantillons et des mesures de la sonde après calibration. Ces écarts sont considérés de la surface au fond (en haut) et de 1000 dbar au fond (en bas).	16
Figure 6 : Température sur la radiale montante	18
Figure 7 : Salinité sur la radiale montante.....	19
Figure 8 : Oxygène sur la radiale montante	19
Figure 9 : Température équatoriale-aller.....	20
Figure 10 : Salinité équatoriale-aller	20
Figure 11 : Oxygène équatorial-aller	21
Figure 12 : Température Papillon-zonal.....	21
Figure 13 : Salinité Papillon-zonal.....	22
Figure 14 : Oxygène Papillon-zonal.....	22
Figure 15 : Température Papillon-méridien	23
Figure 16 : Salinité Papillon-méridien	23
Figure 17 : Oxygène Papillon-méridien	24
Figure 18 : Température radiale descendante	24
Figure 19 : Salinité radiale descendante.....	25
Figure 20 : Oxygène radial descendante.	25
Figure 21 : Evolution du titre du thiosulfate.....	30
Figure 22 : Données salinité du TSG SBE 21. Les croix dénotent les prélèvements bouteille.	33
Figure 23 : Différence entre les données issues du TSG SBE 21 et celles du TSG SBE 45. ..	34
Figure 24 : Données TSG 21 de salinité sur l'aller (gauche) et le retour (droite) de la campagne. Les étoiles rouge et bleue dénotent respectivement le maximum et le minimum de salinité.	35
Figure 25: En haut, corrélation des modules de vitesses pour tous les niveaux des 64 profils valides. En bas, différences de direction.	39
Figure 26 : Section LADCP, radiale montante	41
Figure 27 : Section LADCP, équateur	42
Figure 28 : Section LADCP, Papillon zonal	43
Figure 29 : Section LADCP, Papillon méridien.....	44
Figure 30 : Section LADCP, radiale descendante.....	45
Figure 31 : Différence cap GPS - cap gyro au cours du temps pendant l'ensemble de la campagne : valeur moyenne à chaque profil (points rouges), après application d'un filtre médian sur 15 points (en noir), après changement de signe, interpolation des trous et passage d'une moyenne mobile sur 10 points (en bleu).....	48
Figure 32 : Histogrammes de A et ϕ et différences d'horloges GPS-ADCP après application de la correction GPS-gyro.	49
Figure 33 : S-ADCP, radiale montante	50
Figure 34 : S-ADCP, Equateur.....	51
Figure 35 : S-ADCP, Papillon zonal	52

Figure 36 : S-ADCP, Diagonale Papillon (sud-est/nord-ouest)	53
Figure 37 : S-ADCP, Papillon méridien.....	54
Figure 38 : S-ADCP, retour équateur	55
Figure 39 : S-ADCP, radiale descendante.....	56
Figure 40 : S-ADCP, de 18°S à Nouméa, par le Grand Passage et la côte ouest de la Nouvelle Calédonie.....	57
Figure 41 : Vent et humidité relevés le long de la trajectoire par la station BATOS. La flèche rouge indique l'échelle (10 m/s).....	58
Figure 42 : Pression partielle de CO2 par section.....	59
Figure 43 : Sels nutritifs, 165 montante	62
Figure 44 : Chl-a, fluorescence et phosphorescence, radiale montante	63
Figure 45 : Sels nutritifs, équateur	64
Figure 46 : Chl-a, fluorescence et phosphorescence, équateur	65
Figure 47 : Sels nutritifs, Papillon zonal	66
Figure 48 : Chl-a, fluorescence et phosphorescence, Papillon zonal	67
Figure 49 : Sels nutritifs, Papillon méridien	68
Figure 50 : Chl-a, fluorescence et phosphorescence, Papillon méridien	69
Figure 51 : Sels nutritifs, radiale descendante.....	70
Figure 52 : Chl-a, fluorescence et phosphorescence, radiale descendante.....	71
Figure 53 : Prélèvements zooplancton (vert=poids sec ; rouge=poids sec sans cendres).....	72
Figure 54 : « CANARD » (Hydroscat-6, HOBI Labs, acquis par le LODYC) avant sa mise à l'eau.....	73
Figure 55 : Profils CANARD (Hydroscat-6) entre 0 et 180 mètres de a) la fluorescence rouge à 676 nm b) du coefficient de rétrodiffusion des particules à 442 nm (m^{-1}).....	76
Figure 56 : Spectres d'absorption par le phytoplancton (différence entre absorption totale et absorption après blanchissement au méthanol).....	76
Figure 57 : Spectres d'absorption et de rétrodiffusion obtenus à différentes stations aux canaux SeaWiFS.	77
Figure 58 : Profils CANARD (Hydroscat-6) entre 0 et 180 m de la fluorescence rouge et de la rétrodiffusion totale à 440 nm pour les différentes stations.	78
Figure 59 : Cartographie multifaisceau du versant ouest du récif Petrie.	79
Figure 60 : Trajectoire de la bouée 52838.....	80
Figure 61 : Trajectoire de la bouée 52837.....	80
Figure 62 : Trajectoire de la bouée 52836.....	81
Figure 63 : Trajectoire de la bouée 52839.....	81

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 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°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 des campagnes FRONTALIS dans le Pacifique tropical ouest est 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. Une première campagne a été réalisée en 2001 (Delcroix et al., 2002) dont les analyses ont été publiées en partie (Eldin et al., 2004). Les buts complémentaires de la campagne étaient de poursuivre la série de campagnes à 165°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°E (cf. McPhaden et al., 1998).

2 Déroutement de la campagne

La campagne FRONTALIS-2 (Figure 1) à bord du N/O ALIS s'est déroulée du 2 avril au 30 avril 2004. Le départ, initialement prévu le 30 mars, a été retardé de trois jours, suite à l'installation d'un nouvel onduleur arrivé au dernier moment puis deux jours de grève de l'équipage. Les mauvaises conditions météorologiques ont entraîné l'annulation de 17 stations au total. Après une station d'essai à l'abri de la baie du Santal (Île de Lifou), une première radiale méridienne a été réalisée le long de 165°E , vers le Nord (Figure 1 : 20°S - $1^{\circ}30'\text{N}$); une radiale a longé l'Equateur de 165°E à 176°E jusqu'à croisement du Front et dépassement de celui-ci de deux degrés. Le navire est alors revenu sur sa route équatoriale sur 4° (de 176°E à 172°E) avec un échantillonnage au $1/3^{\circ}$; a fait route vers le Sud-Est (2°S , 174°E) pour effectuer une radiale méridienne au $1/3^{\circ}$ sur le front. Au retour vers la Nouvelle-Calédonie, la radiale 165°E a été occupée à nouveau entre 5°S et 19°S .

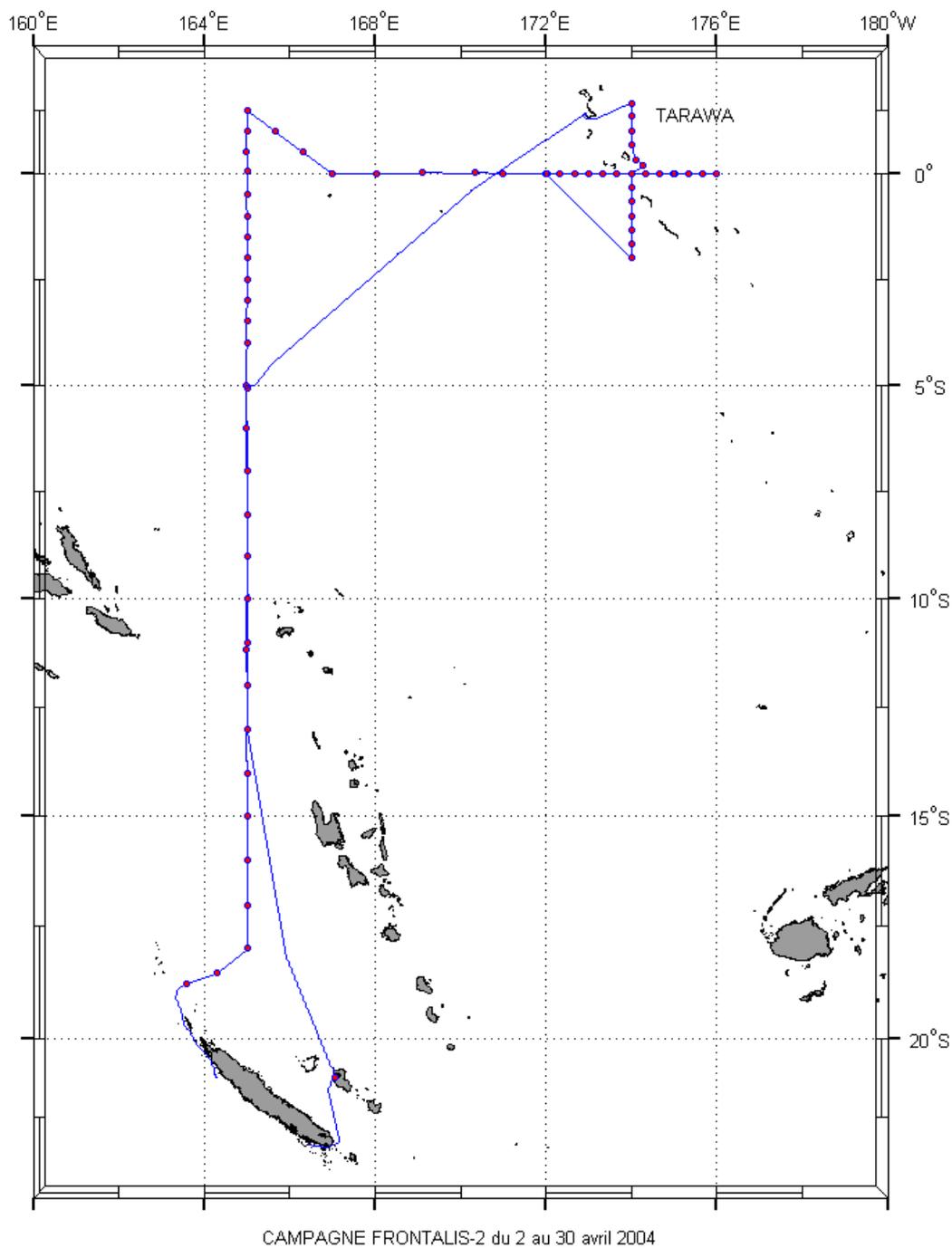


Figure 1 : Trajectoire de la campagne. Les points rouges correspondent aux stations

2.1 Travaux réalisés en station

66 stations hydrologiques CTD (0-500m et 0-1000m) et LADCP (0-600m et 0-1100m) ont été réalisées, ainsi que 40 prélèvements planctoniques au filet. 10 stations Hydroscat-6 (« CANARD ») ont été effectuées.

Chronologie sommaire (détail en annexe) :

- J02 : station d'essai en baie du Santal, Île de Lifou
 - Station CTD et LADCP
 - Filet à plancton
 - CANARD (dysfonctionnement)
- J03 à J10
 - Stations filet, CTD et LADCP le long de 165°E tous les degrés entre 20°S et 4°S, suivant conditions météorologiques, puis CTD et LADCP tous les demi-degrés jusqu'à 1°30N ;
 - 4 stations CANARD à 11°S (dysfonctionnement), 3°S (F7), 0° (F13), 1°N (dysfonctionnement)
 - Changement de capteur de vent sur la bouée TAO à 2°S ;
- J11 à J14
 - Stations CTD et LADCP tous les degrés le long de l'Equateur, vers l'est, à la recherche du front ;
 - Station CANARD à 176°E (F28);
- J14 à J15 : Section zonale papillon
 - Stations CTD et LADCP tous les 1/3° le long de l'Equateur et filet tous les 1/6°, vers l'ouest, entre 176°E et 172°E ;
 - Station CANARD à 174.7°E (F32);
- J16 à J17 : Section méridienne papillon
 - Stations CTD et LADCP tous les 1/3° le long de 174°E et filet tous les 1/6°, vers le Nord, entre 2°S et 1°40N ;
 - Station CANARD à 1°30N (F40) et 1°40N (F52);
- J18 : escale aux Iles Kiribati (Tarawa). Ravitaillement en carburant ;
- J19 à J22 : transit vers 5°S, 165°E
- J22 à J27
 - Stations filet, CTD et LADCP le long de 165°E tous les degrés vers le sud ;
 - Station CANARD à 8°S (F57);
- J27 : cartographie d'un récif (Pétrie) susceptible d'accueillir un futur mouillage ;
- J29 : Retour à Nouméa.

2.2 Travaux réalisés en route

- Mesure en continu des courants absolus 0-250m au moyen d'un profileur acoustique à effet Doppler (ADCP)
- Mesure en continu (enregistrement toutes les 5 minutes) de la température et 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 de la pression partielle de CO₂ (pCO₂) dans l'eau de mer de surface au moyen d'un analyseur infrarouge LICOR et après équilibrage de l'eau de mer prélevée au même endroit.

2.3 Personnel scientifique embarqué

Ganachaud Alexandre	CR, Chef de mission	LEGOS, IRD Nouméa
Eldin Gérard	CR	LEGOS, IRD Toulouse
Rémy Chuchla	IE	LEGOS, IRD Brest
Francis Gallois	IE	US25, IRD Nouméa
Martine Rodier	CR	UR99, IRD Nouméa
Alain Lapetite	TRA	UR99, IRD Nouméa

2.4 Personnel du bord embarqué

Hervé Le Houarno	Commandant
Jean François Barazer	Second
Loic Legoff	Lieutenant
Franck Bouzidi	Chef Mécanicien
Ollivier Jean Charles	Second Mécanicien
Prigent Pierrick	Troisième Mécanicien
Jacques Quenenoj	Cuisinier
Marcel Sagel	Maître d'hôtel
Liufau Félice	Bosco
Fitialeata Christian	Matelot
Garcia Jean-Paul	Matelot
Taalo Steve	Matelot



3 Hydrologie

3.1 Sonde CTD-Oxygène et calibration

3.1.1 Présentation des sondes utilisées et de l'acquisition des mesures.

La sonde hydrologique CTD-O₂ utilisée est une sonde SEABIRD de type SBE 911+. La sonde comporte :

- un capteur de pression ; ce capteur est un capteur à quartz développé par la société Paroscientific Inc. Il est muni d'un capteur de température interne pour pouvoir effectuer une correction de température sur la mesure de pression. Il permet des mesures de 0 à 10000 psia ('pound per square inch, absolute' soit 6800 dbar, avec 1 dbar=1.4503774 psia) avec une résolution de 0.001% de la pleine échelle (soit 0.068 dbar) et une précision de 0.015% de la pleine échelle (soit environ 1 dbar).
- deux capteurs de température ; ces capteurs à sonde de platine permettent des mesures entre -5°C et +35°C, avec une résolution de 0.0002°C et une précision de 0.002°C.
- deux capteurs de conductivité ; ces capteurs à électrodes sont placés dans un tube en verre et mesurent la conductivité absolue. La gamme de mesure se situe de 0 à 7 S/m (Siemens par mètre, équivalent à 0-70 mmho/cm), avec une résolution de 4.10⁻⁵ S/m et une précision de 0.0003 S/m.
- un capteur d'oxygène, à membrane polarographique de type Seabird SBE33, permettant des mesures de 0 à 15 ml/l, avec une précision de 0.1 ml/l et une résolution de 0.01 ml/l (soit approximativement 600 µmol/kg, 4 µmol/kg et 0.4 µmol/kg respectivement).

Une pompe externe relie les différents capteurs, afin d'assurer une meilleure synchronisation de leurs réponses. De même, chaque capteur de température est relié à un capteur de conductivité par un conduit, afin qu'ils mesurent exactement la même eau. Ainsi, on dispose de deux ensembles de capteurs T/C (température-conductivité). Pour plus de détails sur les différents capteurs de la SEABIRD 911, prière de se référer au site internet du constructeur : <http://www.seabird.com/911plus.htm>. Les numéros de série des différents capteurs utilisés pendant la campagne sont reportés dans le Tableau 1 ci-dessous (date de calibration).

Tableau 1 : date de calibration des capteurs CTD

Stations	1-68
Temp_0 (11-12-2003)	1135
Temp_1 (3-10-2003)	2589
Cond_0 (31-10-2002)	2340
Cond_1 (3-10-2003)	2343
Pression (11-12-2002)	75674
Oxygène (8-4-1999)	130511

Les capteurs de température et de conductivité de la sonde avaient été calibrés par SEABIRD avant la campagne. Les mesures de conductivité du profil de montée sont ensuite calibrées à l'aide des mesures effectuées à partir des échantillons d'eau de mer prélevés pendant la remontée lors de chaque profil. Les capteurs d'oxygène sont calibrés une fois pour toutes en usine lors de leur fabrication. Les mesures 'brutes' d'oxygène de la sonde ne peuvent *a priori* être utilisées que pour visualiser les variations de la concentration en oxygène selon la verticale. Cependant, le logiciel d'acquisition de SEABIRD prend en compte un algorithme (Owens et Millard, 1985) qui permet de corriger la mesure du capteur d'oxygène de l'influence de la pression. La correction des mesures est alors affinée par les

comparaisons avec les mesures *in-situ*; en effet, les concentrations 'absolues' d'oxygène sont obtenues à partir d'une calibration effectuée à partir des dosages chimiques des échantillons d'eau de mer prélevés pendant la remontée lors de chaque profil.

Les données mesurées par la sonde ont été acquises à l'aide du logiciel SEASOFT (version 5.29a) fourni par le constructeur de la sonde. Lors d'un profil les mesures de la sonde, effectuées à la fréquence de 24 Hz, sont transmises à un micro-ordinateur (de type PC) d'acquisition via le programme SEASAVE. Une fois la station terminée, une procédure de traitement préalable préconisée par le constructeur est appliquée aux données des profils de descente et de montée (voir le document joint au logiciel et indiqué en référence). La procédure exécute à la suite les programmes suivants du logiciel SBE data proc (5.33):

- DATCNV : ce programme convertit les mesures brutes de la sonde en données physiques (pression, température, conductivité et les paramètres permettant de déduire l'oxygène dissous –courant et température-).

- ALIGNCTD : ce programme avance de 3 secondes les mesures relatives à l'oxygène afin de les recalculer par rapport aux mesures de pression.

- FILTER : ce programme applique un filtre 'passe-bas' à la conductivité (0.03 s) et à la pression (0.15s).

- LOOPEDIT : ce programme vérifie si le déplacement vertical de la sonde est correct pour effectuer les mesures. Il repère les mesures 1) dont la variation de pression est opposée au déplacement vertical moyen (descente ou montée) ou 2) pour lesquelles la vitesse verticale est inférieure à 25 cm/s.

- ROSSUM : cet utilitaire lit dans un fichier de type .ROS, généré par DATCNV, et inscrit dans un fichier de type .BTL des informations relatives aux mesures effectuées lors de la fermeture des bouteilles hydrologiques et préalablement repérées pendant l'acquisition.

- BINAvg : ce programme effectue une moyenne des mesures et supprime les mesures 'mauvaises' repérées par BINAvg. Ici, la moyenne est effectuée en fonction de la pression tous les décibars.

Pour plus de détails sur ces procédures, prière de se référer au document SEABIRD relatif au logiciel, mentionné dans les références bibliographiques.

Les à-coups sur la sonde dus au fort tangage du bateau génèrent des anomalies dans les profils, la masse d'eau entraînée par la rosette dépassant cette dernière lors des fortes décélérations, en descente. Les profils initiaux comportant des instabilités statiques, la procédure de traitement a été ajustée pour chaque station. Trois procédures de filtrage sont utilisées (étape LOOPEDIT) pour éviter au maximum les instabilités statiques qui apparaissent à cause de ces décélérations. Les données sont éliminées dans trois cas (suivant houle et profil) :

1. Procédure A : si la vitesse de descente varie de plus de 10% sur sa moyenne glissante sur 300 secondes (stations 1 à 7) ;
2. Procédure B : si la vitesse de descente est inférieure à 50cm/s : stations 8 à 68 sauf 52, 54 ;
3. Procédure C : si la vitesse de descente est inférieure à 25cm/s : stations 52, 54 ;

Ceci ne concerne pas l'oxygène, qui a été traité suivant la procédure C exclusivement, avant la calibration détaillée ci-dessous.

3.1.2 Déroulement des travaux.

66 stations hydrologiques profondes ont été effectuées

Une station 'test' a été effectuée pour permettre de tester la reproductibilité des analyses (salinité, oxygène). Au cours de la station 54 les 12 bouteilles ont été fermées à 500 dbar.

3.1.3 Calibration de la température.

Les deux capteurs utilisés simultanément pour tous les profils ont été calibrés par SEABIRD.

3.1.4 Calibration de la salinité.

a. Principe : la calibration des capteurs de conductivité est faite en comparant au niveau de fermeture des bouteilles les mesures de conductivité de la CTD lors du profil de montée avec la conductivité in situ des échantillons d'eau de mer prélevés dans ces bouteilles. La salinité de l'échantillon est convertie en conductivité in situ en utilisant les mesures de pression et de température calibrées de la sonde au niveau du prélèvement. Les mesures de conductivité de la sonde sont calibrées en utilisant un polynôme de degré 1 qui minimise les écarts d'une station ou d'un groupe de stations. Le calcul des coefficients du polynôme se fait par itérations successives. A chaque itération l'écart en conductivité entre l'échantillon et le modèle est comparé à l'écart-type de l'ensemble des écarts. Les échantillons qui s'écartent de plus de 2,8 fois l'écart-type sont rejetés et le processus de minimisation est repris. Ce dernier est arrêté lorsque tous les écarts sont inférieurs à ce seuil. Le modèle issu de la comparaison avec les mesures CTD du profil de montée est appliqué aux conductivités du profil de descente.

b. Calibration : La visualisation des écarts entre les conductivités des échantillons d'eau de mer et les mesures brutes de conductivité du profil de montée de la sonde ne permettent pas de corriger les données. Nous n'avons pas corrigé les valeurs de conductivité. La Figure 2 montre que les écarts entre les valeurs d'analyses et les valeurs de la sonde sont voisines de la précision de la sonde. Les essais de calibration n'ont pas permis d'améliorer les différences. Cela est dû aux choix des niveaux de prélèvement. On peut noter que pour des profondeurs supérieures à 200 dbar, les différences sont inférieures à 0.0005.

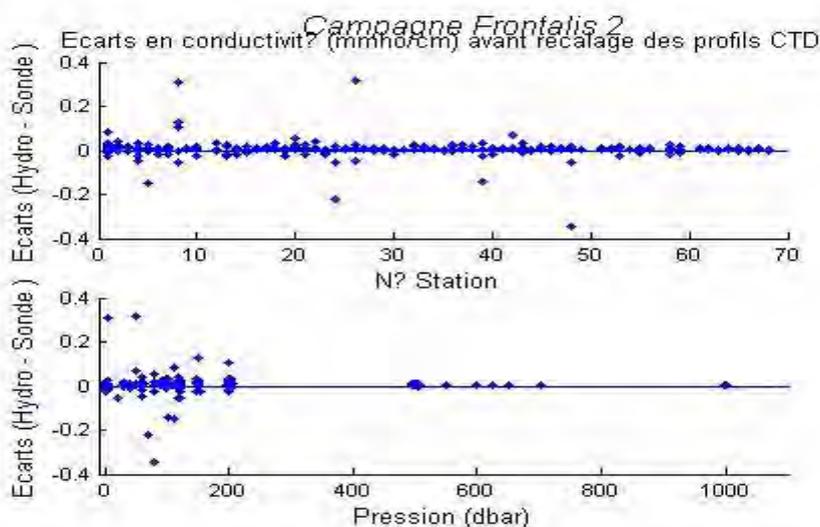


Figure 2 : écarts entre les valeurs de conductivité issues de l'analyse des échantillons et des mesures de la sonde avant calibration.

3.1.5 Calibration de l'oxygène.

a. Calibration :

Les mesures du capteur d'oxygène de la sonde sont calibrées en comparant les résultats des analyses chimiques avec les mesures de la sonde obtenues à la même pression, en prenant en compte le profil de descente. En effet la calibration effectuée en prenant en compte le profil de remontée a été abandonnée d'une part à cause d'un phénomène d'hystérésis (de l'ordre de 5 $\mu\text{mol/kg}$) et d'autre part à cause des turbulences engendrées par la fermeture des bouteilles, les capteurs se trouvant au niveau inférieur de la rosette.

La calibration se fait en utilisant la méthode de Owens et Millard (1985). Le modèle d'ajustement nécessite une technique de régression non linéaire. Comme pour la calibration de la conductivité, les coefficients du modèle sont déterminés par itérations successives, pour un ensemble de stations. La Figure 3 montre les écarts, en ml/l, entre les mesures des échantillons et les mesures de la sonde extraites du profil de descente, avant la calibration des profils. Ce type de schéma aide notamment à choisir une stratégie de regroupement des stations pour le calcul des polynômes de calibration des mesures d'oxygène.

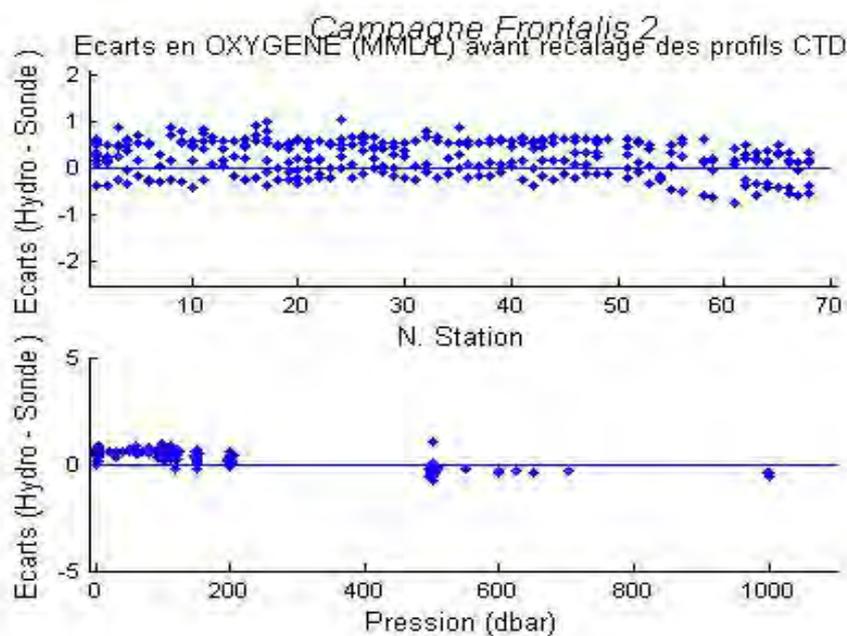


Figure 3 : Ecart d'oxygène dissous (en ml/l), entre les mesures des échantillons et les mesures de la sonde lors du profil de descente, avant calibration ; en fonction de temps (numéro de station, en haut) et de la pression (en bas)

Pour la calibration il a été choisi après différents essais de regrouper les stations de 1 à 21, 22 à 61 et 62 à 68 (programme oxfit méthode Marquart-Levenberg).

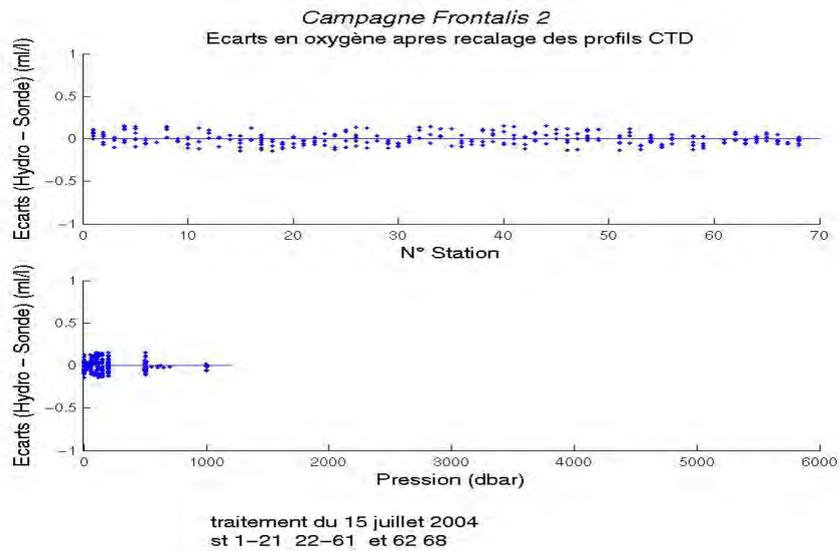


Figure 4 : Ecart, en ml/l, entre les mesures des échantillons et les mesures de la sonde extraites du profil de descente, après la calibration des profils.

La Figure 4 montre les écarts, en ml/l, entre les mesures des échantillons et les mesures de la sonde extraites du profil de descente, après la calibration des profils. Ces écarts sont tout-à-fait acceptables sur l'ensemble des stations et de la colonne d'eau. Ainsi, les histogrammes de la Figure 5 montrent que la distribution des écarts est relativement bien centrée. Celle-ci l'est d'autant plus, et moins dispersée, que l'on considère les données situées à des profondeurs supérieures à 200 dbars.

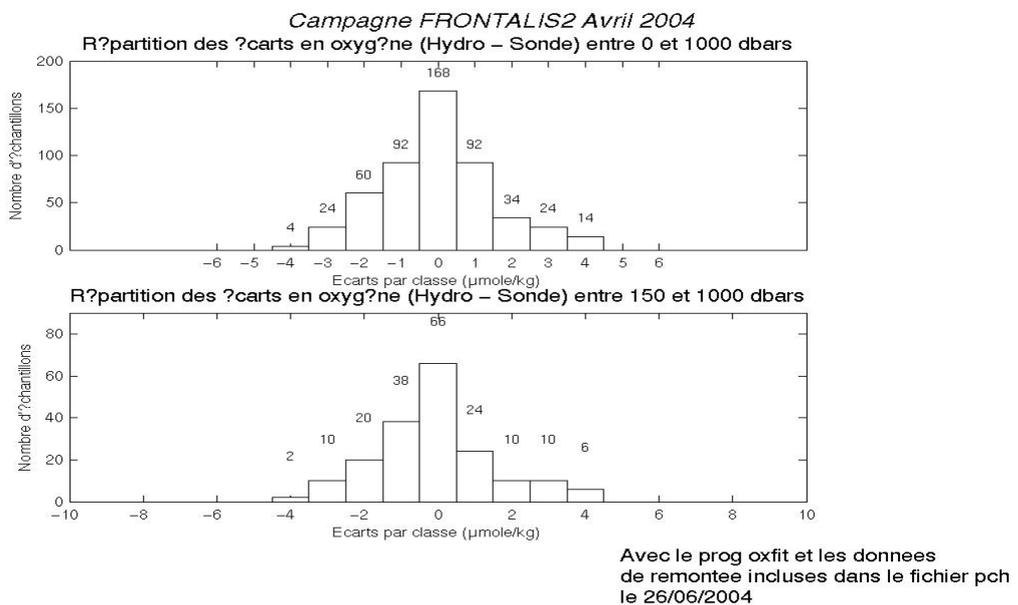


Figure 5 : Histogramme des écarts entre les valeurs d'oxygène dissous issues de l'analyse des échantillons et des mesures de la sonde après calibration. Ces écarts sont considérés de la surface au fond (en haut) et de 1000 dbar au fond (en bas).

3.1.6 Contenu et format des fichiers générés.

Les fichiers sont en ASCII à un type de format analogue (mais non identique - la position ici est fournie, mais le type d'instrument utilisé et la fréquence d'acquisition ne le sont pas -) à celui préconisé par le WHP (Joyce et Corry, 1994).

Un exemple de début de fichier est fourni ci-dessous.

```
FRONTALIS2 2004
STRNBR 32 CASTNO 1 NO.RECORDS 999
DATE: 15/04/2004 02:35:59
LATITUDE: 0 0.17 N LONGITUDE : 174 40.24 E
CTDPRS  CTDTMP  CTDSAL  CTD OXY  CTD OXY  QUALT1
DBAR   ITS-90  PSS-78  ML/L  UMOL/KG
*****  *****  *****  *****  *****  *****
0.00 29.0783 35.2545 4.86 212.25 2999
1.00 29.0783 35.2545 4.86 212.25 2999
2.00 29.0783 35.2545 4.86 212.25 2999
3.00 29.0783 35.2545 4.86 212.25 2222
3.50 29.0722 35.2543 4.85 211.90 2222
4.00 29.0665 35.2550 4.82 210.75 2222
4.50 29.0581 35.2547 4.82 210.66 2222
5.00 29.0483 35.2542 4.85 211.70 2222
5.50 29.0395 35.2558 4.85 211.67 2222
6.00 29.0334 35.2557 4.84 211.54 2222
6.50 29.0311 35.2559 4.85 211.68 2222
7.00 29.0255 35.2556 4.86 212.37 2222
7.50 29.0214 35.2550 4.87 212.74 2222
8.00 29.0154 35.2547 4.84 211.48 2222
8.50 29.0094 35.2538 4.82 210.68 2222
9.00 29.0051 35.2531 4.83 210.95 2222
9.50 29.0008 35.2526 4.84 211.28 2222
10.00 28.9998 35.2523 4.82 210.71 2222
10.50 28.9925 35.2517 4.82 210.65 2222
11.00 28.9824 35.2503 4.82 210.46 2222
11.50 28.9781 35.2498 4.80 209.51 2222
12.00 28.9755 35.2496 4.79 209.27 2222
12.50 28.9646 35.2489 4.83 210.98 2222
13.00 28.9498 35.2473 4.87 212.67 2222
13.50 28.9465 35.2468 4.85 211.88 2222
14.00 28.9436 35.2465 4.83 211.02 2222
14.50 28.9241 35.2458 4.82 210.67 2222
```

avec :

-1ère ligne : intitulé de la campagne.

-2nde ligne : indications de l'indice de la station, de la palanquée et du nombre de données du profil.

-3ème ligne : date, et heure (TU).

-4ème ligne : position (degrés, minutes.centèmes).

-5ème ligne : code des paramètres (p, T, S, O2, nombre de mesures considérées pour le calcul des valeurs, code de qualité des valeurs)

-6ème ligne : unité des paramètres.

La signification des codes de qualité est la suivante :

Code	Définition
1	Non calibré
2	Mesure acceptable
3	Mesure douteuse
4	Mauvaise mesure
5	Non reporté
6	Interpolé sur un intervalle supérieur à 2 bar
7	Pics anormaux éliminés
8	Pas défini pour les mesures CTD-02
9	Non échantillonné

A noter que :

- les mesures sont fournies tous les décibars.
- les valeurs les plus proches de la surface sont extrapolées (de façon constante) jusqu'à la surface $p=0$ lorsqu'elles ne se trouvent pas initialement à ce niveau.

Les profils individuels CTD sont donnés page 88 à 120. Les figures ci-dessous donnent les coupes par sections.

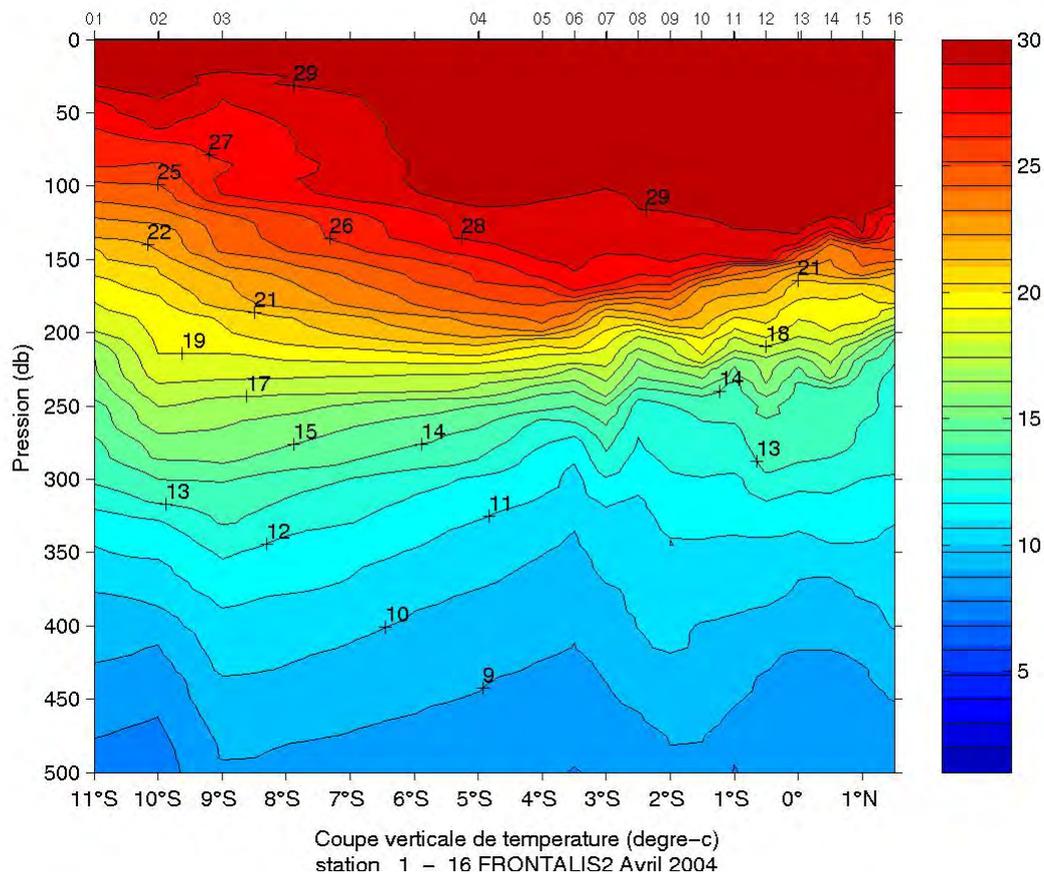


Figure 6 : Température sur la radiale montante

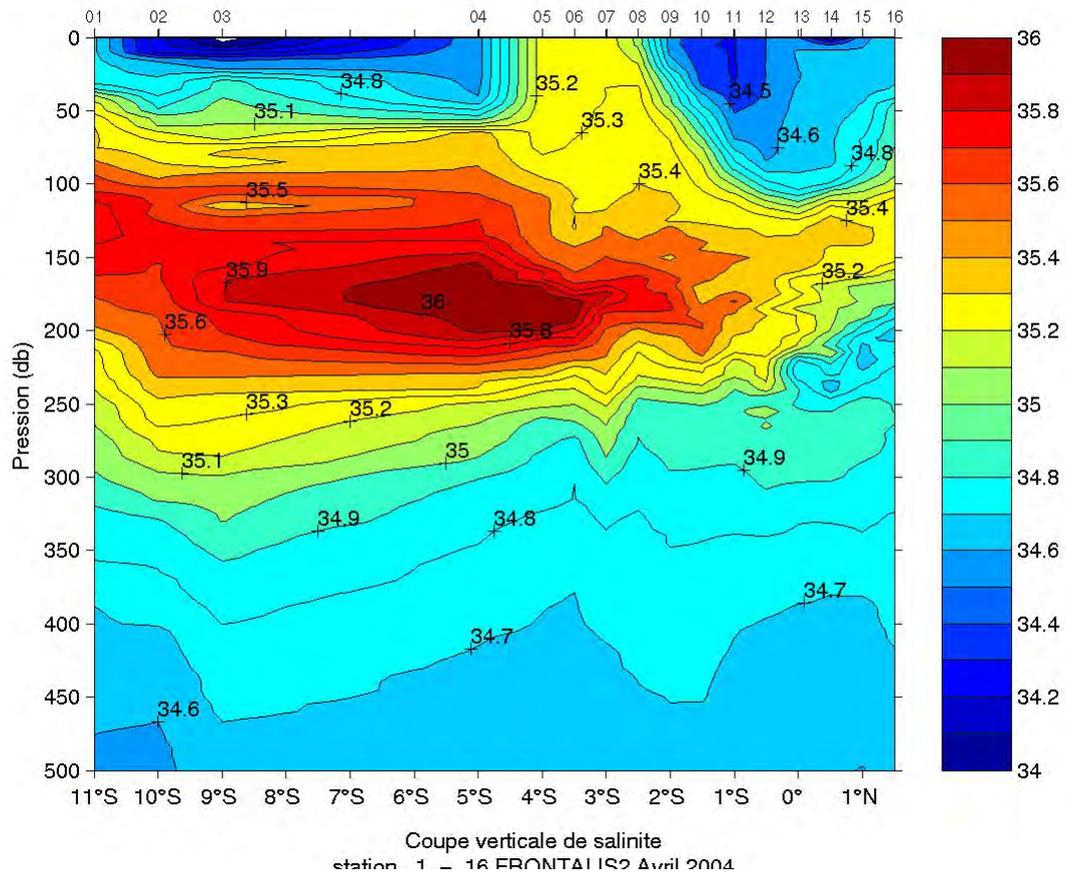


Figure 7 : Salinité sur la radiale montante

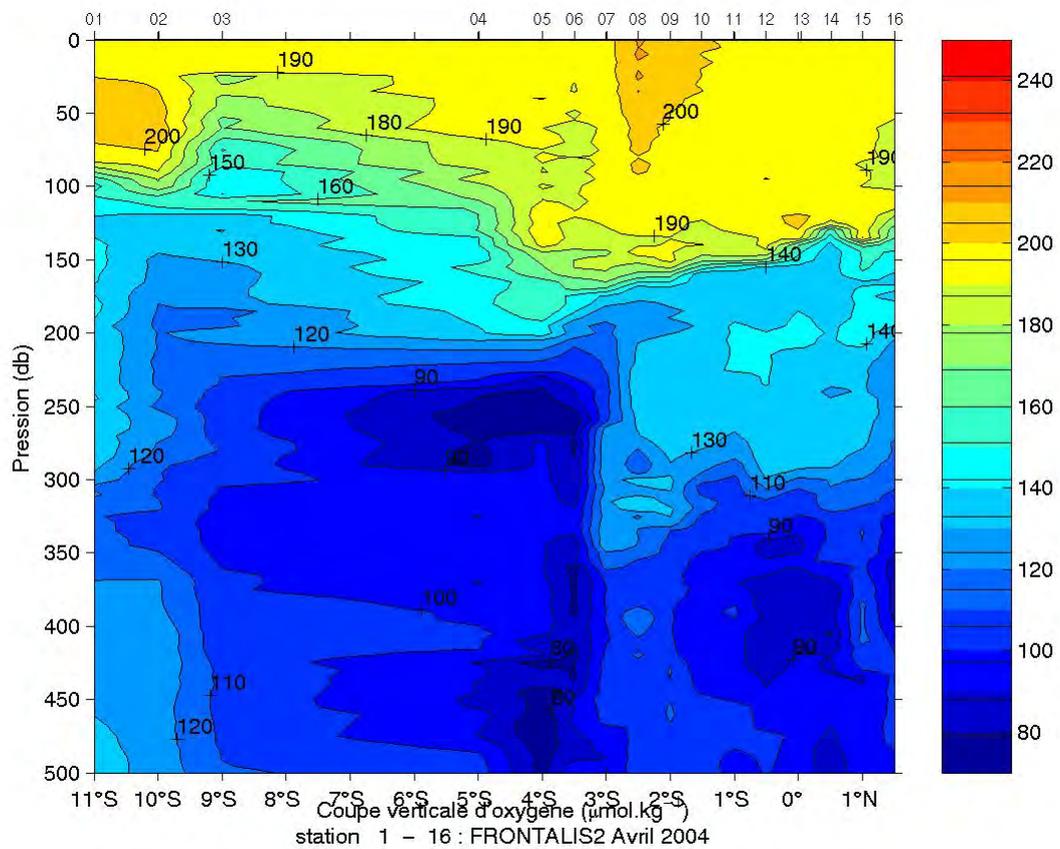


Figure 8 : Oxygène sur la radiale montante

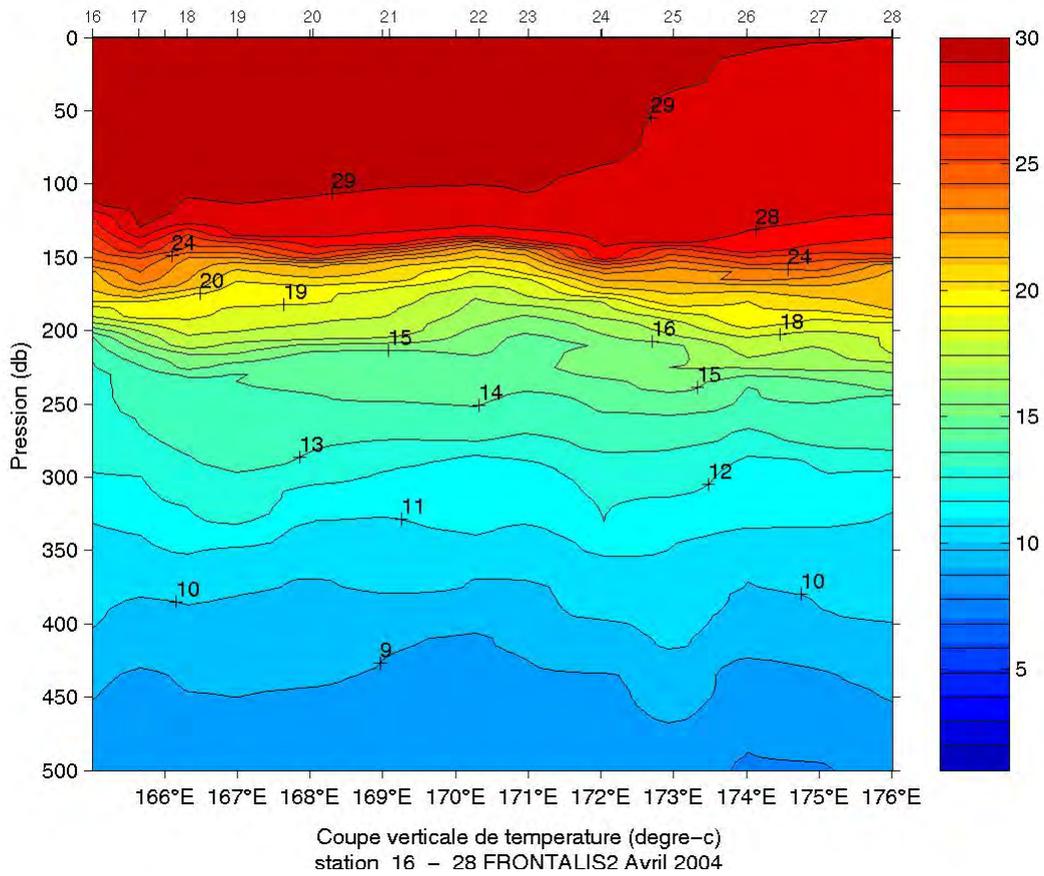


Figure 9 : Température équatoriale-aller

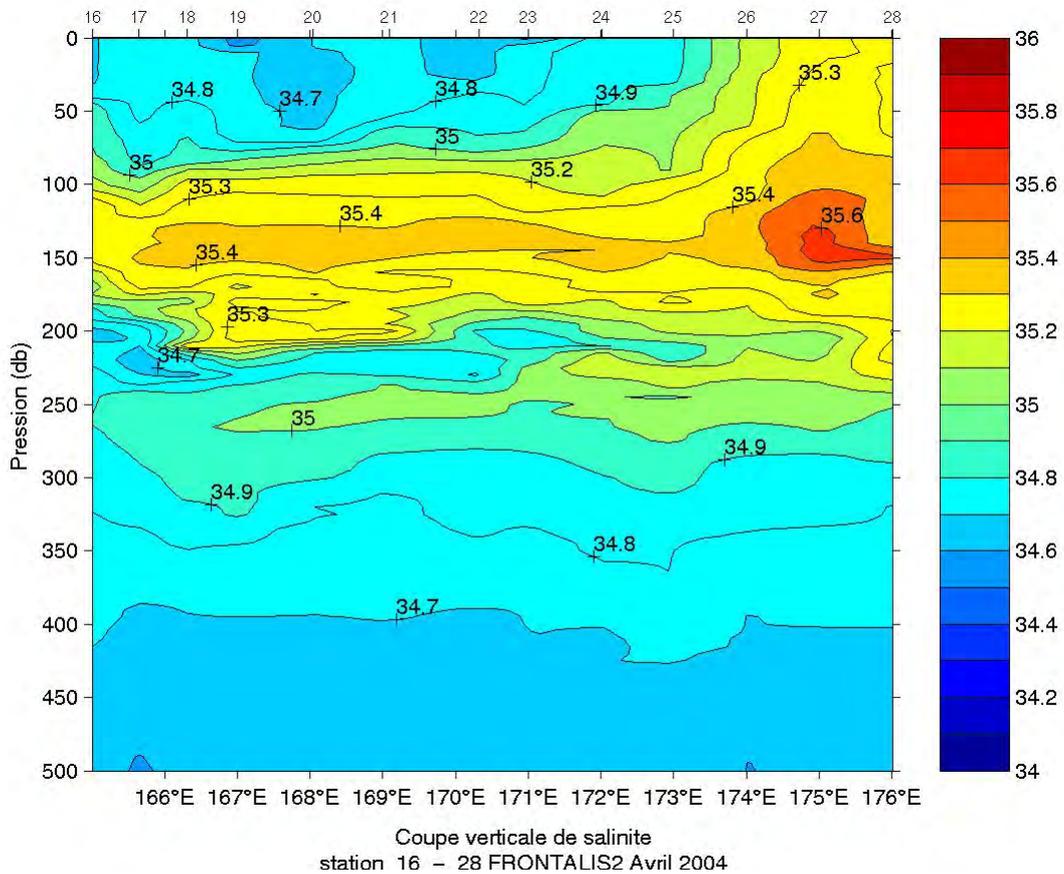


Figure 10 : Salinité équatoriale-aller

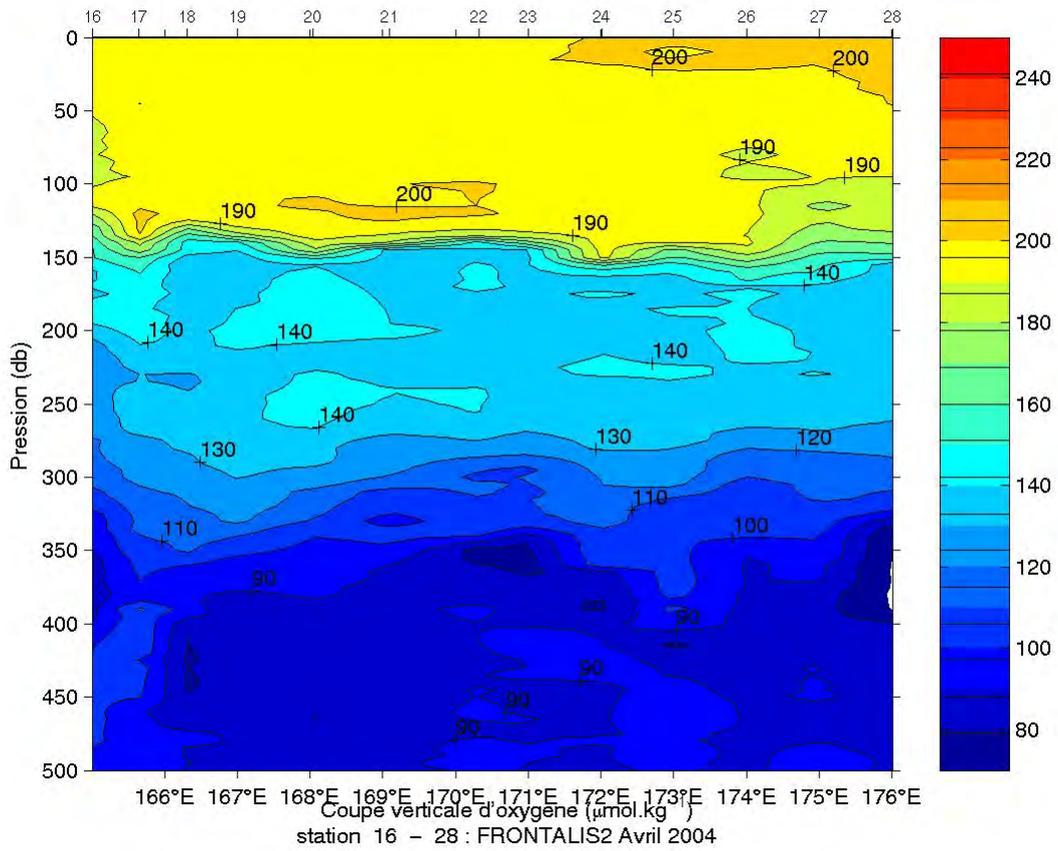


Figure 11 : Oxygène équatorial-aller

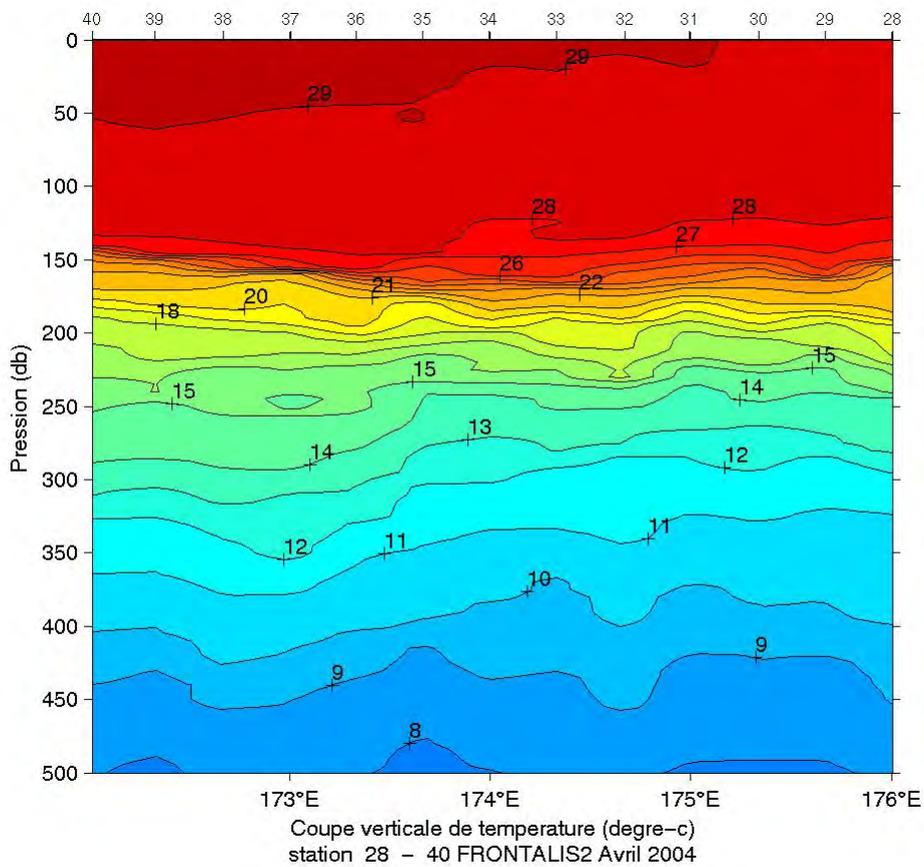


Figure 12 : Température Papillon-zonal

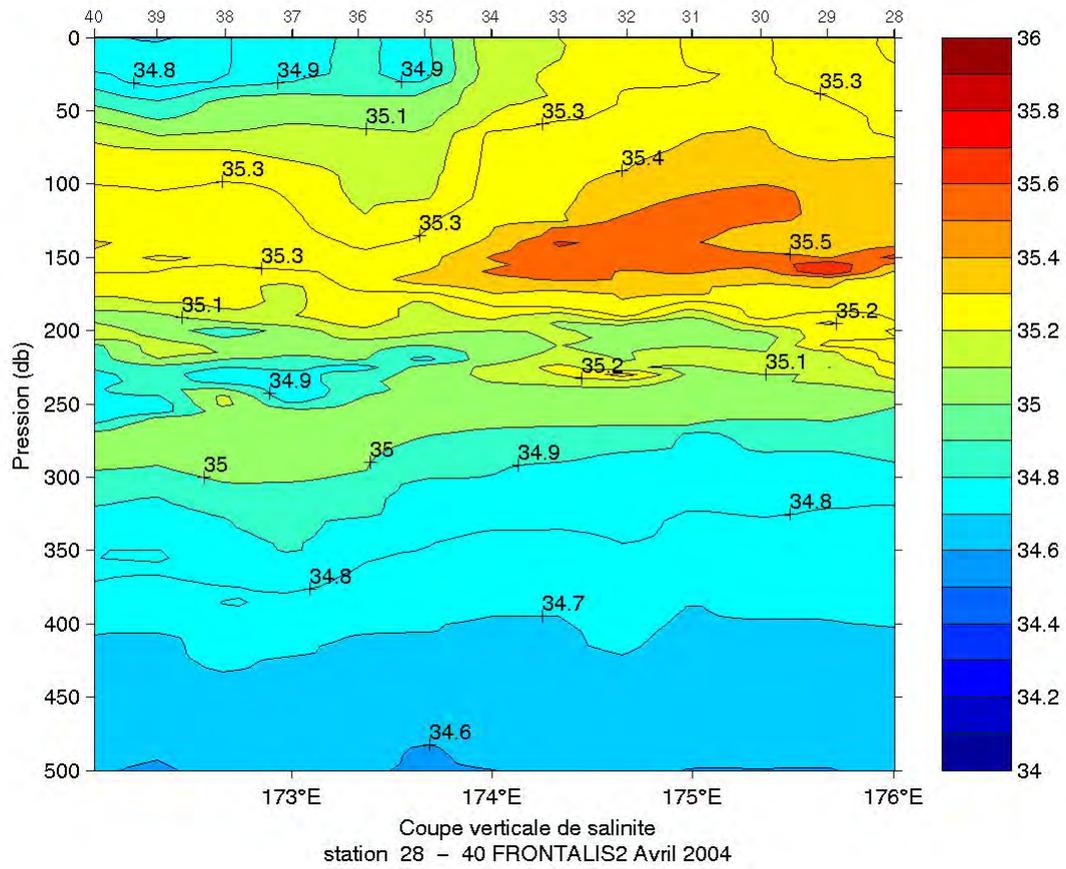


Figure 13 : Salinité Papillon-zonal

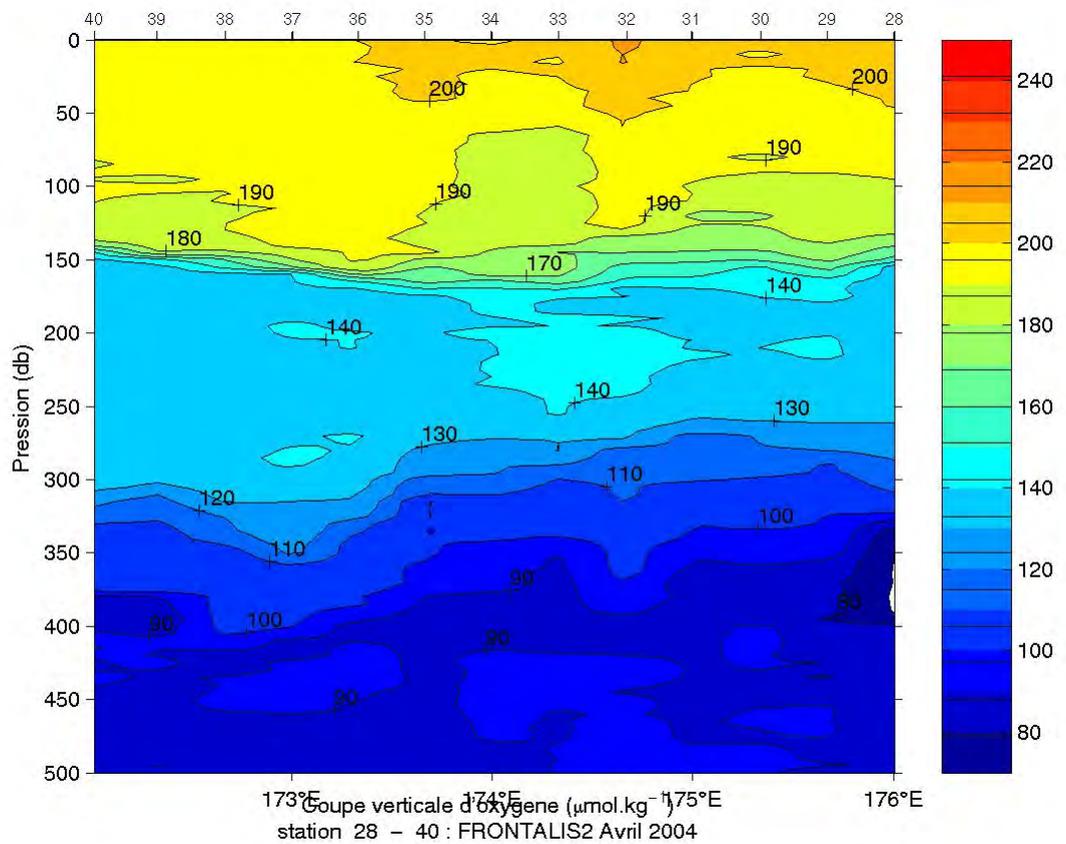


Figure 14 : Oxygène Papillon-zonal

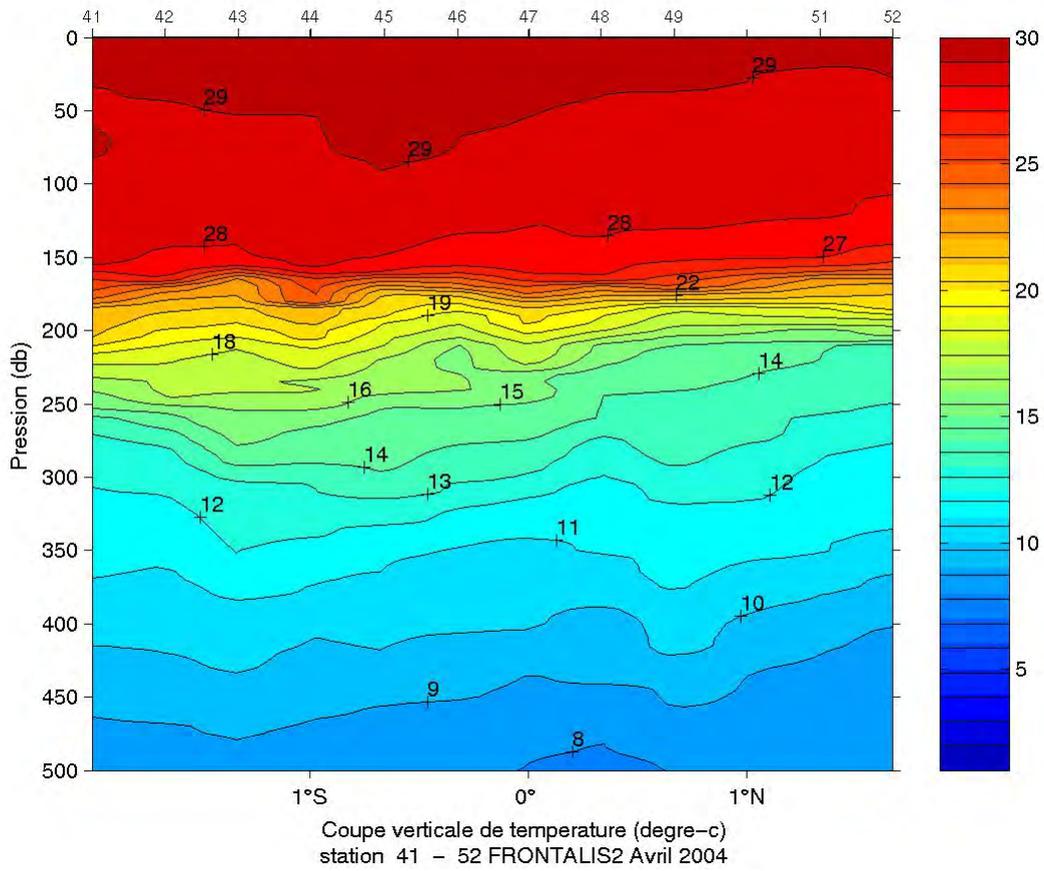


Figure 15 : Température Papillon-méridien

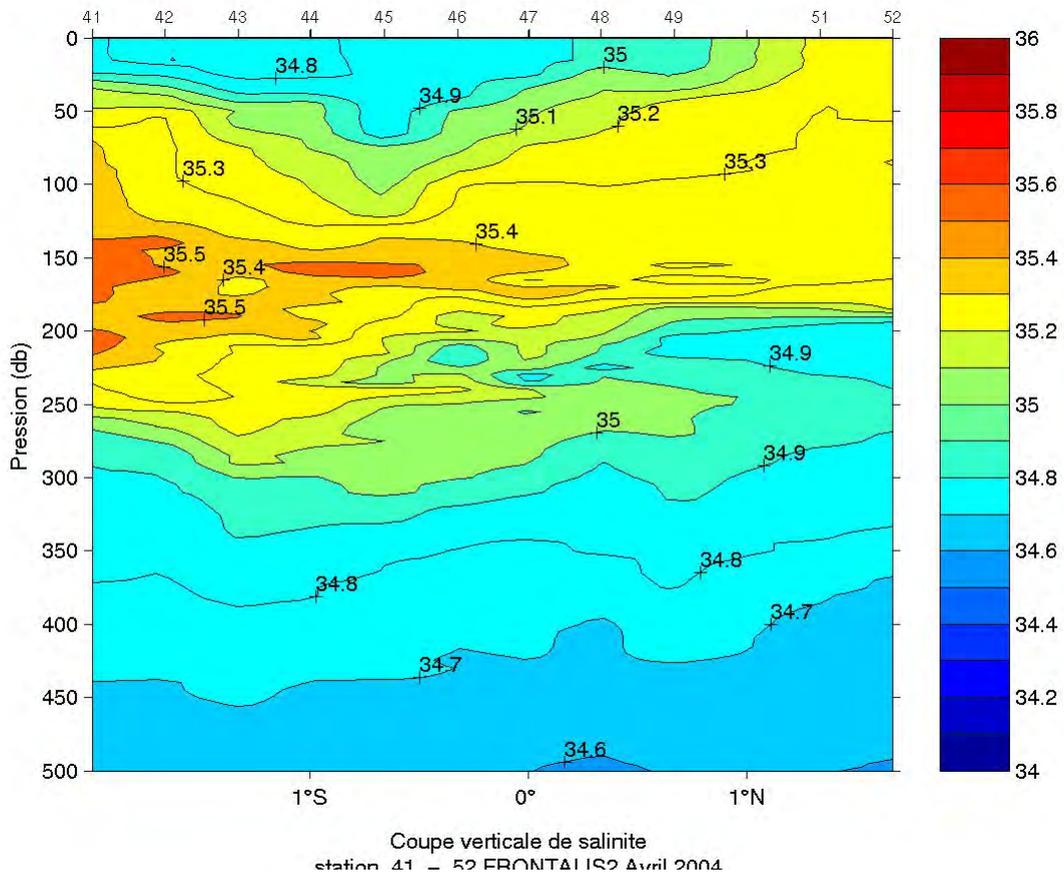


Figure 16 : Salinité Papillon-méridien

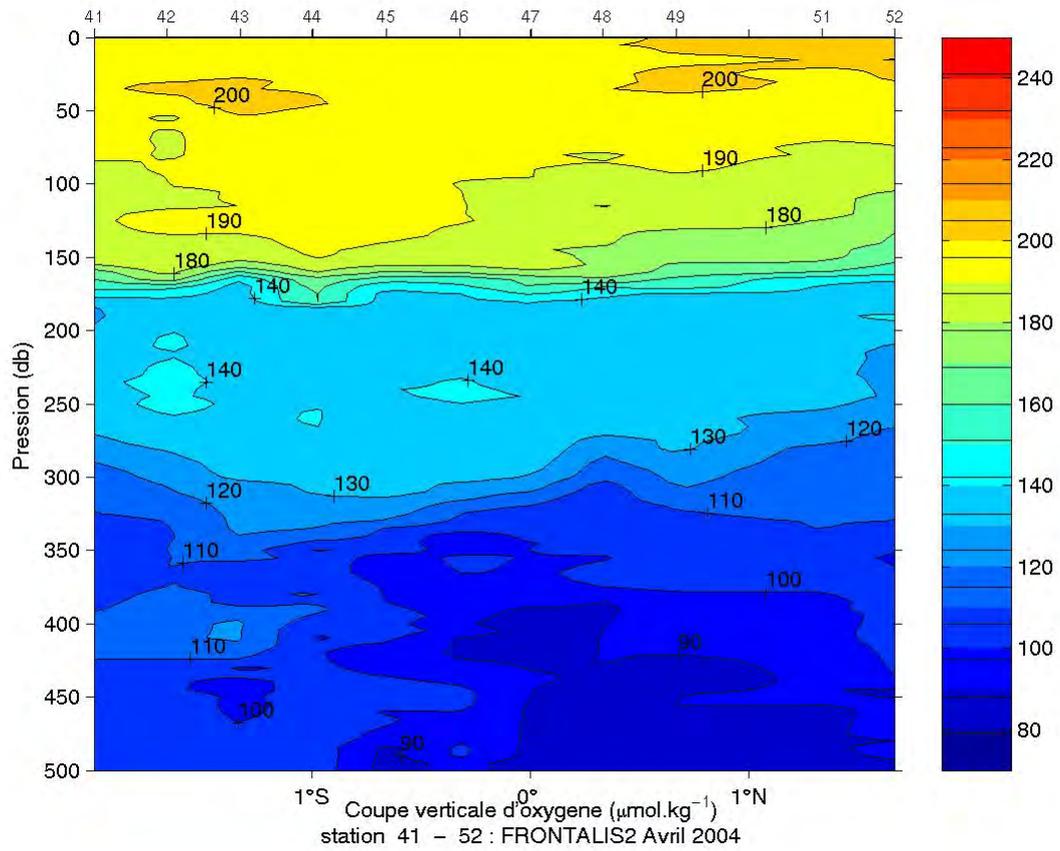


Figure 17 : Oxygène Papillon-méridien

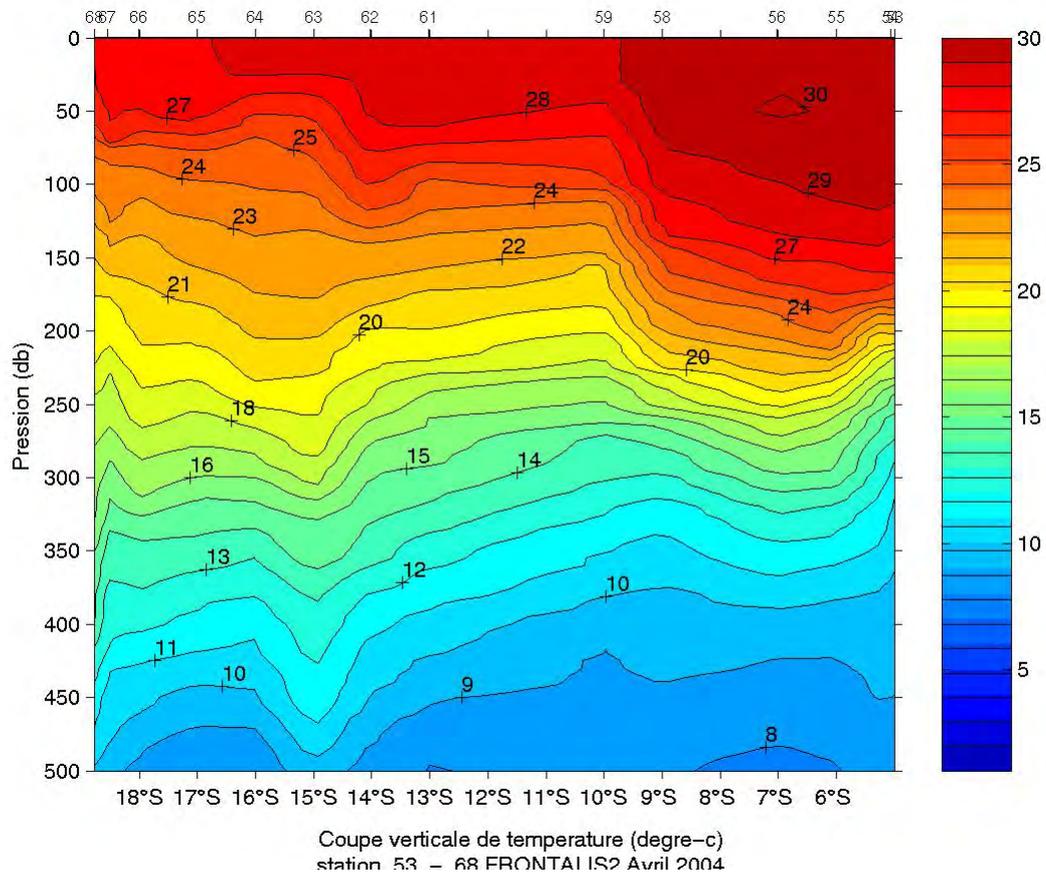


Figure 18 : Température radiale descendante

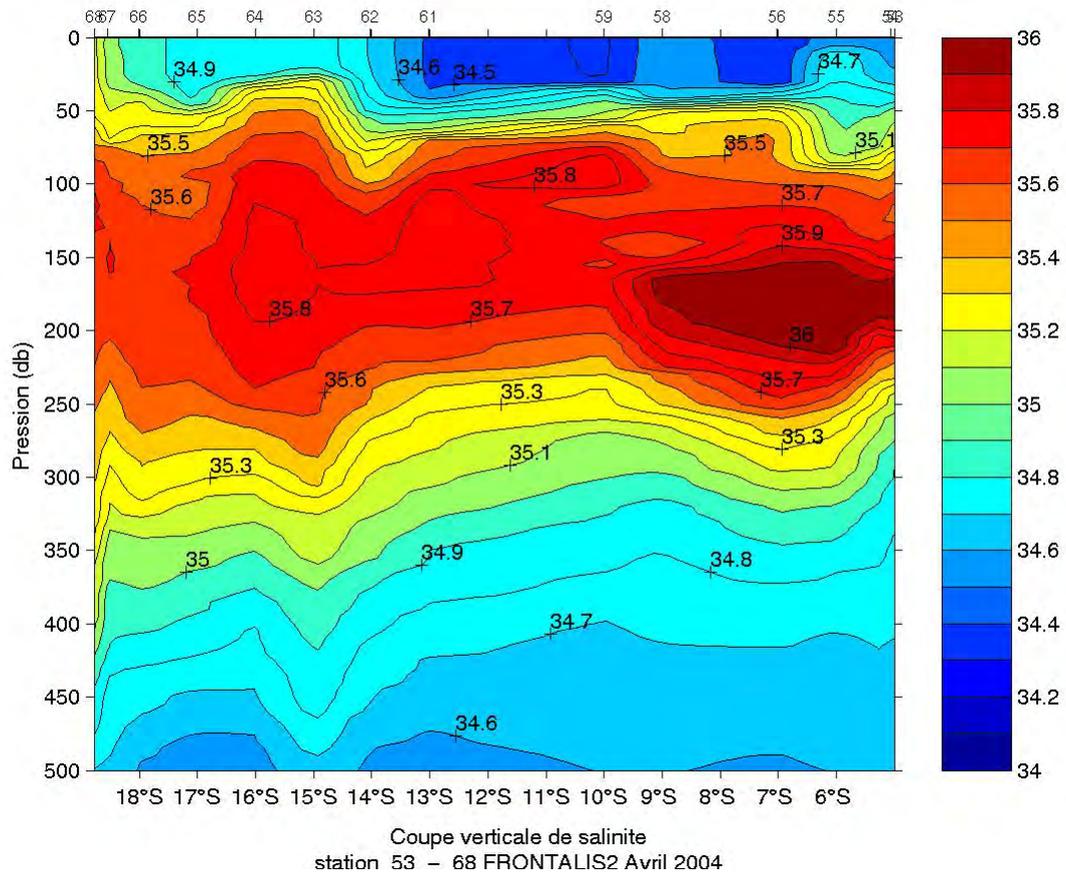


Figure 19 : Salinité radiale descendante

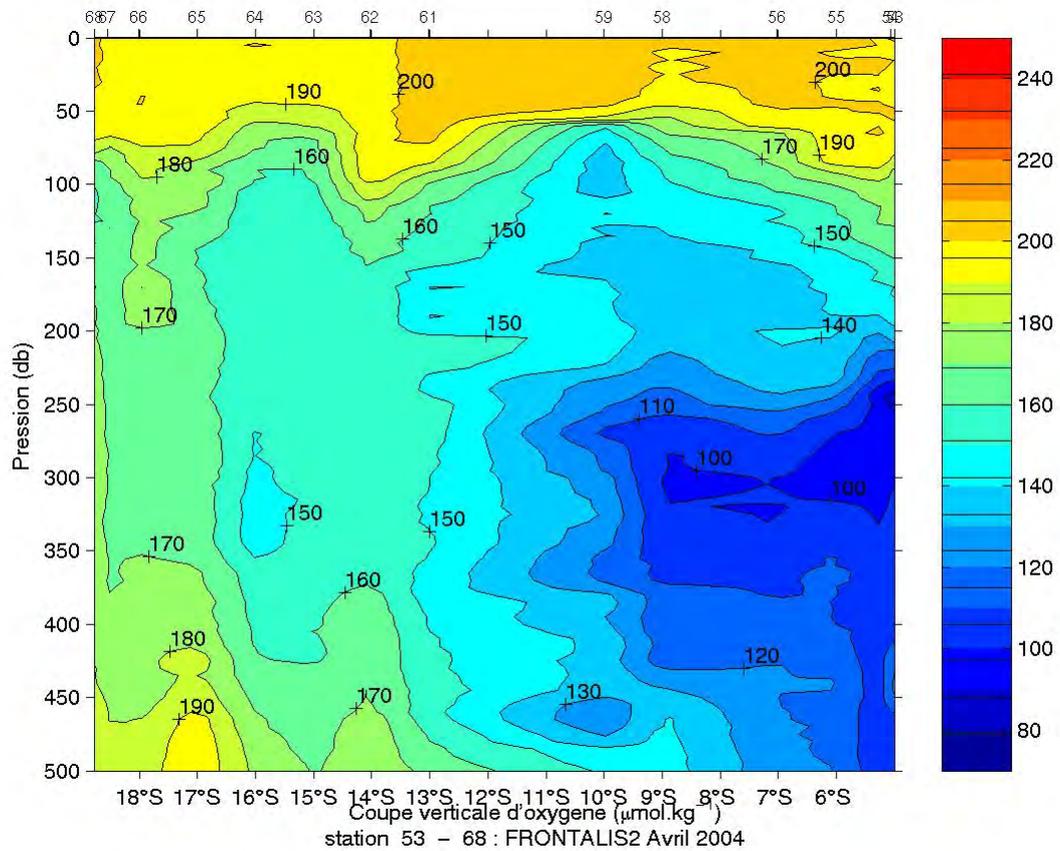


Figure 20 : Oxygène radial descendante.

3.2 Mesures de salinité

A chaque station des prélèvements étaient effectués à différents niveaux pour l'analyse de la salinité et de l'oxygène dissous, ce afin de pouvoir calibrer les données issues de la sonde SBE911+. Cette sonde était équipée d'un capteur d'oxygène SBE33 (type seabird), de deux capteurs de conductivité, de deux capteurs de température et d'un capteur de pression. Ces capteurs ont été calibrés avant et après la campagne. Les prélèvements étaient effectués entre 100db et la surface. Les exigences des biologistes n'ont pas permis d'échantillonner en profondeur, là où les structures océanographiques sont les plus stables, ni de faire des doublets à chaque station. En moyenne 6 prélèvements par station ont été effectués. A la station 54 tous les prélèvements ont été effectués à 500db.

Vu l'exiguïté du laboratoire et les problèmes de régulation de température, les analyses n'ont pu être réalisées dans les mêmes conditions que celles rencontrées lors des missions WOCE. Néanmoins le travail a pu se réaliser dans des conditions raisonnables. Les analyses de salinité ont été effectuées en soirée, là où la température du laboratoire était beaucoup plus stable, (réglage de la température du bain), les échantillons restants stockés sur le pont après les prélèvements et mis en place au fur et à mesure dans le laboratoire pour leur analyse, ce afin de mieux gérer l'espace disponible du laboratoire.

Définition

La salinité est représentée par un rapport de conductivité, qui pour une eau de mer standard à 15°C, contenant par définition 32,4356g de KCL (UNESCO,1981), a pour valeur 35,0000 PSU (Practical Salinity Unit). C'est à partir de cette définition que la relation permettant de calculer la salinité a été établie:

$$S = a_0 + a_1RT^{1/2} + a_2RT + a_3RT^{3/2} + a_4RT^2 + a_5RT^{5/2} \\ + (T-15) / (1+k(T-15)) * (b_0 + b_1RT^{1/2} + b_2RT + b_3RT^{3/2} + b_4RT^2 + b_5RT^{5/2})$$

avec:

$a_0 = 0,0080$	$b_0 = 0,0005$	$k = 0,0162$
$a_1 = -0,1692$	$b_1 = -0,0056$	
$a_2 = 25,3851$	$b_2 = -0,0066$	
$a_3 = 14,0941$	$b_3 = -0,0375$	
$a_4 = -7,0261$	$b_4 = 0,0636$	
$a_5 = 2,7081$	$b_5 = -0,0144$	
$\Sigma a_i = 35,0000$	$\Sigma b_i = 0,0000$	

RT : Rapport de conductivité mesuré

T: Température du bain thermostaté du salinomètre

Remarque: Cette relation n'est valable que pour des mesures effectuées à une pression de 1 atm, pour une échelle de température comprise entre -2°C et 35°C et pour une salinité comprise entre 2 et 42 PSU.

3.2.1 Prélèvement des échantillons

Les échantillons sont recueillis dans des flacons de 200 ml dont l'étanchéité est assurée par une capsule en plastique et un bouchon en bakélite. Avant chaque prélèvement trois rinçages des flacons, des capsules et des bouchons sont effectués. Les échantillons sont entreposés dans le laboratoire biologique de N/O Alis, dont la température a varié entre 25°C et 29°C. Les échantillons sont analysés au maximum dans les 48 heures qui suivent leur prélèvement.

3.2.2 Equipement

Appareils de mesure

Les mesures sont faites avec un salinomètre Guildline de type Portasal modèle 8410. La résolution de cet appareil est de 0,0003 équivalent PSU, à 15°C et pour une salinité de 35 PSU.

Eau Normale

La calibration du salinomètre est effectuée grâce à des ampoules d'eau normale (IAPSO, Standard Seawater) du lot P140 K15=0,99991 du 10 novembre 2000, fabriquées par Ocean Scientific International à Wormley (Royaume Uni).

Mesures

Calibration ou standardisation du salinomètre

La température du bain thermostaté est fixée pour cette campagne entre 26 et 30°C, c'est à dire entre 1 et 2°C de plus que la température ambiante du laboratoire, et ceci afin d'améliorer les conditions d'analyses. Ce réglage n'a pas été toujours évident. Initialement le salinomètre est standardisé en utilisant au moins deux ampoules d'eau normale. Ensuite avant de commencer une série d'analyses, la standardisation est vérifiée puis ajustée si la valeur de la salinité s'écarte de plus de 0,0005 PSU de la valeur de la standardisation précédente. Deux ampoules d'eau normale, au moins, sont utilisées dans le cas où il est nécessaire de refaire la standardisation.

3.2.3 Analyse des échantillons

En fin d'analyse, la stabilité du salinomètre est contrôlée en vérifiant la standardisation avec une nouvelle ampoule d'eau normale. La nouvelle valeur lue est notée sur la feuille d'analyse de la station. En cas de dérive du salinomètre, les valeurs de salinité notées lors de l'analyse des échantillons sont corrigées en admettant une dérive linéaire. Puis une nouvelle standardisation est effectuée avec au moins deux ampoules d'eau normale. La dérive moyenne entre deux standardisations (après analyse de deux stations) est de $-2,1 \cdot 10^{-5} \pm 0,00045$ PSU.

L'opération de rinçage de la cellule de mesure du salinomètre avec de l'eau de l'échantillon est répétée trois fois avant de faire une première lecture. Après une nouvelle évacuation et remplissage de la cellule, une deuxième mesure est effectuée. Si l'écart de salinité entre les deux mesures est supérieur à 0,0002 PSU, une autre lecture est nécessaire. La mesure est considérée comme bonne quand elle est reproductible au moins deux fois avec un écart de salinité de moins de 0,0002 PSU.

La mesure retenue est la moyenne de ces deux lectures.

Pendant cette campagne les valeurs obtenues lors des vérifications en fin d'analyse étant satisfaisantes, nous n'avons pas effectué de corrections sur les mesures.

3.2.4 Résultats

Précision

La précision des résultats de mesure est principalement appréciée par la répétitivité des résultats sur des séries d'échantillons identiques prélevés à un même niveau de profondeur au cours de la station "test" présentées ci-après: les prélèvements, lors de la station 54 ont été faits à une pression égale à 500 dbar, ce qui nous permet de mieux estimer la répétitivité des résultats au cours de la campagne FRONTALIS2.

STATION	54
Niveau de fermeture des bouteilles	500
Nombre de bouteilles	11
Valeur moyenne de salinité	34.64799
Ecart type des valeurs mesurées	0,0009181

On peut donc considérer d'après les résultats de l'ensemble de la station "test", que la précision des mesures de salinité durant FRONTALIS2 est en moyenne 0,00092 PSU.

La précision des mesures est également estimée par l'analyse de doublets d'échantillons obtenus à partir de deux bouteilles fermées au même niveau tout au long de la campagne. Pendant cette campagne deux doublets ont été faits à 500db, les dix autres entre la surface et 200 dbar. Le calcul de l'écart type ('Standard deviation' selon le manuel DOE , 1994), sur le lot de 10 doublets, par la formule:

$$S = \{ \sum di^2 / 2n \}^{1/2}$$

di: écart entre les doublets
ni: nombre de doublets

Cela permet d'estimer la répétitivité des résultats de salinité à 0.007 PSU, en considérant tous les doublets. Cette valeur est bien entendue supérieure à celle obtenue lors des analyses de la station 54, les doublets étant faits dans des zones de gradient. Pour mémoire lors des campagnes WOCE les doublets pris en compte étaient prélevés entre 5000 et 500 dbar.

3.3 Mesures d'oxygène

3.3.1 Technique d'échantillonnage

Les échantillons sont recueillis dans des flacons, en verre et munis d'un bouchon plongeur, d'environ 120 ml. Lors du prélèvement, une prise de température est effectuée avant de laisser déborder trois fois l'équivalent de volume du flacon.

Après addition successive de 1 ml de chaque réactif de fixation (MnCl₂, puis NaOH/NaI), le flacon est hermétiquement fermé et agité pendant 30 secondes environ. Lorsque l'ensemble des échantillons a été prélevé, les flacons sont retournés un à un pour remise en suspension du précipité, puis à l'aide d'un élastique on fixe le bouchon et on les immerge dans un seau pour éviter l'entrée d'air et ensuite ils sont entreposés à l'abri de la lumière dans le laboratoire où la température ambiante était comprise entre 25 et 30°C, pendant un minimum de 3 heures avant d'être analysés dans un délai maximum de 24 heures.

3.3.2 Analyse des échantillons

Mode opératoire

Au départ de la mission nous avons été confrontés à des problèmes liés au fonctionnement de la chaîne d'analyse. Nous n'arrivions pas à trouver le point d'équivalence et l'analyse s'arrêtait au deuxième point d'équivalence. Nous avons tout suspecté sans trouver de solutions. Est ce un problème d'électrode, les paramètres du dosimètre étant corrects (vérification auprès d'André Billant et de Pierre Branellec du Laboratoire d'Océanographie Physique de l'Ifremer). Aussi de la station 1 à 19, le mode opératoire choisi a été le dosage avec indicateur (amidon). L'amidon du laboratoire étant inactif, nous avons utilisé un produit de cuisine, la « maïzena ». (Une cuillère à café dissoute dans 100 ml d'eau distillée). Puis nous avons décidé de faire le dosage avec une nouvelle électrode, celle utilisée lors de la précédente campagne SECALIS avec un autre mode d'opération, après avoir vérifié que lors

de l'introduction de cette électrode dans le flacon il n'y aurait pas de perte de volume d'échantillon. Cela était fort juste, puisque le bas de l'électrode arrivait au milieu du flacon et l'échantillon à 1 cm de la collerette. Mais les premiers essais ont été concluants et nous avons continué ainsi pendant le reste de la campagne.

Cette électrode avait été écartée, car elle déplaçait trop de volume et lors des essais au laboratoire de Nouméa avec Philippe Gérard nous avons pensé qu'au vu des nouveaux flacons calibrés elle aurait un volume trop important.

Les conditions opératoires et la méthode d'analyse mise au point au centre IRD de Brest sont conformes aux recommandations du manuel d'opération WOCE (WOCE Opération Manual, 1991). Elle est identique à celle suivie pendant la campagne EQUALANT 2000 (Chuchla et al., 2001).

Les analyses sont effectuées dans le laboratoire où la température a varié entre 18 et 30 °C, au cours de la campagne. Pendant l'analyse d'une série d'échantillons des stations l'écart en température n'a pas dépassé 3°C ainsi que lors des étalonnages.

La totalité de l'échantillon est acidifiée dans le flacon de prélèvement et l'iode libéré est dosé par une solution de thiosulfate de sodium dont la normalité est de l'ordre de 0.02N.

Nous avons utilisé le titroprocesseur 682 Metrohm associé à une électrode de platine et une burette à piston Dosimat 665 Metrohm.

La vitesse d'injection du thiosulfate est maximale jusqu'à détection du début de saut de potentiel, puis ralentie et se fait pas à pas par injection de 0,01 cm³ autour du point d'équivalence. La stabilisation du potentiel, après dépassement de l'équivalence, provoque l'arrêt de l'injection du thiosulfate et le titroprocesseur détermine automatiquement le point d'inflexion sur la courbe de potentiel et le volume de thiosulfate associé, qu'il suffit de noter.

La méthode de dosage présente une très bonne répétabilité des résultats car entièrement automatisée. La qualité des mesures est néanmoins très dépendante des précautions prises au cours des prélèvements des échantillons, de la vérification de la volumétrie et de la concentration des réactifs.

3.3.3 Précautions particulières

Volumétrie

La verrerie utilisée (flacons de prélèvement, dispensettes pour réactifs, pipette automatique, ...) est calibrée suivant le principe de la double pesée et les indications de la balance sont vérifiées puis corrigées par comparaison avec deux séries de poids étalons. Toutes les corrections recommandées par WOCE (température, poussée de l'air,...) ont été appliquées aux pesées. Le volume des flacons de prélèvement est déterminé à $\pm 0,003$ cm³ en répétant trois fois au minimum l'opération de double pesée. Le volume moyen des flacons utilisés est de 120.78 cm³. Le volume des 2 dispensettes (introduction des réactifs de fixation dans les prélèvements) est déterminé à 0,998 cm³ (MnCl₂) et 0,994 cm³ (NaOH/NaI) à 20°C; on apporte donc une correction de -0,008 cm³ sur le volume théorique (2cm³ à 20°C) des réactifs introduits dans l'échantillon.

Le volume de la burette automatique délivrant l'iodate de potassium pour déterminer la normalité du thiosulfate de sodium est égal à 5,0019 cm³ à 20°C (volume théorique: 5 cm³). Une correction de 0,0019 cm³ est par conséquent appliquée sur chaque volume de iodate de potassium délivré, rapporté à une température de 20°C. L'indication de volume de la burette à piston qui délivre le thiosulfate de sodium pour le dosage a été vérifiée en plusieurs points dans la gamme utile comprise entre 1 et 10 cm³. Pour un volume théorique de 5 cm³, le volume délivré par la burette est: 4,99985 cm³ à 20°C. Une correction de -0,00015 cm³ est aussi appliquée sur chaque volume de thiosulfate de sodium délivré rapporté à une

température de 20°C. Toutefois cette correction n'est pas indispensable, le volume affiché par la burette Dosimat l'étant à 0.001 cm³ près.

Concentration des réactifs

La concentration des réactifs de fixation de l'oxygène est celle indiquée par Carpenter (1965). Ils sont préparés avec des produits de pureté garantie "pour analyse". La solution de iodate de potassium qui sert de référence pour les mesures est préparée à partir d'une pesée de cristaux dont le degré de pureté ($100 \pm 0,05\%$) est garanti par un certificat d'analyse du fournisseur (BAKER). La dissolution de 3,5671g de KIO₃ dans une fiole jaugée de 5000 cm³ fournit une solution de référence dont la normalité est de $1,99958.10^{-2} \text{ N} \pm 0,0005.10^{-2}$ à 20°C.

L'incertitude admise dans la valeur de la normalité correspond à la somme de l'incertitude sur le volume de la fiole jaugée indiquée par le fournisseur (1,2 cm³ à 20°C), soit 2.10^{-6} et de celle sur la pesée ($\pm 0,01\text{mg}$), soit 3.10^{-6} . Cette solution de référence est conservée dans trois flacons ambrés d'un litre, à l'abri de la lumière, en attente d'utilisation pendant la campagne.

3.3.4 Contrôle des réactifs pendant la campagne

Détermination du blanc d'analyse

Quotidiennement, avant la série d'analyses des échantillons, 3 dosages successifs permettent de déterminer le blanc des réactifs en mélangeant 1cm³ de chacun des trois réactifs à 100 cm³ d'eau distillée. Pendant toute la campagne la valeur moyenne du blanc obtenue est 0 cm³.

Détermination de la normalité du thiosulfate de sodium

Une solution de 10 litres de thiosulfate a été préparée en début de campagne. La préparation donne une normalité voisine de 0,02 N. Chaque jour, la burette automatique qui délivre le thiosulfate est complétée à 1 litre avec la solution de stockage. La normalité du thiosulfate est obtenue par un dosage quotidien de 5 prises d'essai d'iodate de potassium de référence.

La moyenne de ces 5 dosages permet de déterminer la "valeur journalière" de la normalité si l'écart type est jugé acceptable. Dans le cas contraire, une nouvelle série est effectuée. Le suivi quotidien de l'évolution de la normalité du thiosulfate permet de détecter toute anomalie et de procéder à toutes les vérifications avant d'admettre cette valeur applicable aux analyses du jour. La Figure 21 permet de visualiser l'évolution du titre du thiosulfate. On remarque que le titre a légèrement évolué sur l'ensemble de la durée de la campagne.

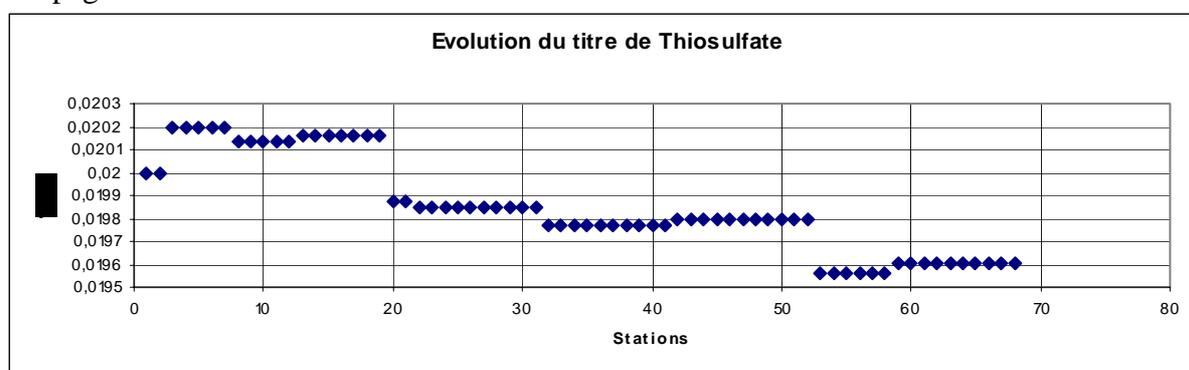


Figure 21 : Evolution du titre du thiosulfate.

3.3.5 Détermination de la concentration d'oxygène des échantillons

Les dosages sont effectués à une température moyenne de 22°C, ce qui oblige à effectuer les corrections de température sur les volumes des réactifs de iodate et de thiosulfate délivrés. La totalité du volume prélevé étant dosée directement dans le flacon, la concentration d'oxygène est obtenue en utilisant la formule recommandée dans le document WOCE Opération Manual (1991).

$$O_2 \text{ (ml l}^{-1}\text{)} = \frac{(\text{V}_x - \text{V}_{\text{blk,dw}}) * \text{V}_{\text{IO}_3^-} * \text{N}_{\text{IO}_3^-} * 5598}{(\text{V}_{\text{std}} - \text{V}_{\text{blk,dw}})} - 1000 * \text{DO}_{\text{reg}}$$

$$\text{(V}_{\text{bot}} - \text{V}_{\text{reg}} \text{)}$$

avec:

V_x	= volume de thiosulfate pour le dosage de l'échantillon (cm ³)
$\text{V}_{\text{blk,dw}}$	= volume de thiosulfate pour le blanc avec eau distillée (cm ³)
V_{std}	= volume de thiosulfate pour la détermination de la normalité (cm ³)
V_{bot}	= volume du flacon de prélèvement (cm ³)
V_{reg}	= volume des réactifs introduits dans l'échantillon (cm ³)
$\text{V}_{\text{IO}_3^-}$	= volume de la prise d'essai du iodate de référence (cm ³)
$\text{N}_{\text{IO}_3^-}$	= normalité de l'iodate
DO_{reg}	= 0.0017 cm ³ , valeur absolue de l'apport d'oxygène par les réactifs (Murray et al, 1968).

Dans le cas d'EQUALANT 2000, nous avons les valeurs suivantes :

$\text{V}_{\text{blk,dw}}$	= " valeur journalière "
V_{std}	= " valeur journalière "
V_{reg}	= 2 cm ³ à 20°C (après correction)
$\text{V}_{\text{IO}_3^-}$	= 5 cm ³ à 20°C (après correction)
$\text{N}_{\text{IO}_3^-}$	= 1.99959.10 ⁻² N

Le résultat du calcul de concentration d'oxygène est converti en micromoles par kilogramme (µmol kg-1), et tous les contrôles sont effectués dans cette unité.

La température des échantillons étant notée au moment des prélèvements, la masse d'échantillon sur laquelle est fixé l'oxygène est connue.

Le calcul suivant permet de transformer toutes les valeurs, exprimées en ml l-1, en micromoles par kilogramme (µmol kg-1) en utilisant la formule :

$$O_2 \text{ (}\mu\text{mol kg}^{-1}\text{)} = \frac{44.660 * O_2 \text{ (ml l}^{-1}\text{)}}{\rho_{\text{sw}}}$$

dans lequel ρ_{sw} correspond à la densité de l'échantillon à la température de prélèvement (Millero and Poisson,1981).

Résultats

La précision des résultats de mesure est appréciée principalement par la répétabilité des résultats sur des séries d'échantillons identiques prélevés à un même niveau de profondeur au cours de la station "test" présentée ci-après:

La station 54 a été prélevée à une pression égale à 500 dbar (zones de gradient vertical minimale d'oxygène), ce qui nous permet de mieux estimer la répétabilité des résultats au cours de la campagne FRONTALIS2.

Station	54
Niveau de fermeture des bouteilles	500
Nombre de bouteilles	11
Valeur moyenne de l'Oxygène ($\mu\text{mol kg}^{-1}$)	97.816
Ecart type des valeurs mesurées ($\mu\text{mol kg}^{-1}$)	0.475

On peut donc considérer d'après les résultats de l'ensemble de la station "test", que la précision des mesures de concentration en oxygène dissout durant FRONTALIS2 est en moyenne 0,475 $\mu\text{mol kg}^{-1}$.

La précision des mesures est également estimée par l'analyse de doublets d'échantillons obtenus à partir de deux bouteilles fermées au même niveau à différentes stations: 10 doublets ont ainsi été réalisés pendant la campagne FRONTALIS2. L'analyse montre que pour les 10 doublets retenus (deux doublets présentant des valeurs aberrantes probablement suite à des incidents lors des prélèvements ont été rejetés) à une pression comprise entre 0 et 500 dbar.

Le calcul de l'écart-type ('Standard deviation' selon le manuel DOE, 1994), sur le lot des 60 doublets, par la formule:

$$S = \{ \sum d_i^2 / 2n \}^{1/2}$$

d_i : écarts entre les doublets

n: nombre de doublets

permet d'estimer la répétabilité des résultats de concentration en oxygène dissout à 0,81 $\mu\text{mol kg}^{-1}$. Ce résultat est bien entendu supérieur à celui obtenu pour la station test, la majorité des doublets étant prélevés dans la zone de gradients entre la surface et 200 dbar.

3.4 Thermosalinographe

La température et la salinité de surface (ou de la proche surface) ont été mesurées 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 LabView. 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 (1996) et Prunier-Mignot et al. (1999). Le système SBE-45, beaucoup moins onéreux, installé pour test depuis la campagne Frontalis-1 pour une utilisation éventuelle sur les navires marchands était monté en parallèle avec le SBE-21 (voir rapport de mission Frontalis-1).

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 1784	03/09/2003	26/05/2005	29.10^{-5}
SBE21, S 1784	03/09/2003	26/05/2005	$2.4.10^{-3}$
SBE45, T	18/06/2001	NA	
SBE45, S	18/06/2001	NA	

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

Les mesures TSG ont été comparées aux mesures par prélèvement de surface pour chaque station. Cette comparaison a montré, à une précision de 0.02 PSU, une dérive linéaire sur toute la campagne pour la sonde SBE21. La salinité a été corrigée sachant que Salinité (Prélèvements-SBE21)=0.0009dt (la courbe de tendance n'a pas d'écart initial, le système étant considéré comme calibré au départ). Les données TSG de salinité de surface ont ainsi été corrigées en considérant les mesures bouteilles comme représentant la vérité terrain Figure 22.

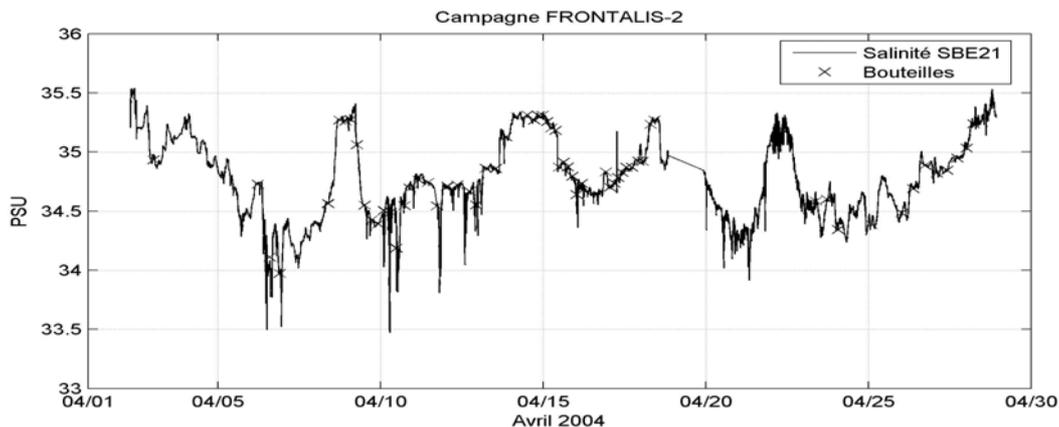


Figure 22 : Données salinité du TSG SBE 21. Les croix dénotent les prélèvements bouteille.

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 le Tableau 3.

	Moyenne des différences	Ecart type des différences
Salinité (prélèvements-SBE21, psu)	-0.00106 psu	0.011 psu rms

Tableau 3 : Moyennes et écart-types des différences entre les salinités et températures mesurées par TSG (SBE21) et celles mesurées par prélèvements en surface, après correction des mesures TSG basée sur un ajustement aux mesures prélèvements.

Sur la première partie de la campagne (avant le 18 avril), le TSG SBE45 produit des données de salinité très similaires avec un biais quasiment constant de salinité (SBE21-SBE45)=0.058 PSU (Figure 23), avec un écart-type d'environ 0.02 sur cet écart. Après l'escale, cet écart moyen est similaire, mais avec un écart-type plus élevé (0.1).

Les valeurs TSG de salinité de surface des deux parties de la campagne sont présentées Figure 24 en fonction de la latitude ou de la longitude. Noter que seules les valeurs issues de la sonde SBE21 sont présentées.

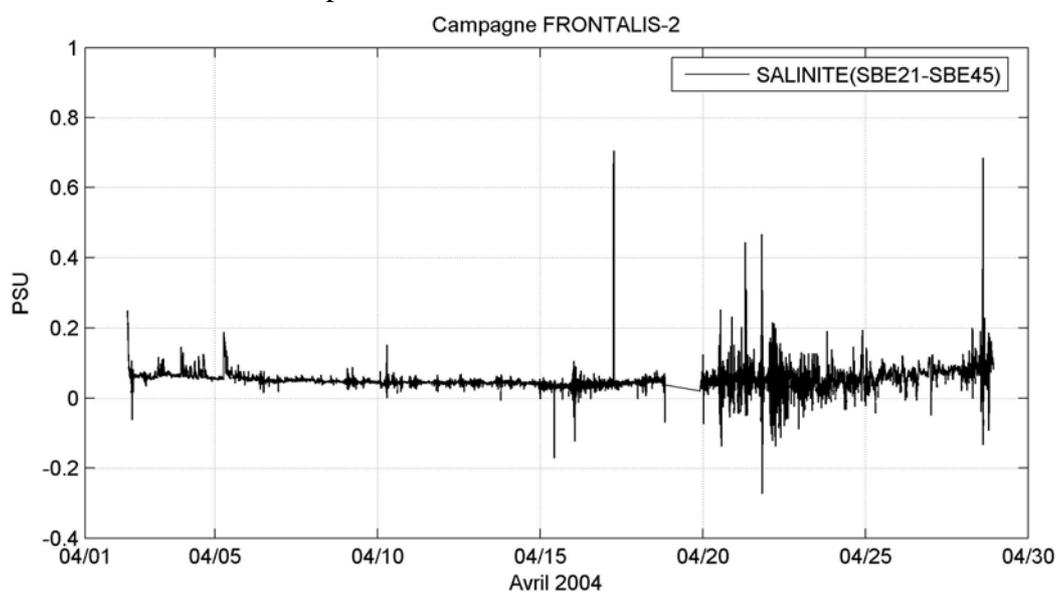


Figure 23 : Différence entre les données issues du TSG SBE 21 et celles du TSG SBE 45.

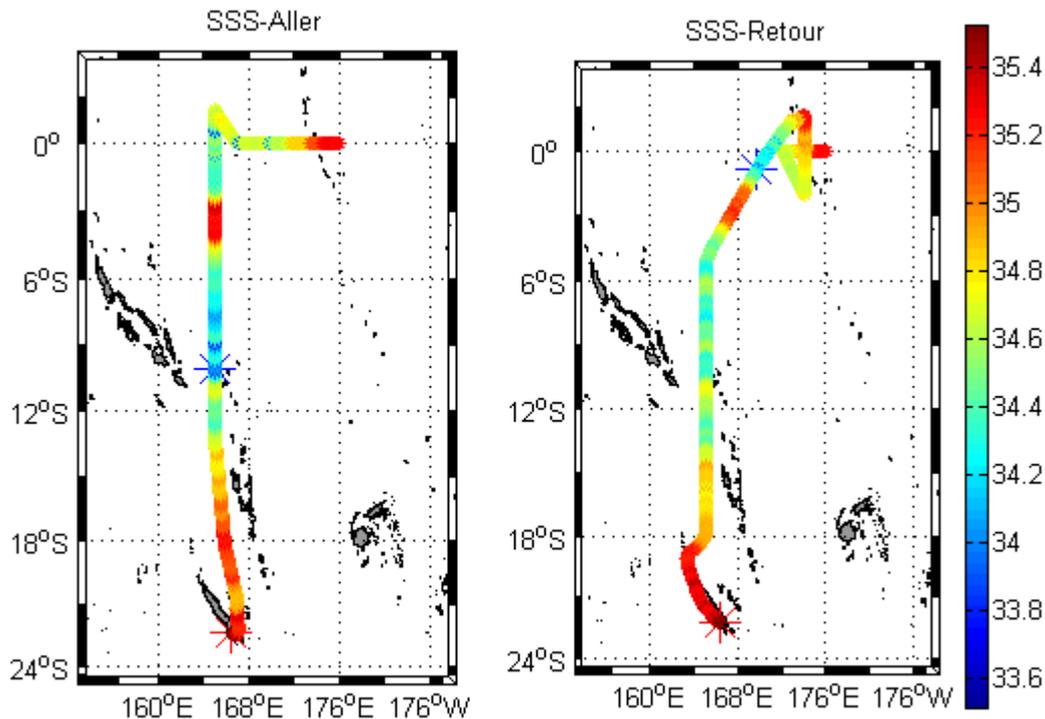


Figure 24 : Données TSG 21 de salinité sur l'aller (gauche) et le retour (droite) de la campagne. Les étoiles rouge et bleue dénotent respectivement le maximum et le minimum de salinité.

4 Courantométrie ADCP de rosette (LADCP)

4.1 Introduction: Mesures avec le profileur de courant à effet Doppler 'Profond' (LADCP)

Des mesures de courant absolu en continu de la surface au fond de l'océan sont accessibles depuis quelques années en fixant un courantomètre à effet Doppler sur une bathysonde, le « Lowered Acoustic Doppler Current Profiler », ou LADCP (Fischer et Visbeck, 1993). Nous décrivons ici brièvement le principe des mesures et leur traitement, avant de présenter les résultats obtenus.

4.2 Principes de la mesure

Un nouveau système LADCP a été utilisé pour la première fois au cours de cette campagne. Il comporte deux profileurs « Workhorse 300 » (Modèle WH300, Nos de série 3992 et 3777) de la société RD Instruments (RDI), fonctionnant à une fréquence de 300 KHz. Ces appareils sont installés sur le bâti de la CTD/Rosette Sea-Bird, un à la base, émettant vers le bas (« looking down profiler »), et un au sommet du bâti, émettant vers le haut. Comme tous les ADCP, ces appareils émettent des trains d'ondes sonores ('ping') qui se réfléchissent sur les particules en suspension dans l'eau, supposées sans mouvement propre, et qui se déplacent avec les courants. La différence entre fréquence émise et réfléchi (effet Doppler) est proportionnelle à la composante de la vitesse des particules suivant l'axe de propagation de l'onde. Pour obtenir les 3 composantes de la vitesse, 4 faisceaux sont utilisés, inclinés à 30° de la verticale.

Pour chaque cycle de mesures, les ADCP évaluent 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 des appareils. Chaque

profil est découpé en segments uniformes, appelés cellules ('bins'); la vitesse associée à chaque cellule est une moyenne des vitesses mesurées sur l'épaisseur de la cellule. Les ADCP enregistrent: l'indice du cycle de mesures, le nombre de cellules, l'heure de l'acquisition, température, cap, tangage et roulis mesurés par capteurs internes, la vitesse du son utilisée. Outre les trois composantes de la vitesse sont enregistrés aussi: l'erreur de vitesse (différence des 2 estimations de vitesse verticale), l'intensité d'écho des ondes sonores, l'amplitude de corrélation et le pourcentage de données correctes. La mesure de ces paramètres 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.

Lorsque la bathysonde se déplace verticalement, les mesures individuelles des ADCP sont entachées d'un bruit très élevé à cause du mouvement propre tridimensionnel du système. Mais chaque cellule de mesure est insonifiée un grand nombre de fois, successivement par l'appareil regardant vers le bas et celui regardant vers le haut. C'est cette superposition des profils qui permet d'obtenir un profil continu de la surface au fond et qui diminue le bruit aléatoire de chaque ping.

L'utilisation de 2 WH300 procure une portée de mesure du même ordre que le précédent système (utilisé par exemple à FRONTALIS 01) composé d'un seul appareil « Broadband » à 150 kHz. Cependant, la configuration tête-bêche apporte une meilleure précision lorsque la bathysonde approche le fond ou la surface : un des 2 appareils enregistre toujours un profil complet.

4.3 Acquisition des mesures

En principe, les 2 WH300 doivent être synchronisés pour « pinger » en même temps, par une option du programme d'acquisition ; cette synchronisation a été impossible à mettre en œuvre, à cause d'un problème de configuration (la synchronisation ne se faisait pas si la vitesse d'échanges de données n'était pas identique dans chaque ADCP). Cependant cette désynchronisation n'a apparemment pas eu de conséquences sur la qualité des mesures. Les WH300 étaient alimentés au départ par un bloc de piles étanches, fourni par RDI, qui s'est complètement déchargé à la station 16. Pour la suite, le bloc de batteries Ni-Cd rechargeable utilisé lors des campagnes précédentes a été remis en service, avec recharges pendant les transits. Ce bloc a bien fonctionné, à quelques exceptions près décrites ci-dessous. Systématiquement, avant chaque profil les horloges des ADCP sont contrôlées et l'acquisition initialisée ; après chaque profil, les données sont récupérées et sauvegardées sur PC via liaisons RS-232; la mémoire des WH300 est ensuite vidée et la charge des batteries vérifiée. Un premier traitement des données (voir ci-dessous) est effectué.

Les paramètres d'acquisition utilisés sont résumés en Tableau 4. L'extension verticale du profil d'un cycle de mesures est alors d'environ 300 m.

Lors de la campagne, 59 profils ont été obtenus de la surface à environ 600 m et 7 jusqu'à 1100m (st. 62-68). Aux stations 50, 57 et 60 il n'y a pas eu d'enregistrement à cause de problèmes de batteries. Le traitement a fait apparaître des problèmes pour certains autres profils, ainsi que décrit dans le paragraphe suivant.

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 :	20
Epaisseur des cellules (en mètres) :	10
Vitesse du son (en m.s-1) :	1500
Salinité de l'eau de mer :	35

Tableau 4 : Principaux paramètres d'acquisition :

4.4 Traitement des mesures

Pour ce système à 2 ADCP, le seul logiciel de traitement disponible à la date de cette campagne était celui développé au Lamont-Doherty Earth Observatory (NY, USA) par M. Visbeck (voir par ex. <http://www.ldeo.columbia.edu/~visbeck/ladcp/>), et désigné ci-dessous comme logiciel LDEO. Contrairement au VM-ADCP (voir section précédente), le LADCP, au cours de son mouvement vertical avec la bathysonde, va enregistrer des profils successifs; et on obtient 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, peut être déterminée de deux manières:

1. Par intégration de la vitesse verticale mesurée par le LADCP à partir d'un temps initial. Ce calcul suppose que les mouvements verticaux des particules d'eau sont très faibles par rapport à la vitesse de descente de l'appareil.
2. En utilisant les mesures de pression fournies par la sonde CTD. La comparaison des mesures de temps de l'horloge interne du LADCP et de celle de la CTD à chaque mesure de la sonde permet d'attribuer une profondeur à chaque mesure du LADCP. Ceci réclame une bonne synchronisation au départ des horloges CTD et LADCP.

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 m.s-1. Celle-ci est recalculée lors du traitement pour chaque cycle de mesures à partir de la profondeur et de la température 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 verticale peut être reconstituée en connaissant parfaitement la position du LADCP en début et en fin de la station. Avec le système CTD employé, les temps et positions du navire sont enregistrés à chaque mesure CTD ; ceci fournit une contrainte supplémentaire permettant de préciser les mouvements propres de la bathysonde. De même si le profil atteint le fond (ce qui n'est pas le cas ici), les mesures « bottom track » fournissent une autre contrainte sur les mouvements de la CTD.

Le compas et les capteurs de roulis et tangage placés dans les 2 ADCP permettent d'avoir une image du comportement du châssis de la bathysonde lors des profils. On peut ainsi définir des seuils d'inclinaison et de rotation de la bathysonde au delà desquels les mesures ne sont plus considérées comme valables.

Le logiciel LDEO est écrit en MATLAB ; les principales opérations sont, pour chaque station :

1. Chargement des fichiers des 2 WH300, « up » et « down », avec vérification des checksums
2. Corrélation entre les profils « up » et « down » pour détection et correction d'une éventuelle erreur d'horloge entre les deux.

3. Elimination des bins présentant des valeurs de vitesse d'erreur, vitesse verticale, ou d'inclinaison des appareils supérieure à certains seuils.
4. Chargement du fichier CTD comprenant pression, température, temps et position GPS à chaque seconde, avec correction de décalage d'horloge par détection du point le plus profond atteint.
5. Calcul des vitesses « bottom track » si le fond est à portée.
6. Calcul par intégration des vitesses verticales de la profondeur de la sonde, avec correction de la vitesse du son grâce aux mesures CTD.
7. Calcul de profil de « super-ensembles », en moyennant toutes les données par tranches de profondeurs choisies par l'utilisateur ; élimination des « outliers » à 4 écart-types. Vérification des valeurs des caps des 2 WH300, corrections si nécessaires par comparaison, correction de la déviation magnétique, passage en coordonnées terrestres avant moyennes.
8. Calcul du « meilleur profil », intégrant la montée et la descente. Les composantes de courant sont calculées comme solutions d'un système d'équations linéaires intégrant les déplacements du bateau, les déplacements de la sonde par rapport au bateau, les données de bottom-track et éventuellement des données VM-ADCP. Notons que dans notre cas, bien que des données VM-ADCP existent elles n'ont pas été intégrées, afin de servir de comparaisons indépendantes aux données LADCP.
9. Sortie de différents graphiques correspondant à chaque étape, et enregistrement des profils et de données annexes sous différents formats : MATLAB, ASCII, et en option, NetCDF.

Le format ASCII est en clair. Le format MATLAB comprend 4 structures, dr, f, p, ps. La structure dr contient date, position et les tableaux z,u,v.

Un premier traitement a été effectué à bord après chaque station, avec les paramètres par défaut du logiciel. Après la campagne, les stations ont été retraitées en essayant différentes valeurs des paramètres (par exemple, valeurs des seuils d'élimination de données). On n'a pas constaté de grandes différences, et les valeurs finalement retenues sont données dans le Tableau 5.

Prof. 1er niveau	Niveaux verticaux	Utilisation positions CTD	Utilisation P et T CTD	Utilisation VM-ADCP	Max. vitesse d'erreur	Max horizontal vel.	Max cisaillement W	Inclinaison maxi.
10m	10m	oui	oui	non	0.2 m/s	2.5 m/s	0.008 s ⁻¹	22°

Tableau 5 : Principaux paramètres du traitement par le logiciel LDEO.

En l'absence de mesures de vitesse indépendantes en profondeur, il est impossible d'évaluer quantitativement l'erreur sur les vitesses calculées. La comparaison avec les données VMADCP est néanmoins intéressante. Pour chaque station, on calcule la moyenne des profils VM-ADCP pendant la durée de la descente/remontée de la sonde (environ 5 profils pour des sondes à 500m). Pour ce calcul, les données VM-ADCP sont d'abord ramenées sur les mêmes profondeurs que celles du LADCP. Cette comparaison est présentée pour chaque station sur les en Annexe 2, pages 122 à 185, ainsi qu'un résumé statistique ci-dessous Figure 25 ; cette comparaison, bien que relative, a amené aux conclusions résumées ci-dessous sur la qualité des profils.

Qualité des profils. Les profils sont classés du plus mauvais au meilleur accord LADCP/VM-ADCP. Le biais s'entend ici comme différence constante sur un profil entre mesures LADCP et VM-ADCP. (Tableau 6)

Coupes verticales de courants. Les coupes verticales de la composante zonale U et méridienne V du courant sont représentées Figure 26 à Figure 30 pour les différentes sections de la campagne. Les vitesses sont comptées positives (négatives) vers l'est (ouest) et le nord (sud). Notez le changement d'échelle verticale pour la dernière section.

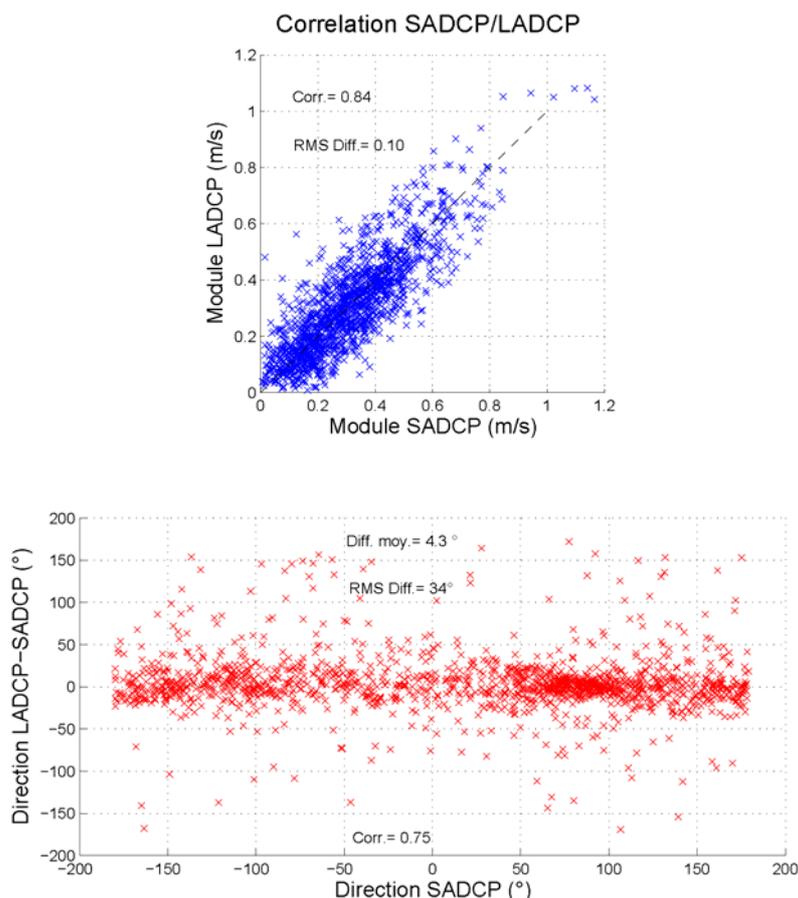


Figure 25: En haut, corrélation des modules de vitesses pour tous les niveaux des 64 profils valides. En bas, différences de direction.

St. 50, 57, 60 :	Pas de profils (pas de données acquises).
St. 16, 46 :	Profils supprimés (pas de données du WH300 up, très mauvais accord avec VM-ADCP.)
St. 49 :	Fort biais sur 10-50m. Fonctionnement partiel du WH300 up.
St. 1, 2, 8, 21, 45 :	Biais de 10-20 cm/s. Correspond à un fort taux de réjection de données suite à forte inclinaison de la sonde.
St. 13, 14, 24, 53, 55 :	Biais de 10-20 cm/s malgré de bonnes conditions d'acquisition. Pas d'explication.

St. 4, 31, 32, 35-40, 42, 44, 48 :	Différence de vitesse aux niveaux 10-20m, avec (VM-ADCP – LADCP) \geq 20 cm/s. On constate que ceci se produit surtout lorsque vents et courants de surface sont opposés (jet équatorial). Il est possible que le LADCP mesure une fine couche d'Ekman que le VM-ADCP ne peut détecter.
Autres stations :	Très bon accord LADCP/VM-ADCP.

Tableau 6 : Classement des profils par qualité croissante.

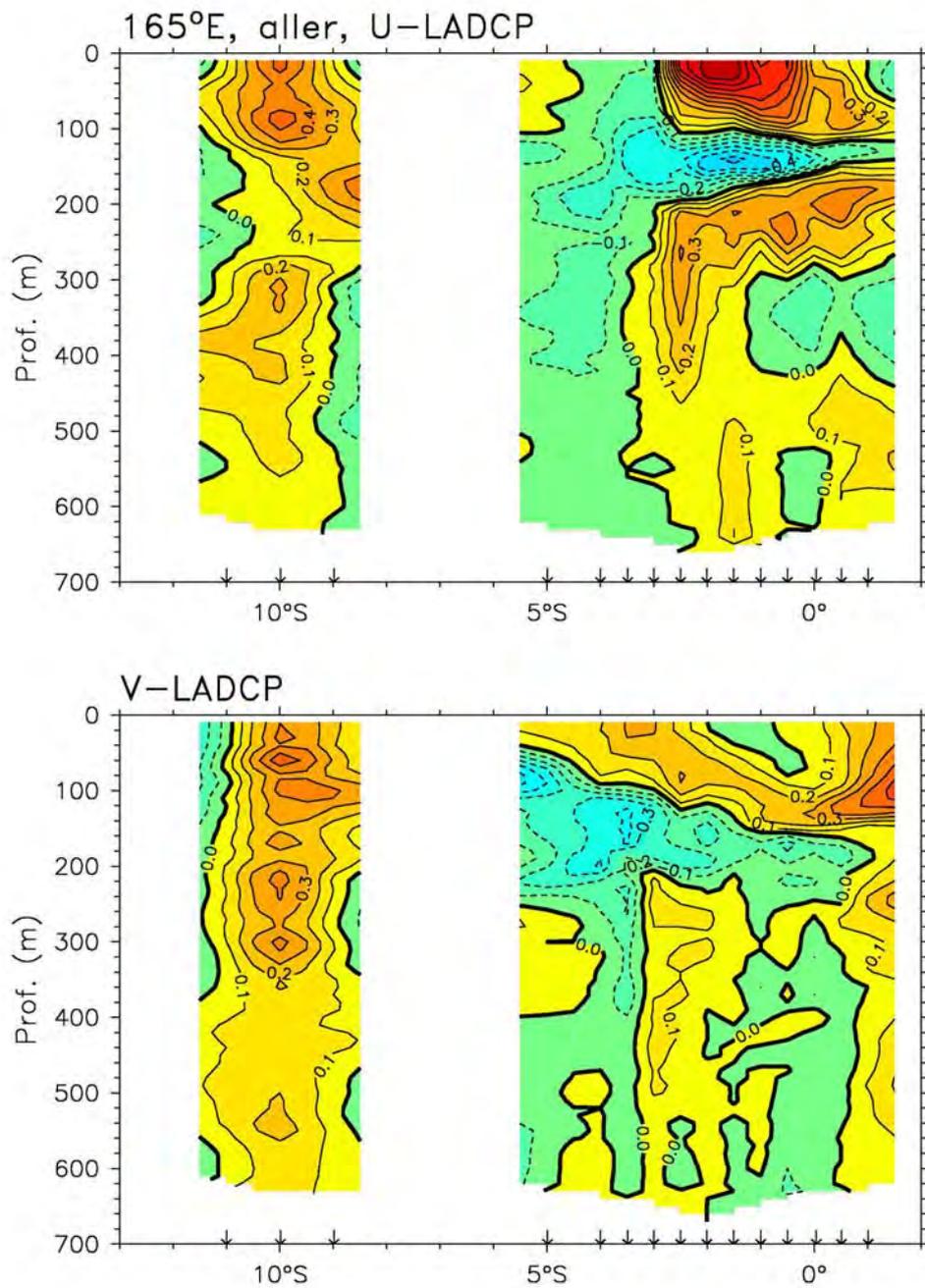


Figure 26 : Section LADCP, radiale montante

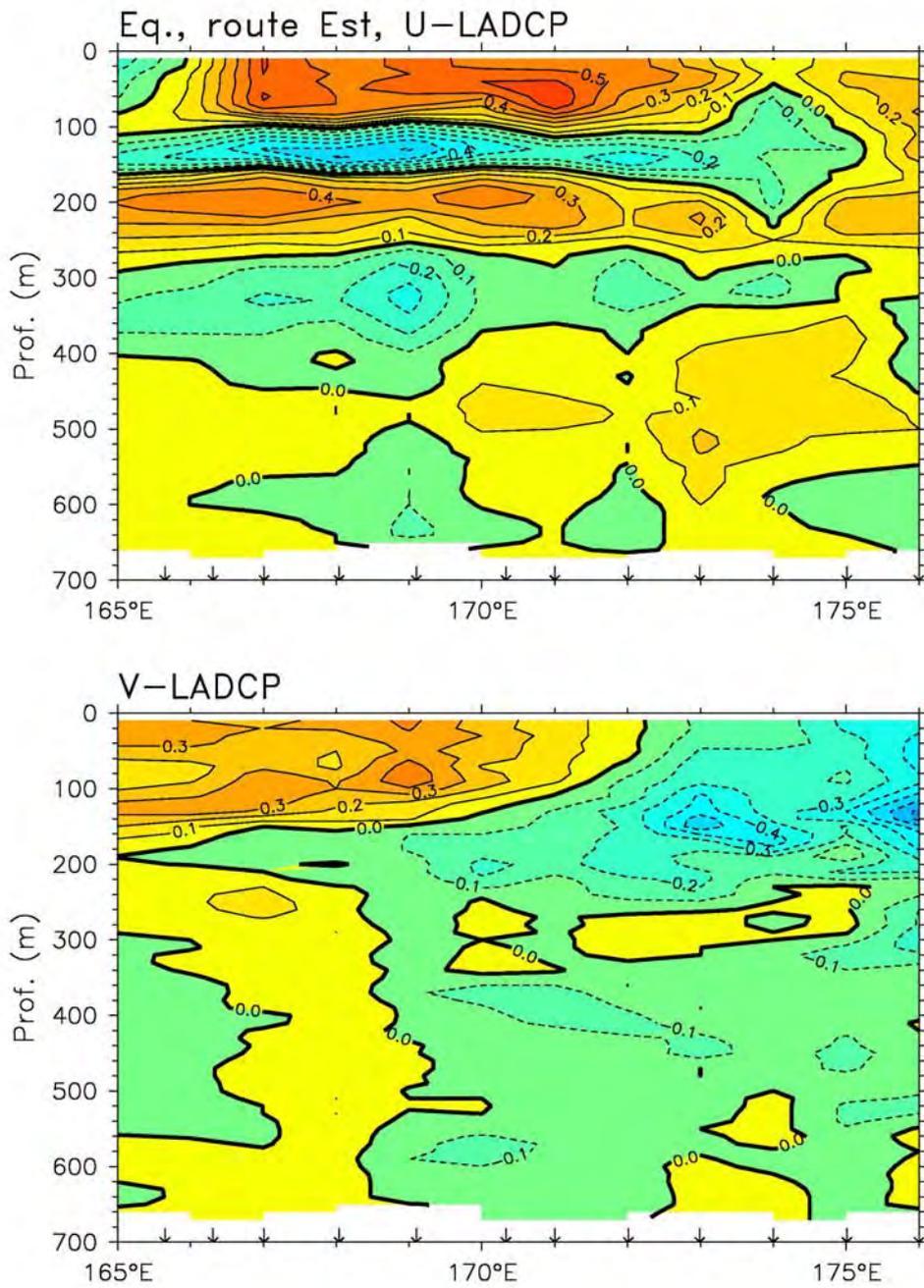


Figure 27 : Section LADCP, équateur

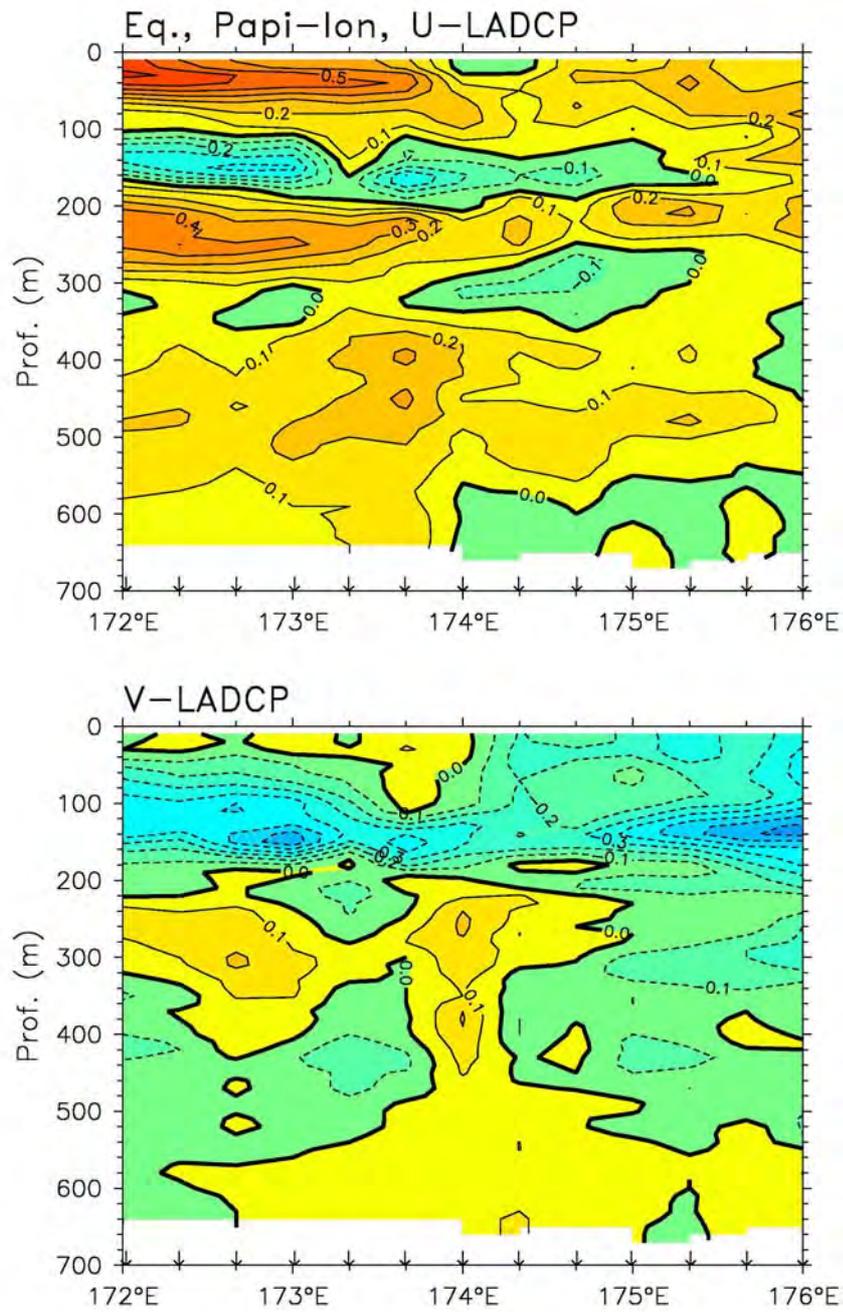


Figure 28 : Section LADCP, Papillon zonal

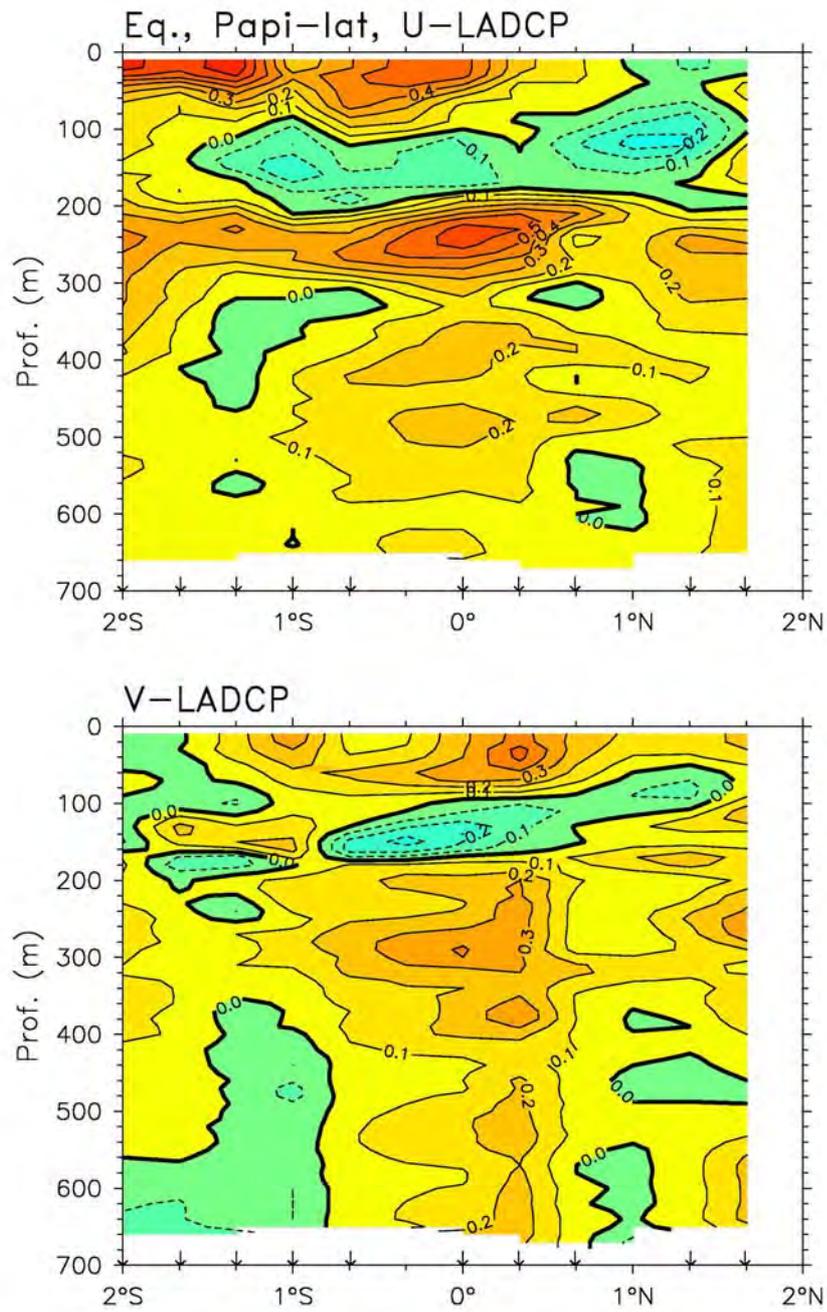


Figure 29 : Section LADCP, Papillon méridien

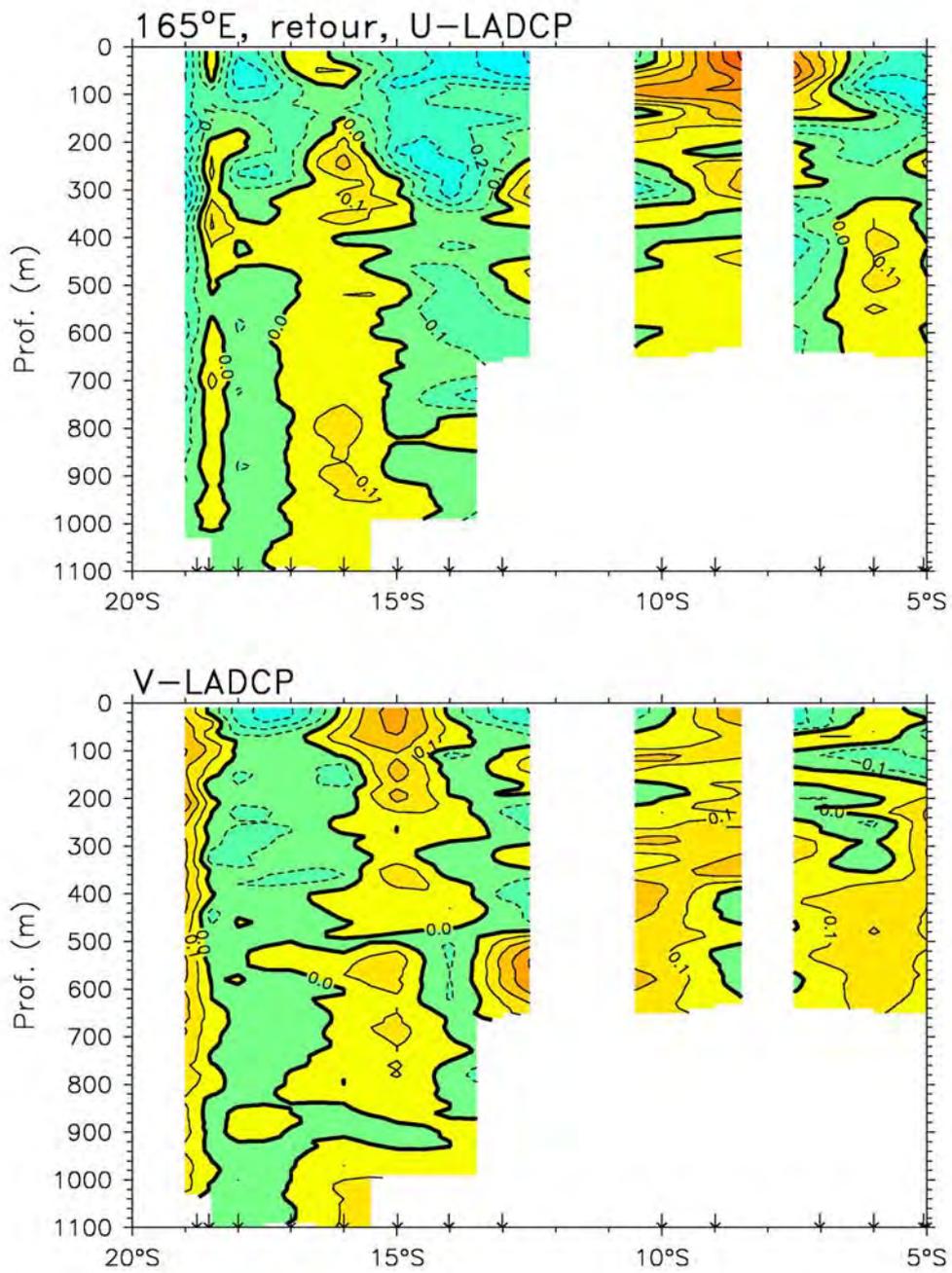


Figure 30 : Section LADCP, radiale descendante

5 Mesures de courants par le profileur de coque à effet Doppler (VM-ADCP)

5.1 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).

5.2 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. Le transducteur est placé dans une nacelle profilée sur bâbord avant, immergé dans l'eau douce, et isolé par une fenêtre acoustique. L'unité de pont est interfacée au gyroscope central du navire par liaison synchro 1/1. Un récepteur GPS multi-antennes Sercel NR-230 fournit au PC d'acquisition des trames de navigation GPGLA par liaison directe RS-232, ainsi que des données d'attitude (cap, roulis, tangage), à une cadence de 0.6 s.

5.3 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 7. Notons que le logiciel d'acquisition VM-DAS (v. 1.42) a été utilisé pour la première fois sur l'Alis. Avant le départ de la campagne, les tests logiciels de l'ADCP ont été effectués avec succès.

L'acquisition (Tableau 7) s'est déroulée sans incident tout au long de la campagne. L'ADCP était prioritairement réglé en mode 7, qui permet une portée maximale au détriment d'une plus grande sensibilité aux mouvements du bateau. Du fait des conditions de mer rencontrées, il a fallu à plusieurs reprises le régler en mode 1 pour conserver un niveau de signal utilisable. La dérive d'horloge interne de l'ADCP a été vérifiée tous les deux jours et est restée négligeable. Les données GPS (positionnement et attitude) ont été acquises sans interruption et stockées dans les fichiers issus de VM-DAS. Ce programme stocke à la fois les pings individuels et des moyennes temporelles nécessitent un espace disque important, de l'ordre de 3 Go pour un mois de campagne. Une partie des données brutes sur le disque d'acquisition a été perdue à mi-campagne pour une raison inconnue. Une meilleure protection de ces données (acquisition en double, protection en écriture depuis le réseau...) sera nécessaire à l'avenir.

Acquisition BB-150 pour Frontalis 02	
Programme d'acquisition	VM-DAS v. 1.42
Longueur de « bin »	8 m
« Blanking interval »	4 m
Mode d'acquisition	7 ou 1
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 »	14 ou 12 m
Premier profil	02/04/2004, 07:47 TU
Dernier profil	29/04/2004, 11:22 TU

Tableau 7 : Caractéristiques d'acquisition du S-ADCP.

5.4 Traitement des données

Le traitement est basé sur le logiciel CODAS-3 (Common Oceanographic Data Access System, version 3), développé à l'Université d'Hawaii (i.e. Bahr et al., 1989). Une partie est effectuée à bord au fur et à mesure de l'acquisition. C'est la version « mgw » de ce logiciel qui a été utilisée ici, sur un PC sous Windows XP avec Cygwin et WindowMaker. Après la campagne le traitement a été repris et un étalonnage effectué (voir ci-dessous).

5.4.1 Constitution d'une base de données

Les fichiers .LTA issus de VMDAS contiennent les profils moyens de courant sur 5mn, les données annexes et les positions GPS en début et fin de profil. Ils sont chargés dans une base au format CODAS.

5.4.2 Vérification des profils relatifs

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

La vitesse du son utilisée pour le calcul de l'effet Doppler dépend de la température mesurée au niveau de l'embase et de la valeur de salinité entrée dans le logiciel d'acquisition. La température mesurée par l'ADCP est restée à moins de 1°C de celle obtenues par la CTD, précision suffisante pour le calcul Doppler.

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.

5.4.3 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.

5.4.4 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 gyro 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. Comme à FRONTALIS 1 on a constaté pendant les 3 premiers jours de campagne une dérive de l'écart cap gyro – cap GPS, atteignant 2° , due à un mauvais réglage de la correction automatique du gyro avec la latitude (Figure 31). Après correction de ce problème, l'écart est resté négligeable, de l'ordre de 0.5° . Une centrale inertielle MRU était aussi disponible. Cependant ses données de cap provenaient directement du gyro du bord et n'ont donc pas pu être utilisées pour ce calcul de déviation gyro.

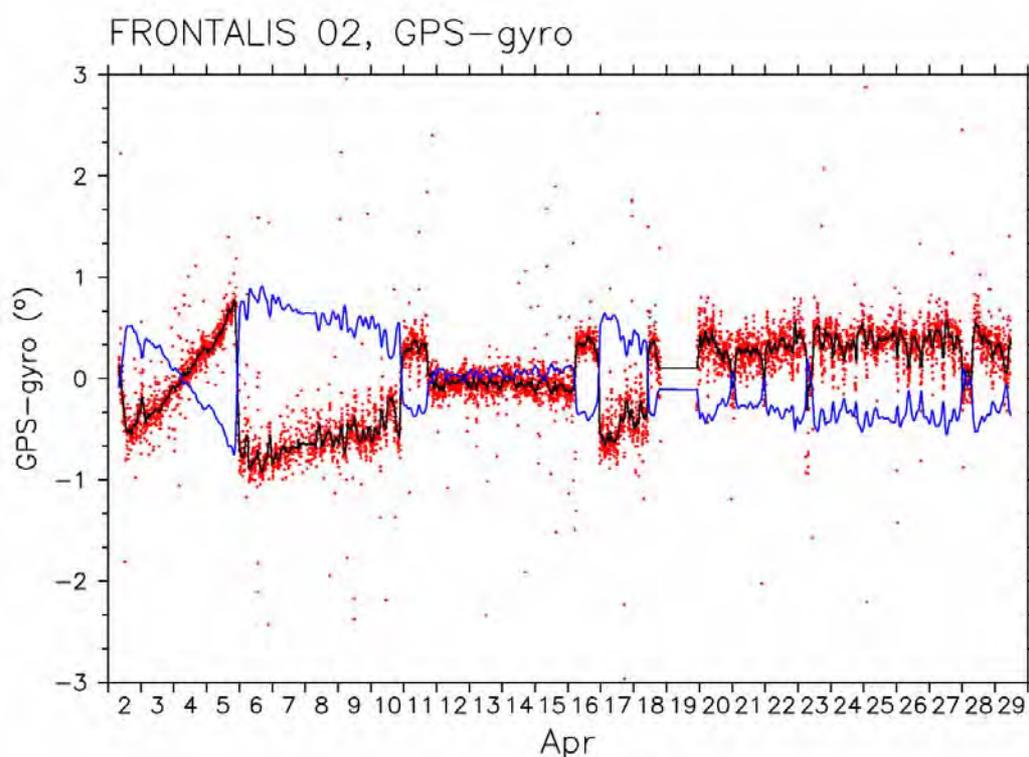


Figure 31 : Différence cap GPS - cap gyro au cours du temps pendant l'ensemble de la campagne : valeur moyenne à chaque profil (points rouges), après application d'un filtre médian sur 15 points (en noir), après changement de signe, interpolation des trous et passage d'une moyenne mobile sur 10 points (en bleu).

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 ϕ et d'un facteur multiplicatif A à appliquer aux profils relatifs. Dans le cas présent ϕ 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 8. Les rotations et homothéties correspondantes sont appliquées aux profils relatifs et le calcul de navigation (4.3) est de nouveau effectué.

La valeur de A , très proche de 1 est la même qu'à FRONTALIS 1 (0.999). ϕ est du même ordre que pour les campagnes précédentes de l'Alis (-0.4 à -1°). La Figure 32 présente les histogrammes des valeurs calculées de A, ϕ et de l'écart d'horloge ADCP-GPS qui est resté négligeable.

Frontalis 02	BB-150
A	1.001
ϕ	-0.56°

Tableau 8 : Valeurs des coefficients d'étalonnage déterminés après correction des erreurs dues au gyro du navire.

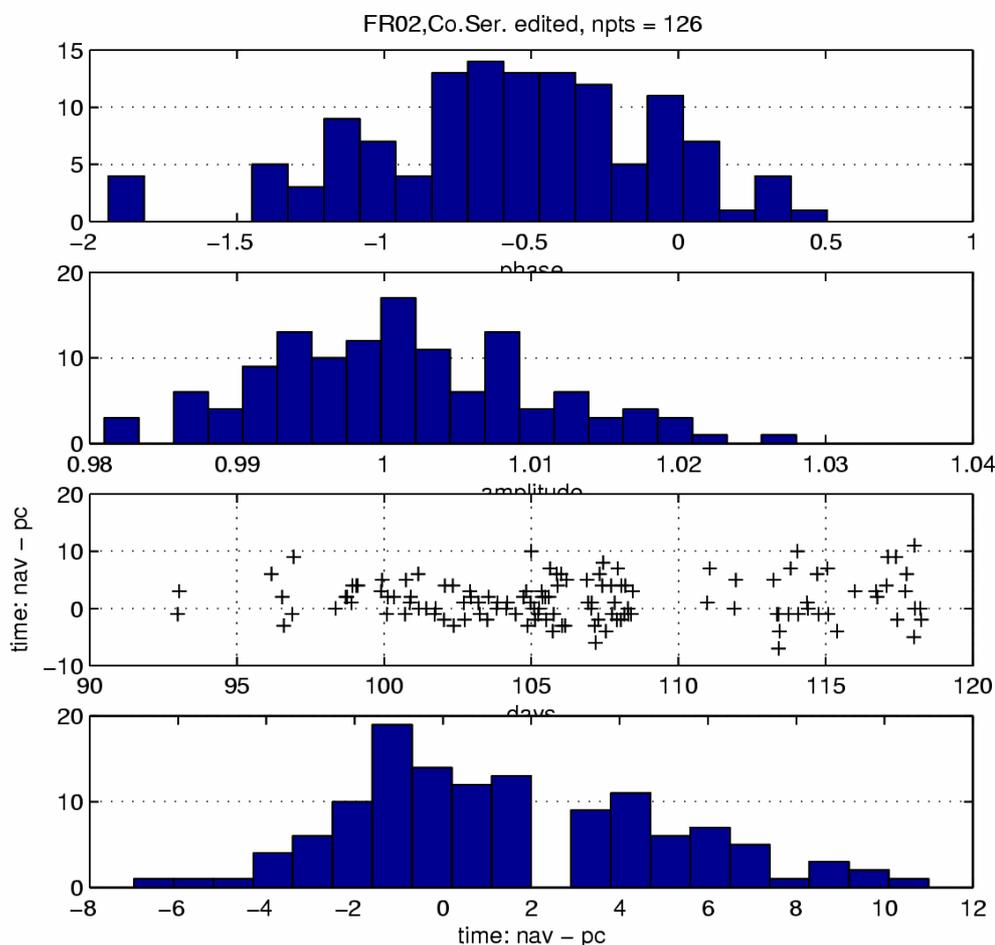


Figure 32 : Histogrammes de A et ϕ et différences d'horloges GPS-ADCP après application de la correction GPS-gyro.

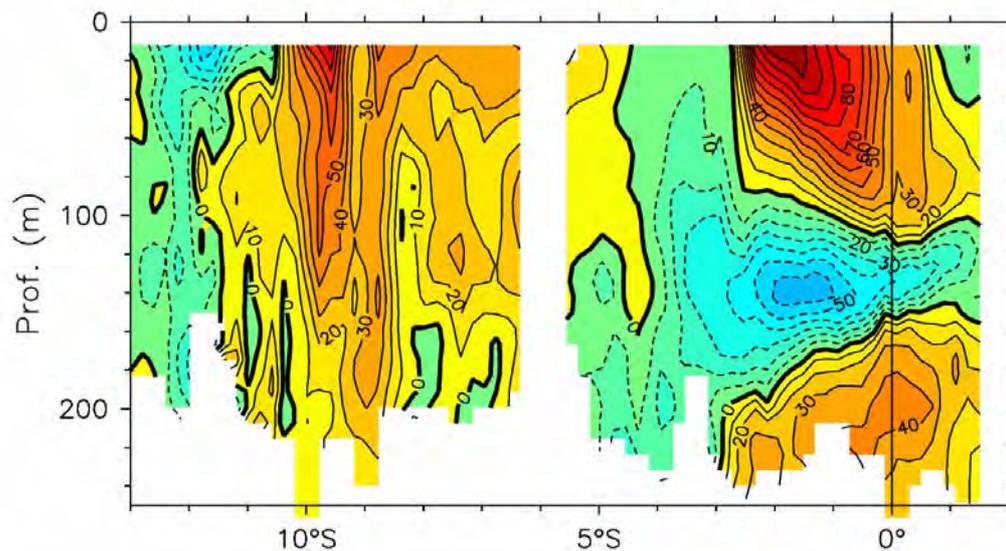
5.4.5 Contrôle de qualité

Des statistiques sur les profils sont calculées pour estimer la qualité des données et avoir un suivi des performances de l'appareil. En particulier, les valeurs moyennes 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 235 m en stations et de 200 m en route. Ces valeurs étaient de 285 et 245 m pendant Frontalis 01, respectivement. Cette diminution de portée pendant Frontalis 02 s'explique par la présence d'une fenêtre acoustique (absente à Frontalis 01) et par un état de mer généralement plus agité.

5.4.6 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 Figure 33 à Figure 40 pour les sections les plus significatives de la campagne.

FR02, 165°E, aller, U-VMADCP



V-VMADCP

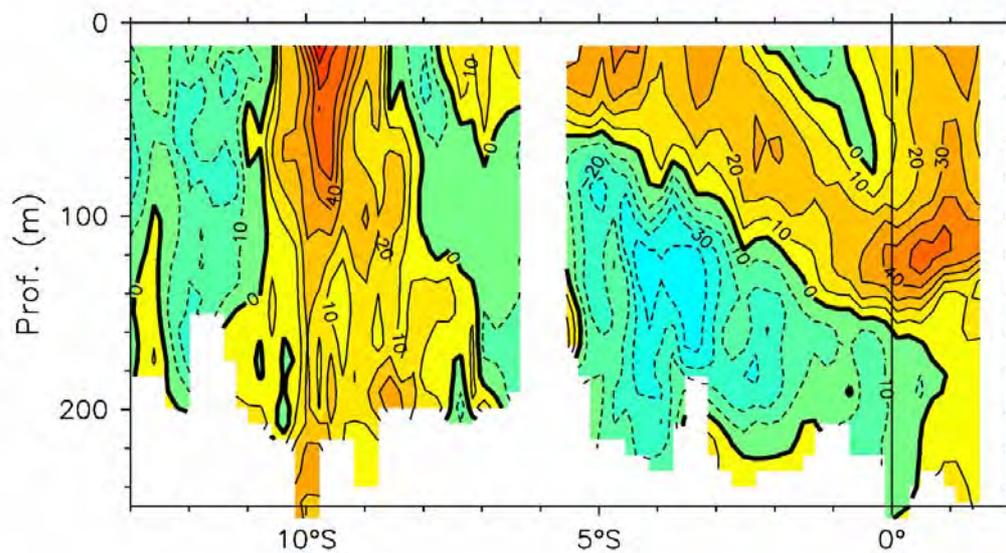


Figure 33 : S-ADCP, radiale montante

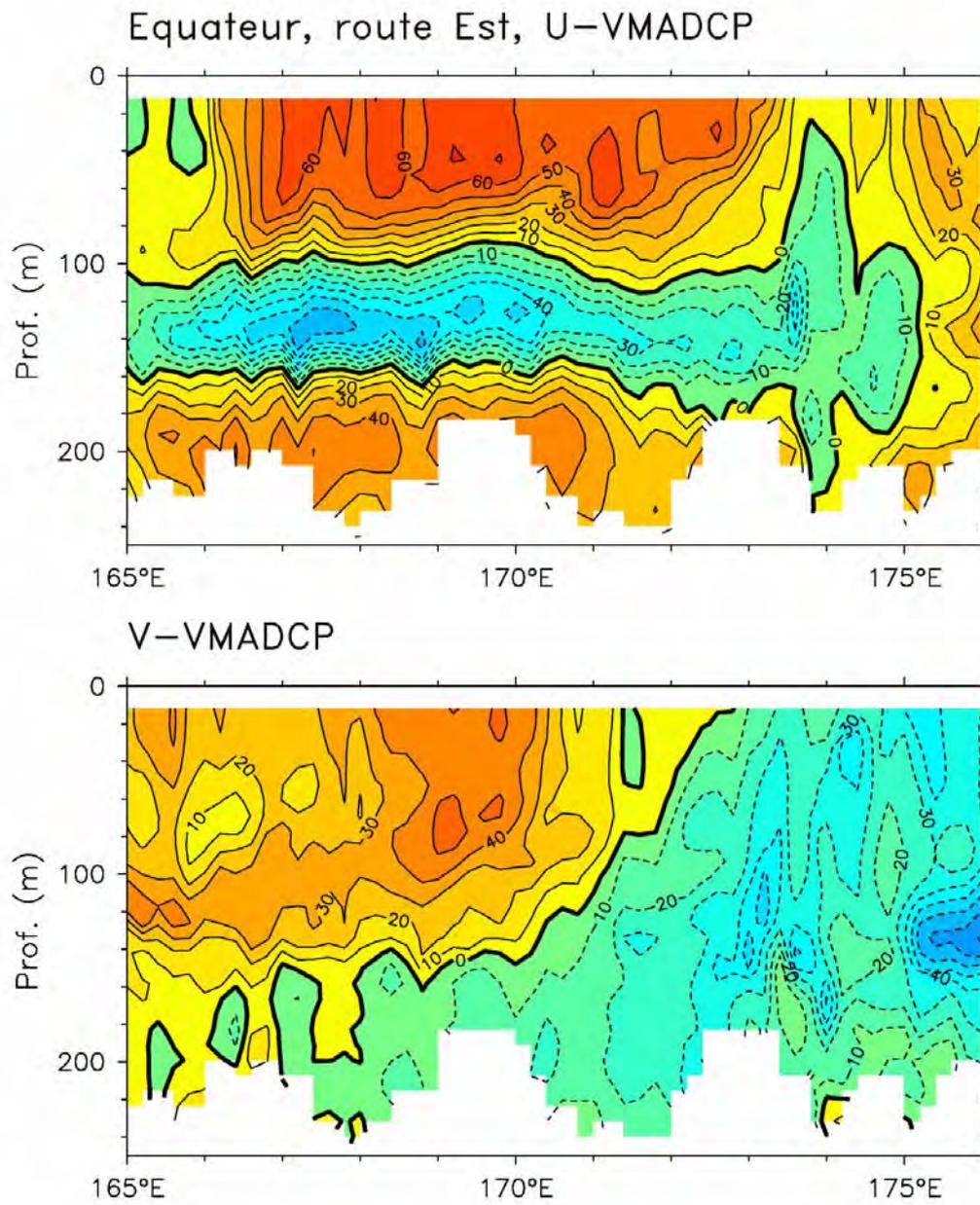


Figure 34 : S-ADCP, Equateur

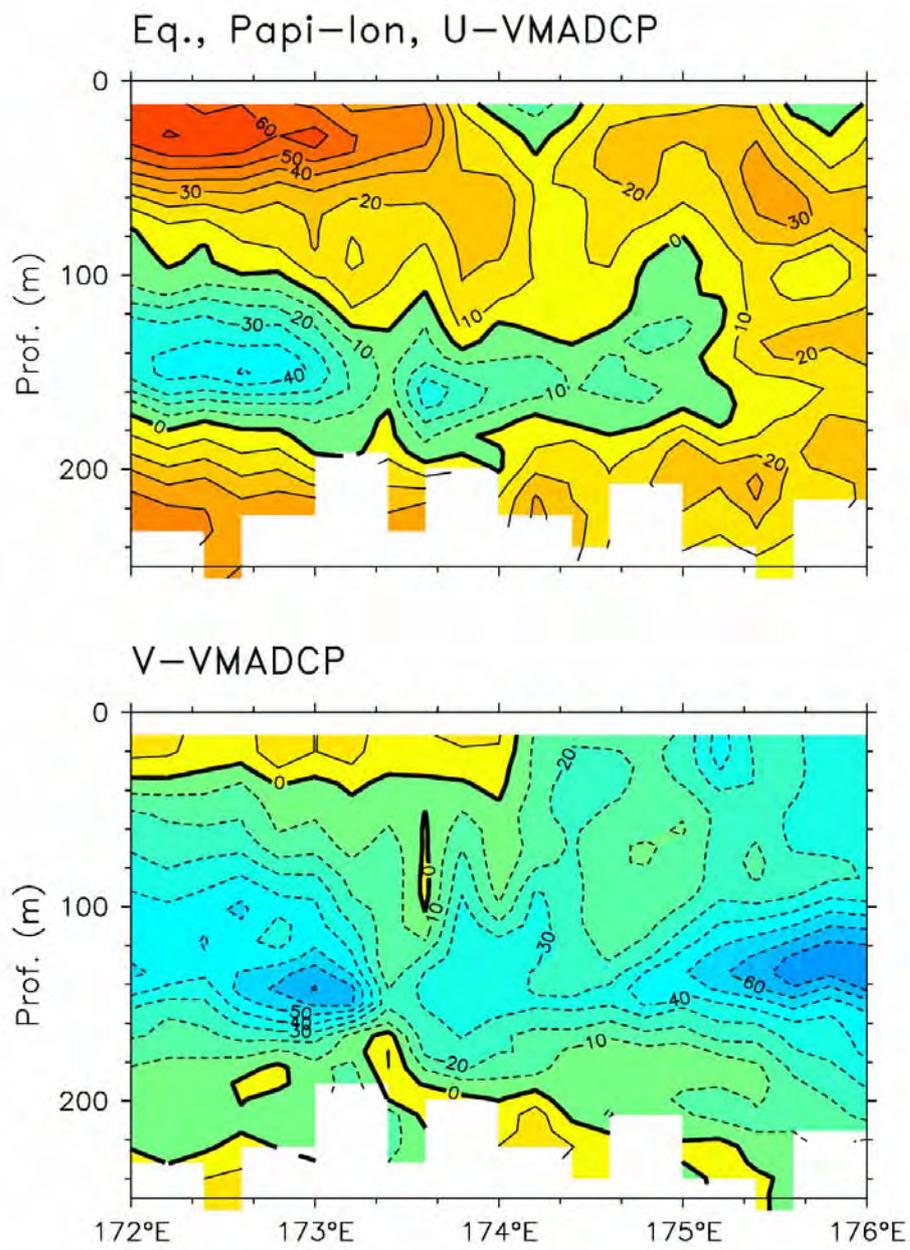


Figure 35 : S-ADCP, Papillon zonal

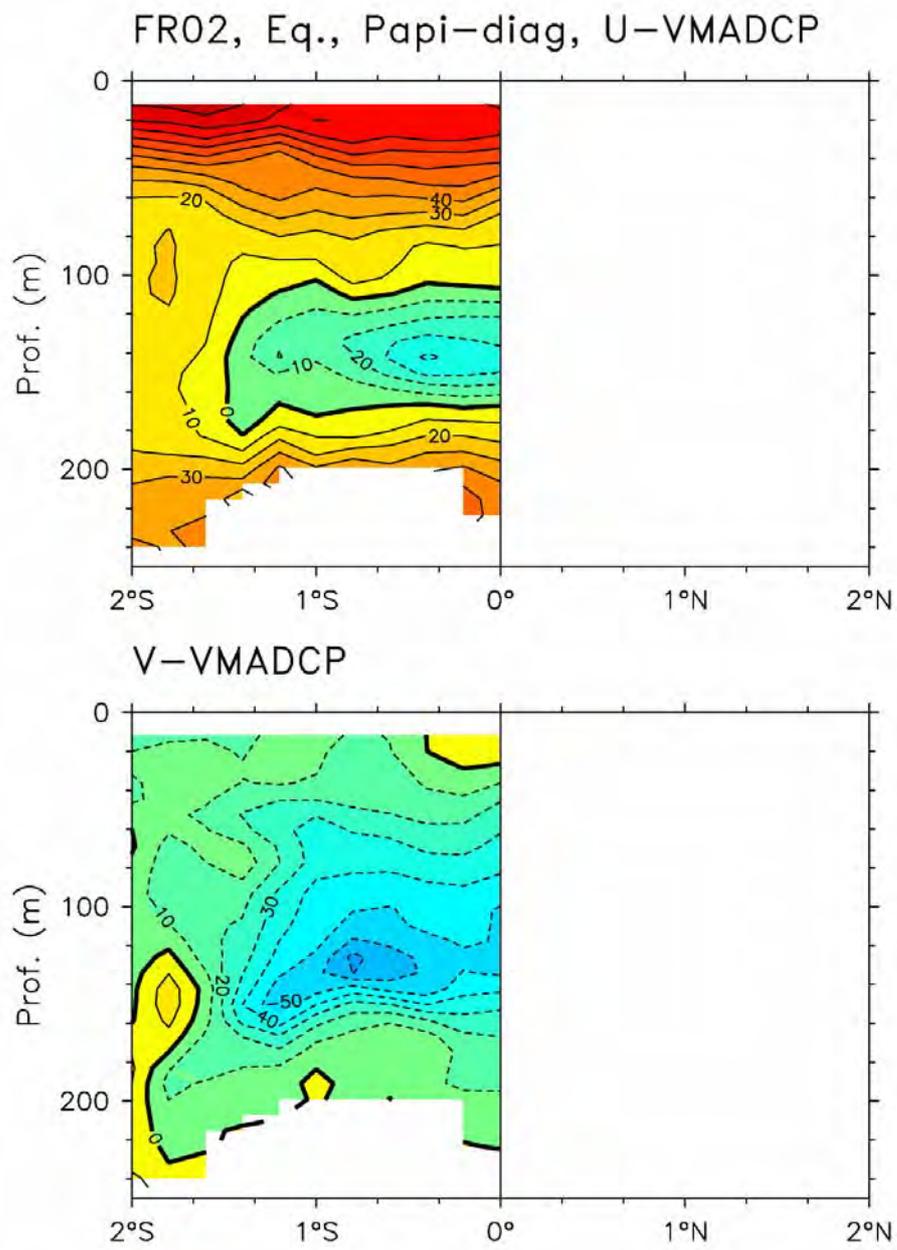


Figure 36 : S-ADCP, Diagonale Papillon (sud-est/nord-ouest)

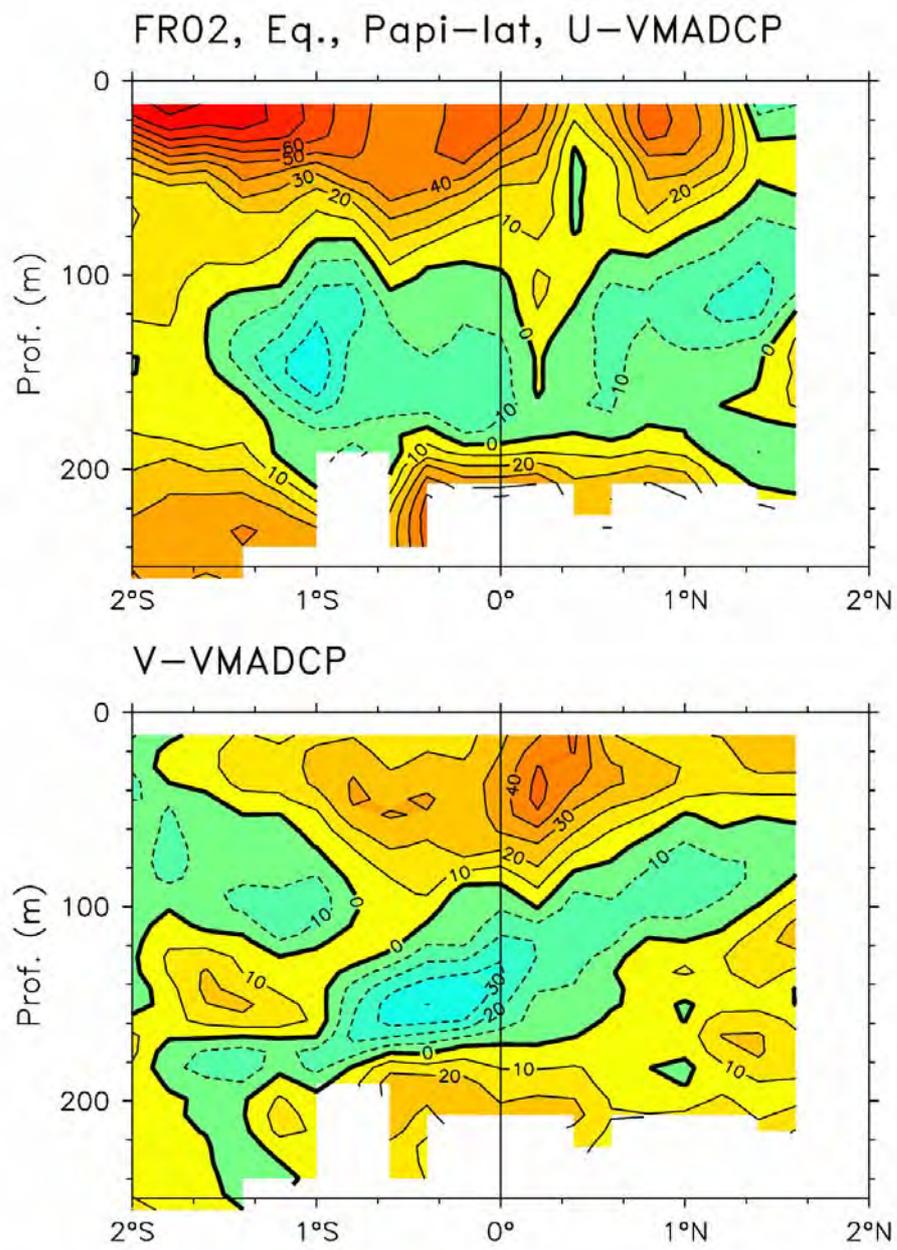


Figure 37 : S-ADCP, Papillon méridien

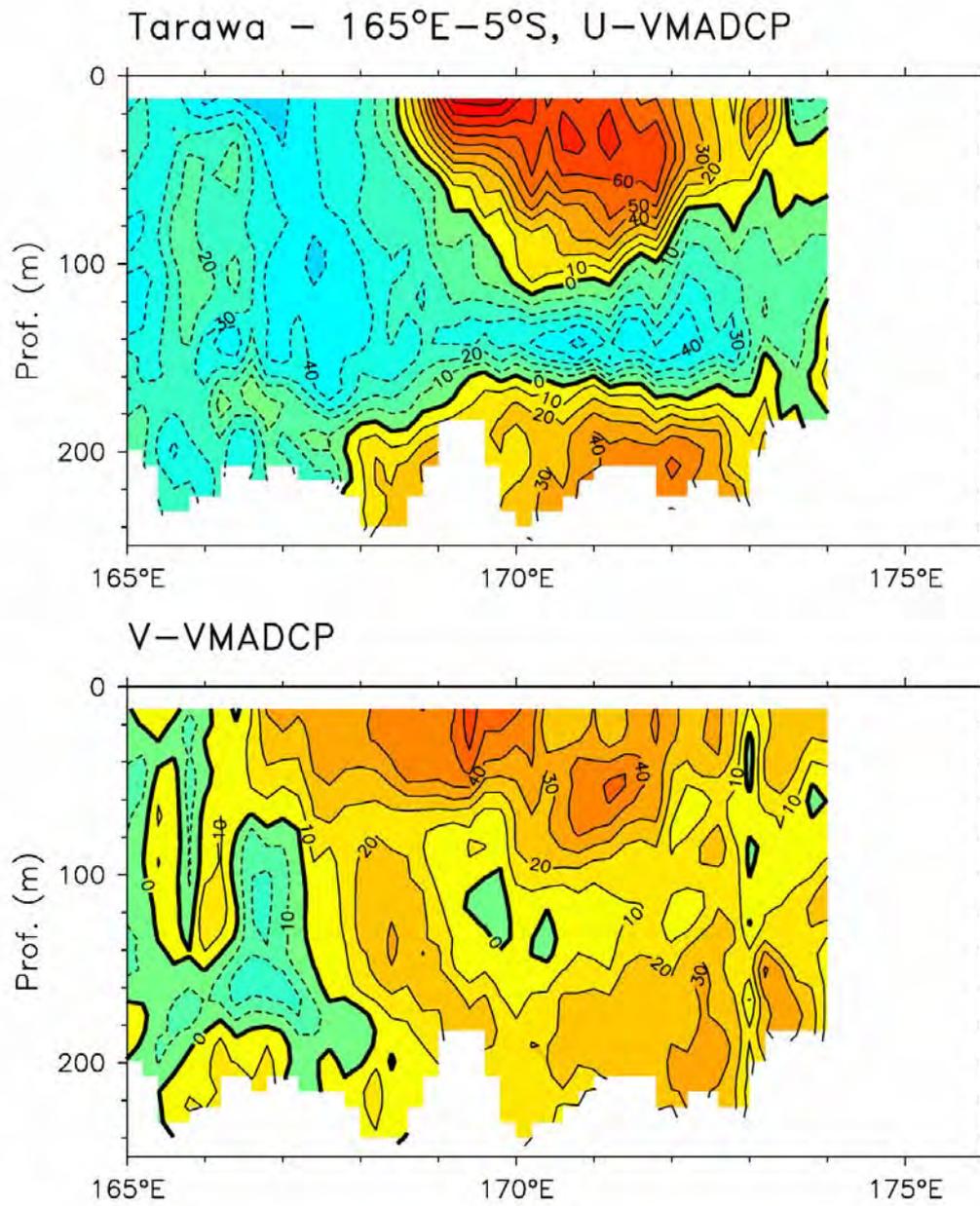


Figure 38 : S-ADCP, retour équateur

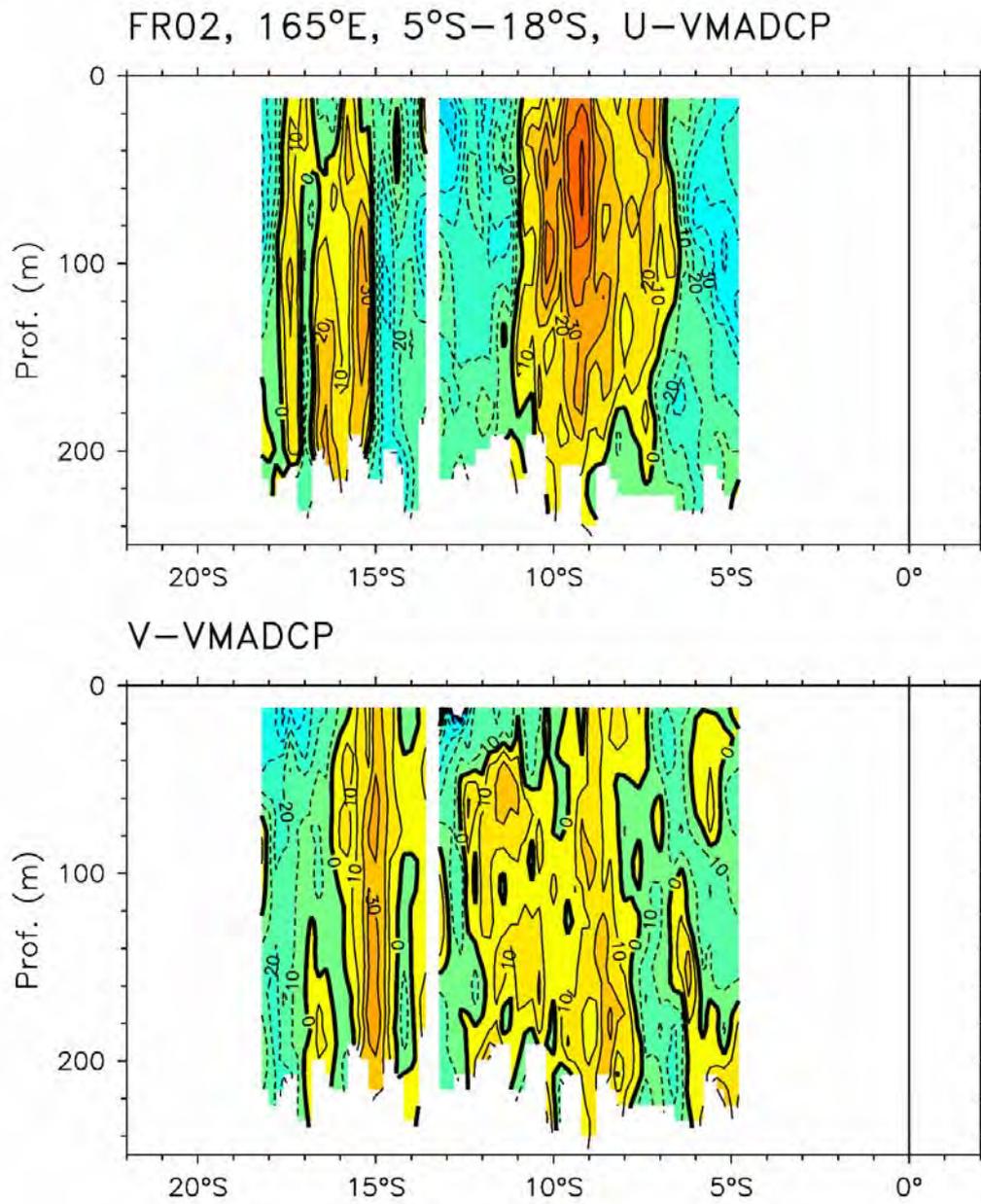


Figure 39 : S-ADCP, radiale descendante

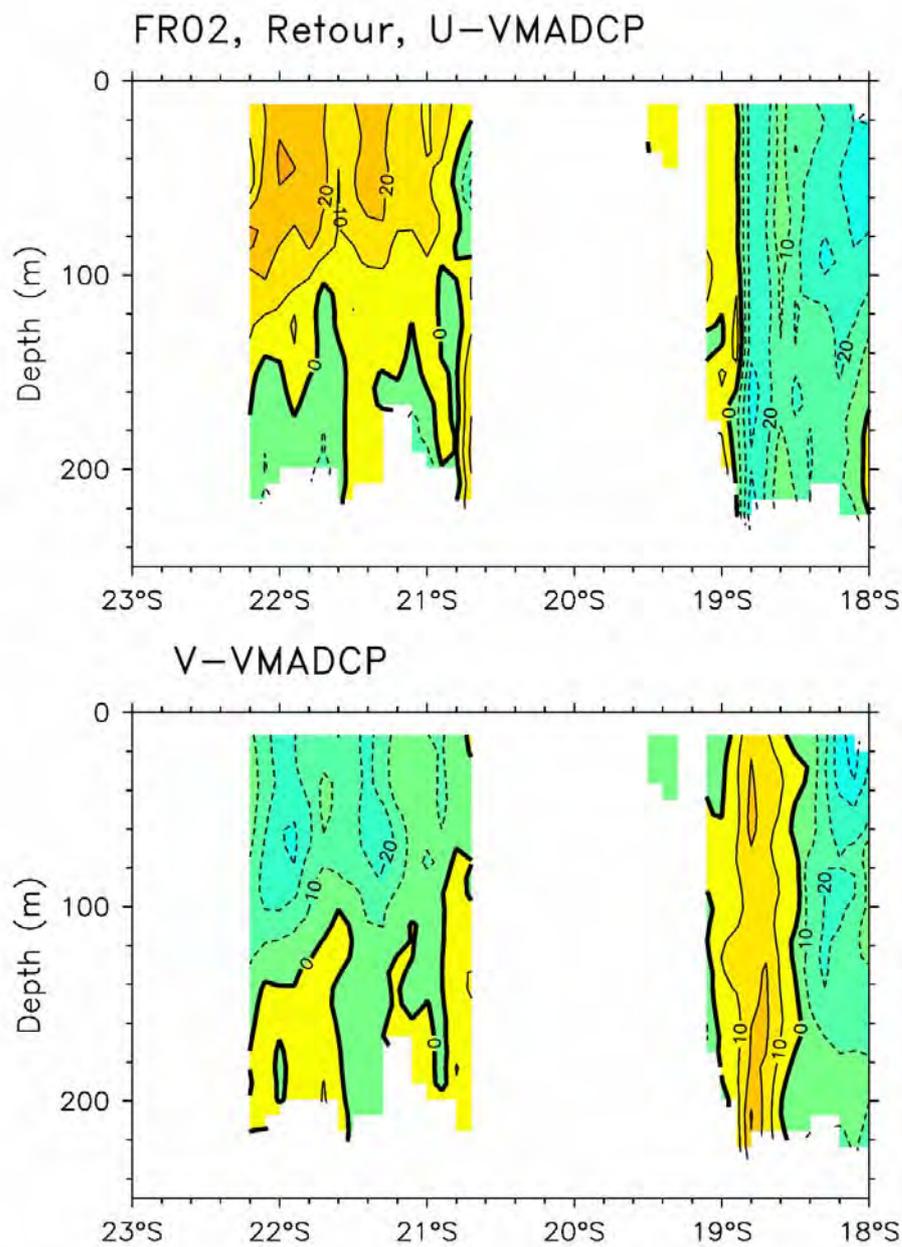


Figure 40 : S-ADCP, de 18°S à Nouméa, par le Grand Passage et la côte ouest de la Nouvelle Calédonie

6 Mesures météorologiques

Une station de type Batos était installée pendant la campagne. 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 minutes via le logiciel Lab_view installé sur PC. Les observations de vents toutes les 2 heures sont représentées sur la Figure 41.

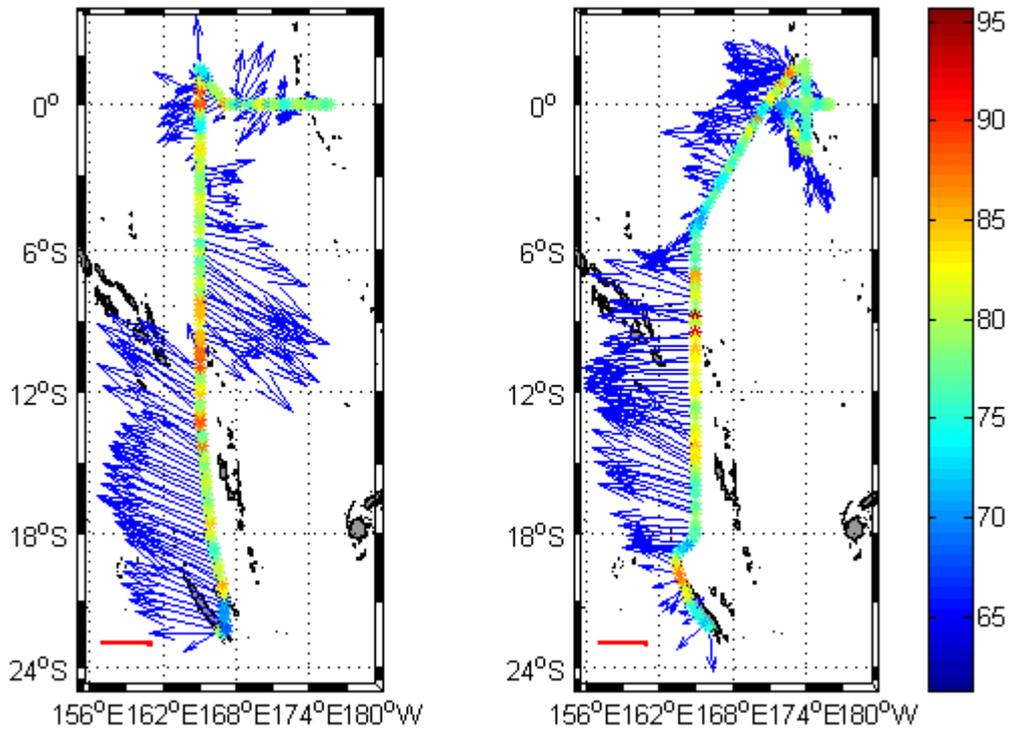


Figure 41 : Vent et humidité relevés le long de la trajectoire par la station BATOS. La flèche rouge indique l'échelle (10 m/s).

7 Mesures chimiques

7.1 Mesure en continu de la pression partielle du CO₂

La pression partielle du CO₂ (pCO₂) est mesurée sur l'eau de surface qui alimente les thermosalinographes. Pour déterminer la valeur de la pression partielle du CO₂ 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 chicane: c'est la teneur en CO₂ de la phase gazeuse qui est ensuite mesurée à l'aide d'un analyseur infrarouge. La pression partielle du CO₂ est également mesurée dans l'air 1 fois par jour à 20m 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 LI 820. L'acquisition des données a été réalisée avec le logiciel LabView, avec un cycle d'interrogation de l'analyseur infrarouge toutes les 5 minutes. Les données sont exprimées en μatm (Figure 42).

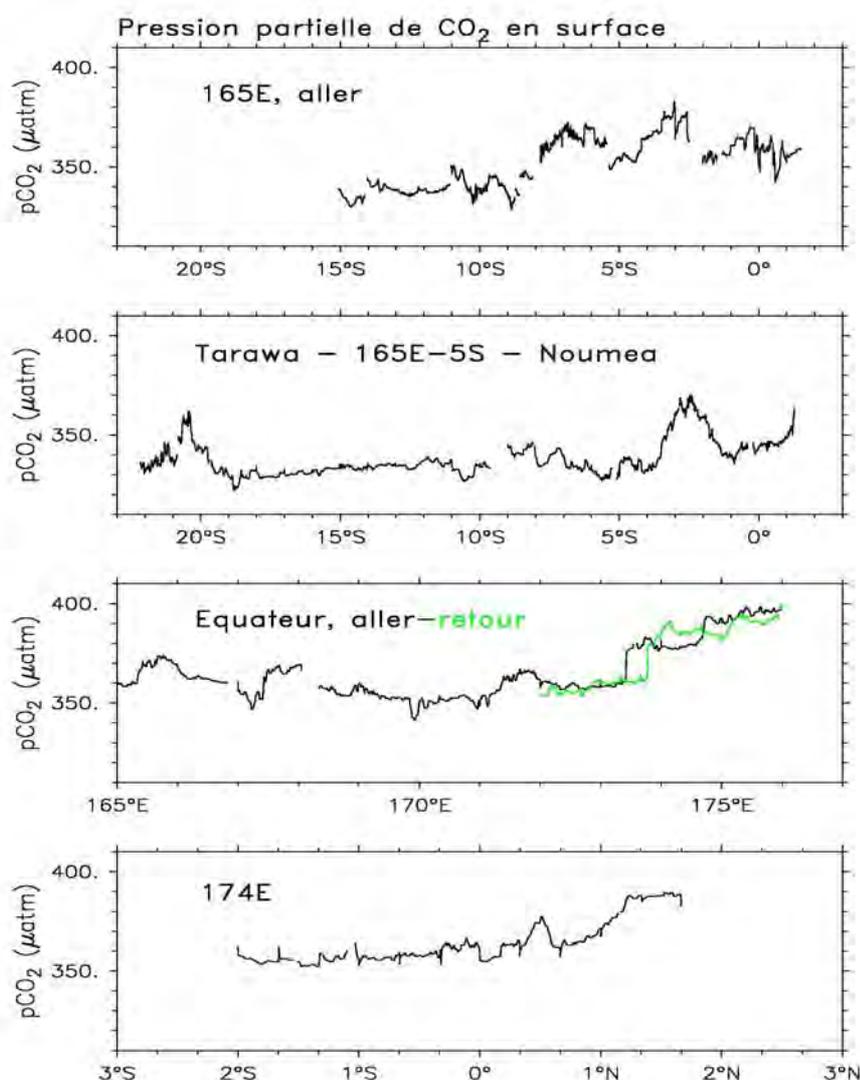


Figure 42 : Pression partielle de CO₂ par section.

7.2 Sels nutritifs (ammonium, nitrates, nitrites, phosphates)

Les prélèvements ont été réalisés entre 0-200m sur 10-11 bouteilles de prélèvement Niskin de 8 litres, grées à la rosette. Les phosphates et l'ammonium ont été analysés à bord, immédiatement après le prélèvement (en général <1h). Dans le cas des nitrates et nitrites, les échantillons ont été conservés au froid après ajout de HgCl₂ (Kattner, 1999) et analysés à posteriori au laboratoire à Nouméa. Les résultats sont exprimés en micromoles par litre (μM). Les sections des sels nutritifs sont données avec les résultats de mesures biologiques, Figure 43 à Figure 52.

7.2.1 Nitrates (NO₃⁻) et Nitrites (NO₂⁻)

Les nitrates et les nitrites ont été déterminés par dosage colorimétrique automatisé à flux continu sur un autoanalyseur II Technicon. Pour les concentrations de nitrate > 1μM, les protocoles analytiques sont adaptés de ceux décrits dans Strickland and Parsons (1972). Pour les concentrations de nitrates < 0,1μM, l'analyse a été réalisée selon la méthode "haute sensibilité" décrite par Raimbault *et al.* (1990). L'acquisition automatique et informatique des données est assurée par le logiciel FASpac. Après conservation, la limite de détection pour les nitrates basse et haute sensibilité est de 0,02μM et 0,005μM, respectivement. La limite pour les nitrites est de 0.005μM.

7.2.2 Phosphates (PO₄⁻ ou PSR)

Les phosphates ou PSR (phosphate soluble réactif) ont été mesurés manuellement par dosage colorimétrique au spectrophotomètre (CECIL) à 885nm selon la méthode de Murphy et Riley (1962). La mesure a été réalisée sur une cuve de 10cm afin d'augmenter la sensibilité. Pour les phosphates la limite de détection est de 0,020μM.

7.2.3 Ammonium (NH₄⁺)

L'ammonium a été mesuré manuellement par fluorimétrie, selon la méthode décrite par Holmes et al. (1999). L'analyse est réalisée sur un fluorimètre Turner Design TD-700 équipé d'un filtre d'excitation à 350 nm et d'un filtre d'émission de 410-600nm. La lecture au fluorimètre est réalisée 6h après ajout des réactifs, délai nécessaire au développement complet de la fluorescence.

8 Mesures biologiques

Les sections des mesures biologiques sont données Figure 43 à Figure 52.

8.1 Chlorophylle "a" (Chla) et phéopigments(Phéo)

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 -20°C . L'analyse des échantillons a été réalisée à bord immédiatement après le prélèvement. 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). La calibration du fluorimètre est réalisée 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 $\mu\text{g.L}^{-1}$

8.2 Mésozooplancton (200-2000 μm)

Un seul type de prélèvement a été utilisé : le filet WP2 (Unesco, 1968) en traits verticaux de 0-200m. Ces filets ont une section d'ouverture de 0.25m² et une longueur de 2.61m. Ils sont grésés en soie de 200 μm 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 μm afin de sélectionner le mésozooplancton dont la taille est comprise entre 200-2000 μm .

L'échantillon de zooplancton contenu dans le collecteur est rincé avec 100ml d'eau douce pour éliminer le sel puis recueilli sur une soie pré-pesée. La soie est ensuite séchée à l'étuve à 60°C pendant 24h, et conservée à -20°C jusqu'au retour à terre. Le poids sec (PS) de l'échantillon est déterminé par différence entre le poids de la soie et le poids de la soie + échantillon. Le poids sec sans cendres (PSSC) est, quant à lui, déterminé sur les échantillons une fois transférés dans des coupelles en aluminium puis passés au four pendant 1h30 à 550°C .

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

Aux stations 64 à 69, des échantillons de plancton ont été prélevés en surface, fixés au formol à 10% neutralisé au borax et analysés en microscopie inversée pour identification des principales entités taxonomiques.

Les données de biomasse sont reportées Figure 53.

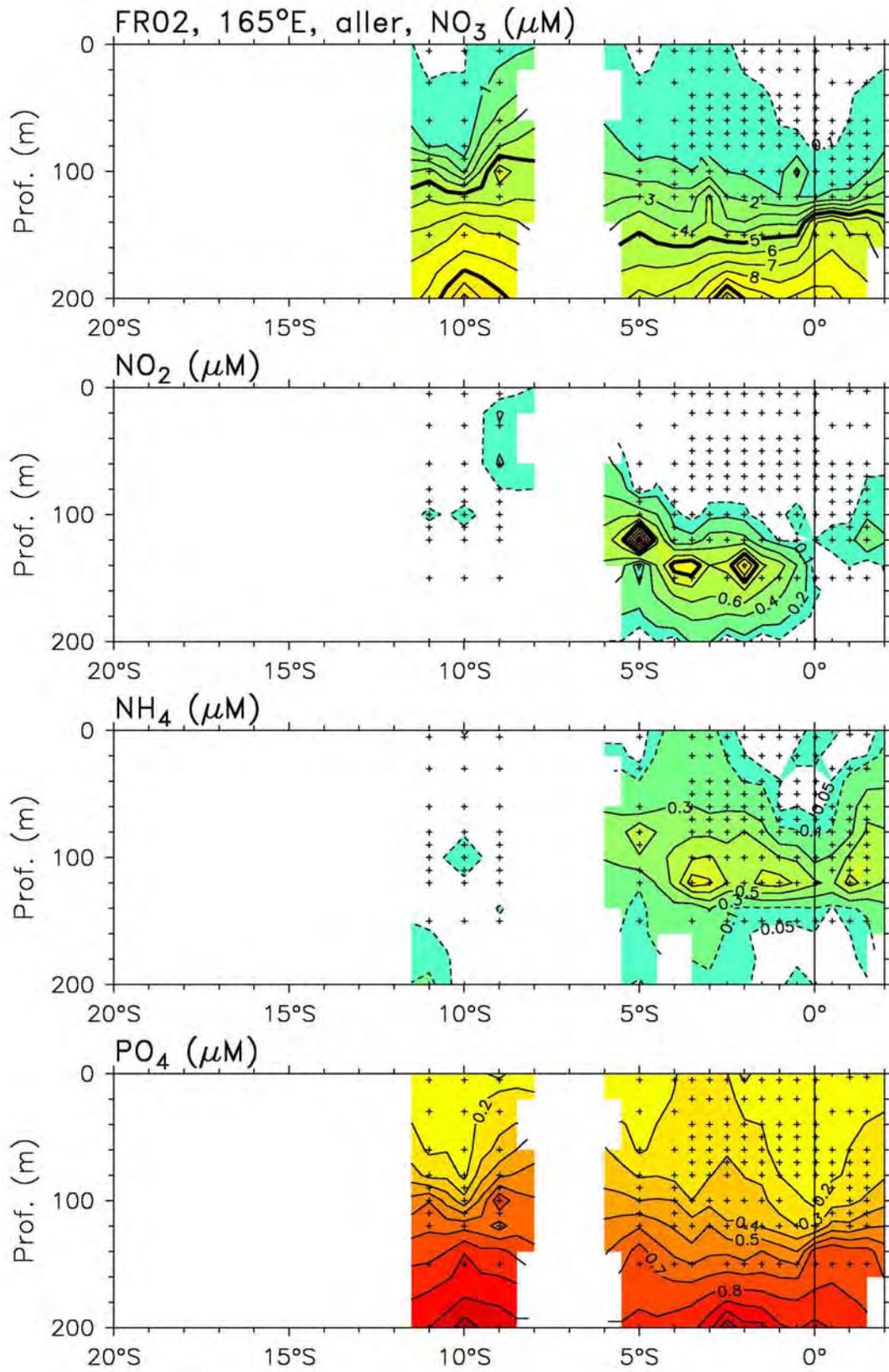


Figure 43 : Sels nutritifs, 165 montante

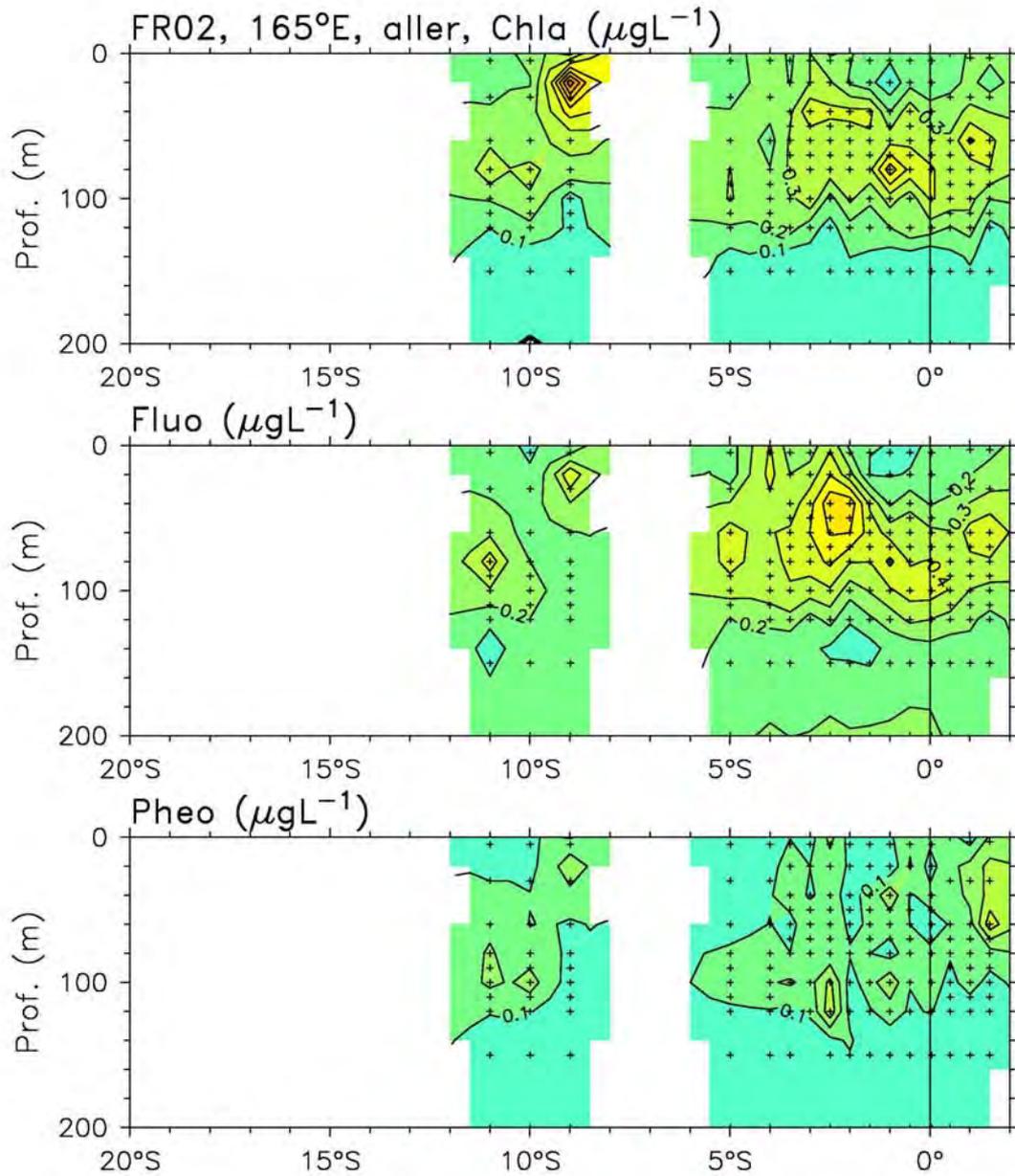


Figure 44 : Chl-a, fluorescence et phosphorescence, radiale montante

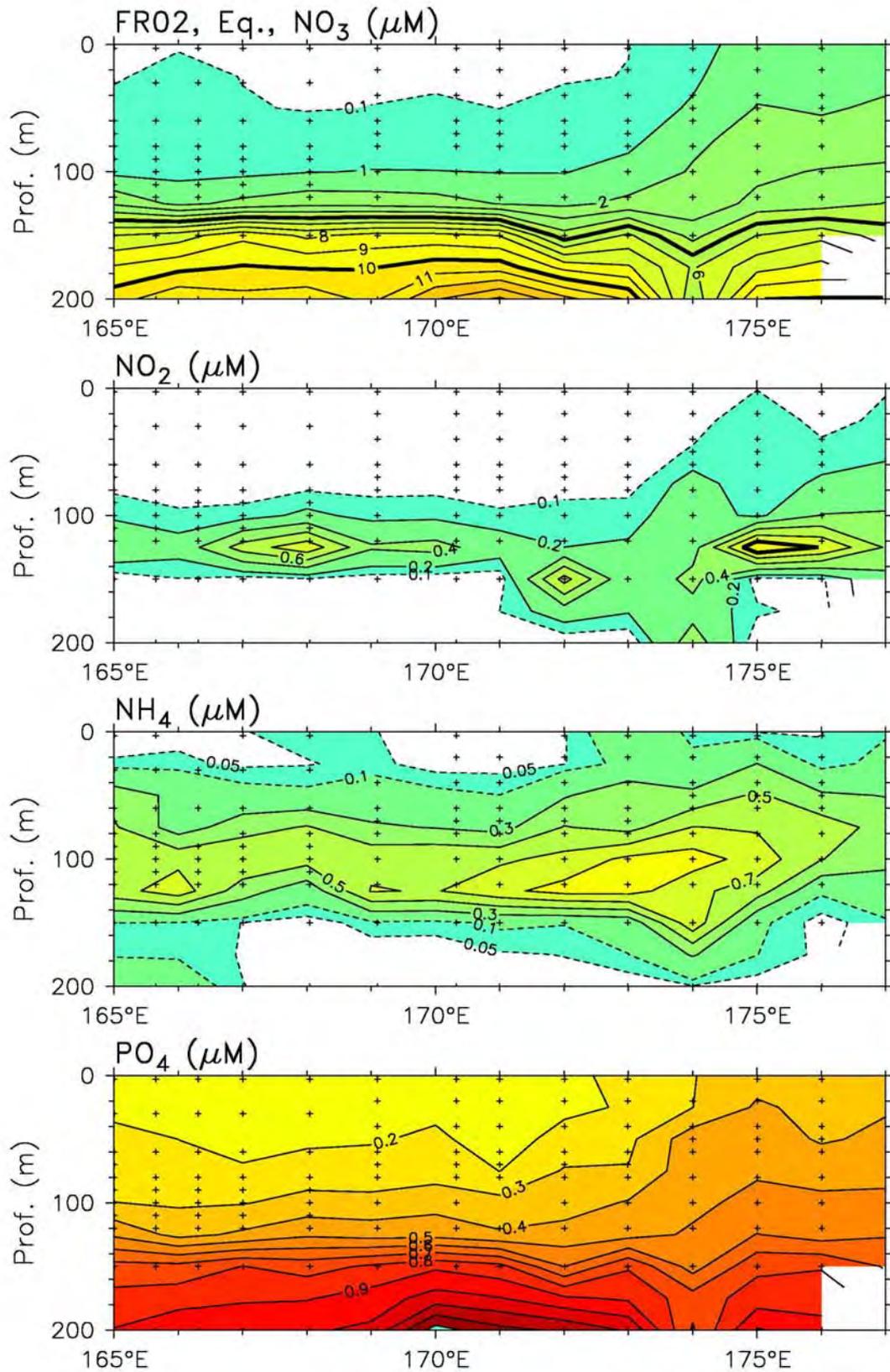


Figure 45 : Sels nutritifs, équateur

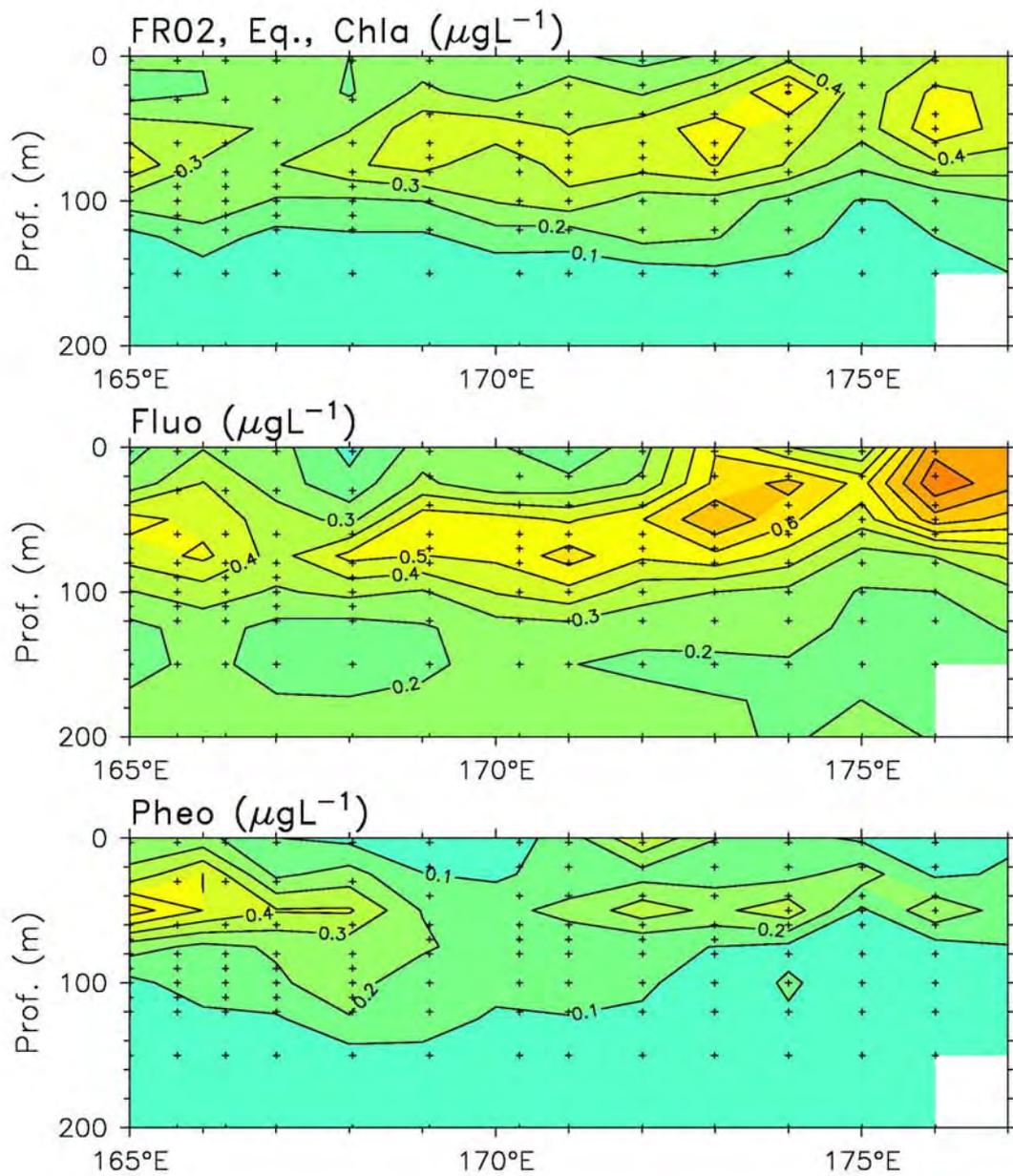


Figure 46 : Chl-a, fluorescence et phosphorescence, équateur

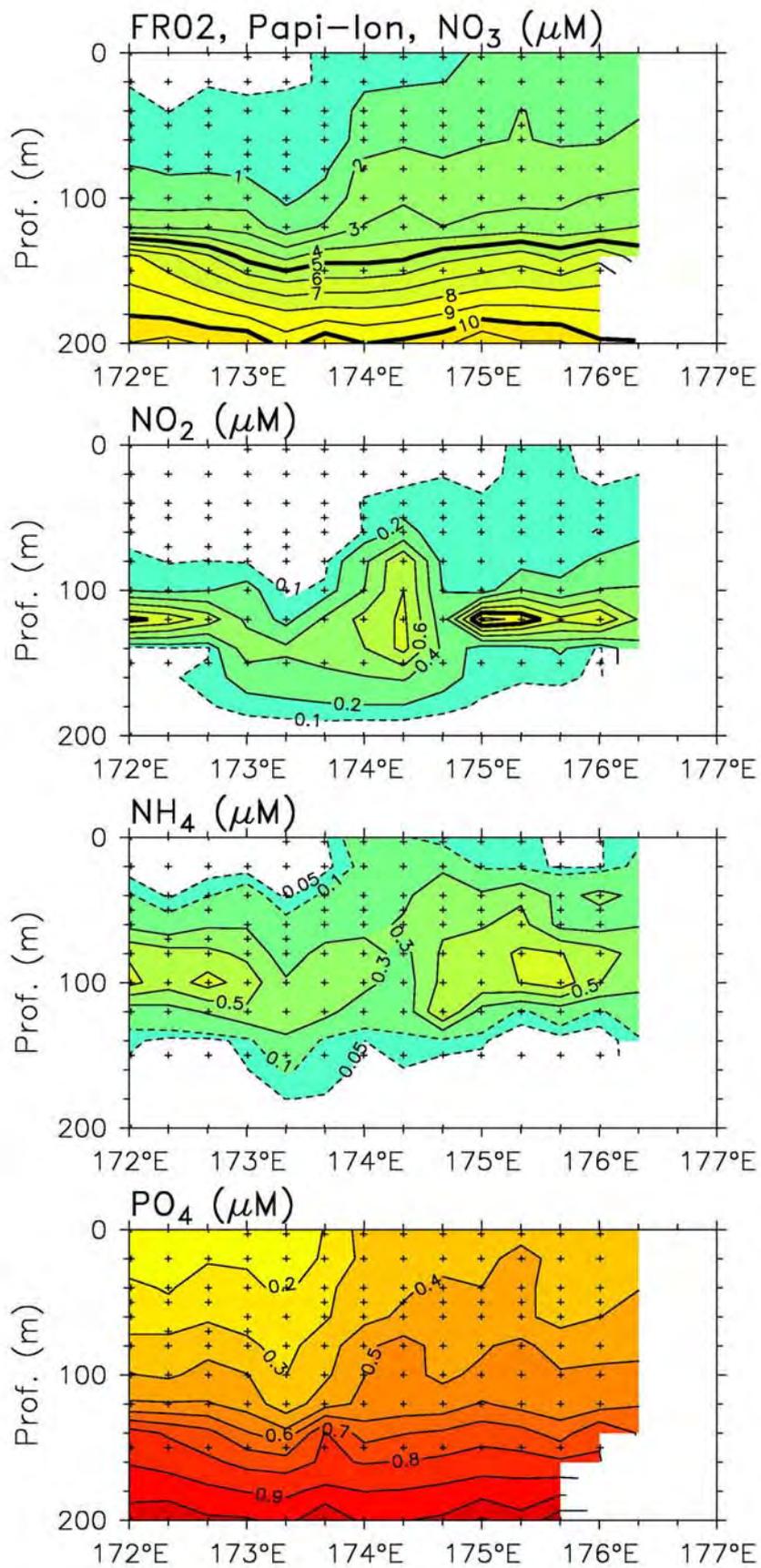


Figure 47 : Sels nutritifs, Papillon zonal

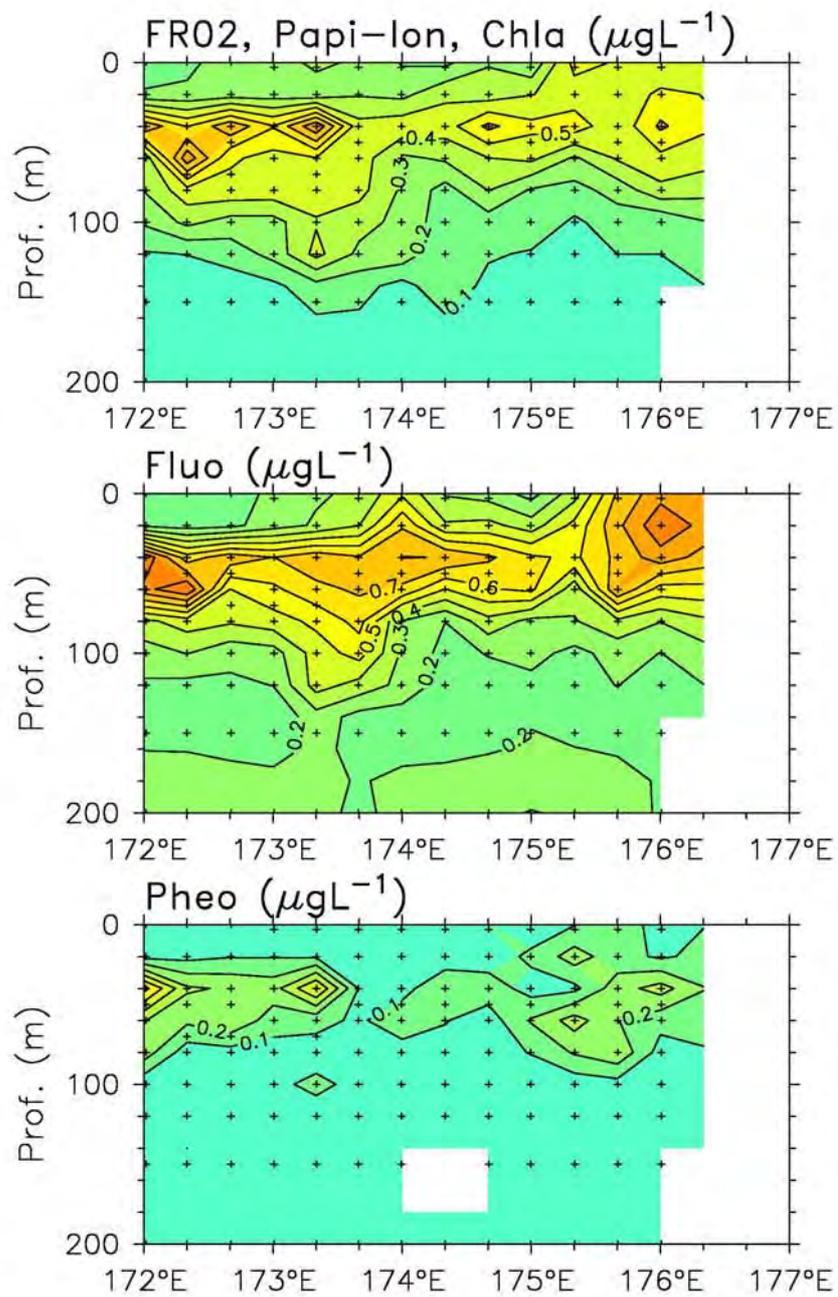


Figure 48 : Chl-a, fluorescence et phosphorescence, Papillon zonal

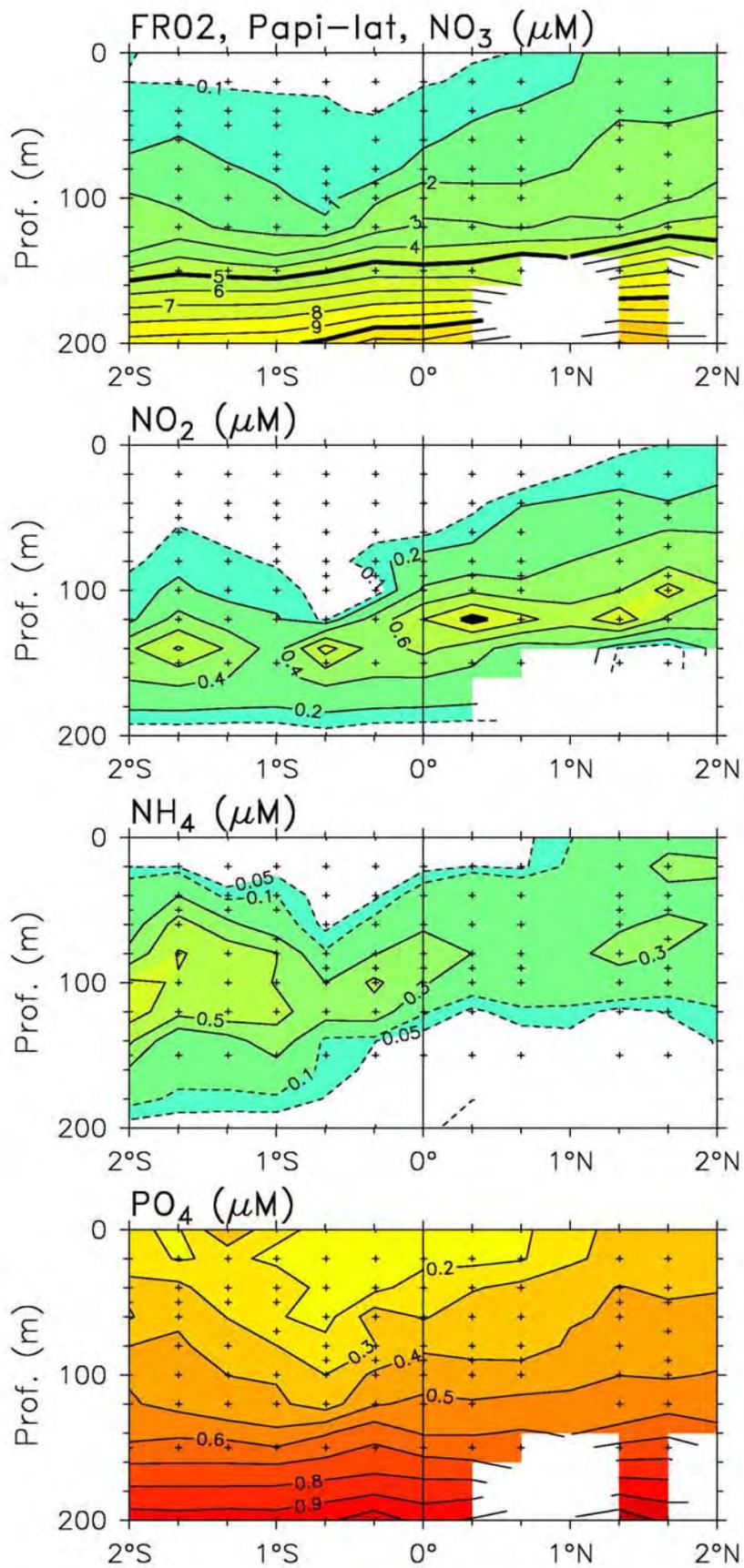


Figure 49 : Sels nutritifs, Papillon méridien

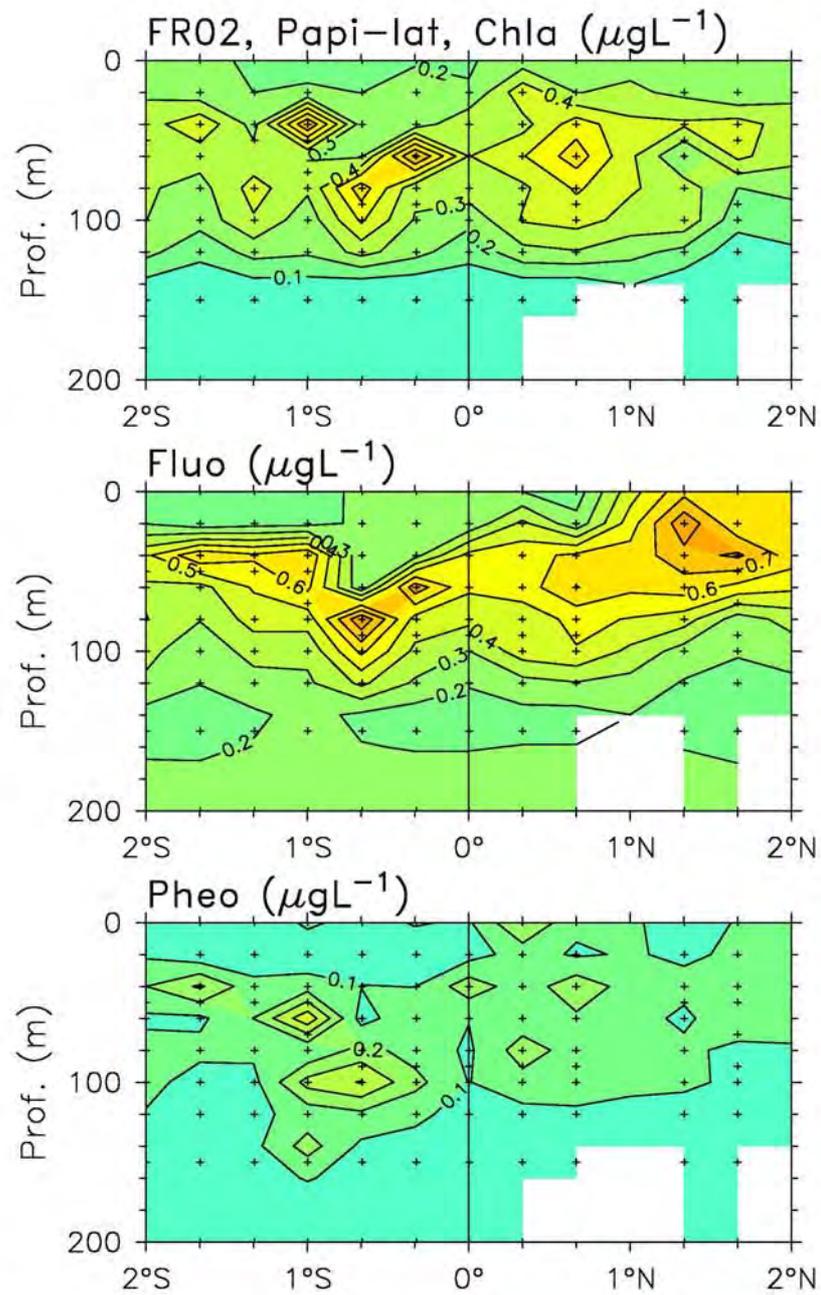


Figure 50 : Chl-a, fluorescence et phosphorescence, Papillon méridien

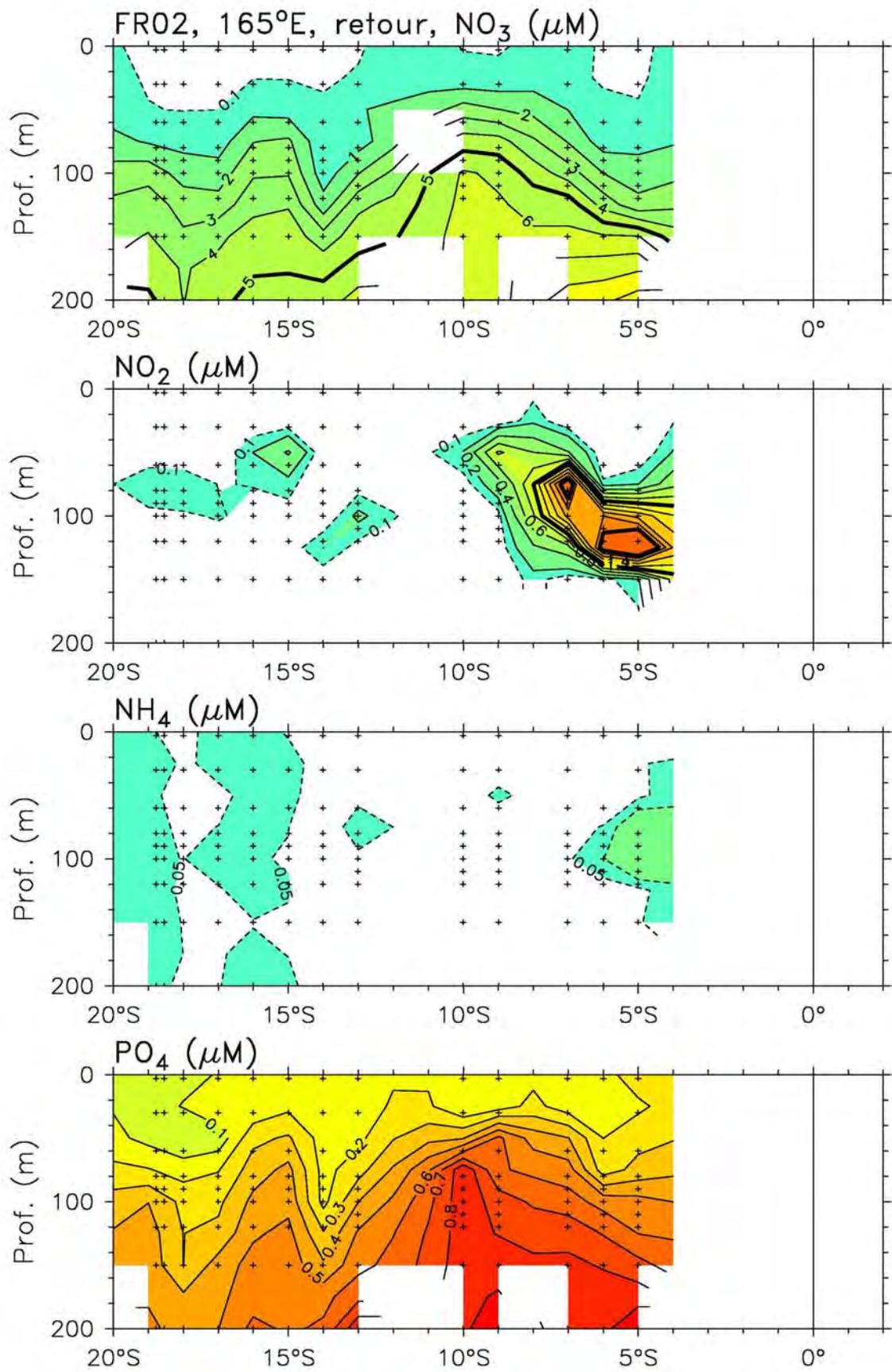


Figure 51 : Sels nutritifs, radiale descendante

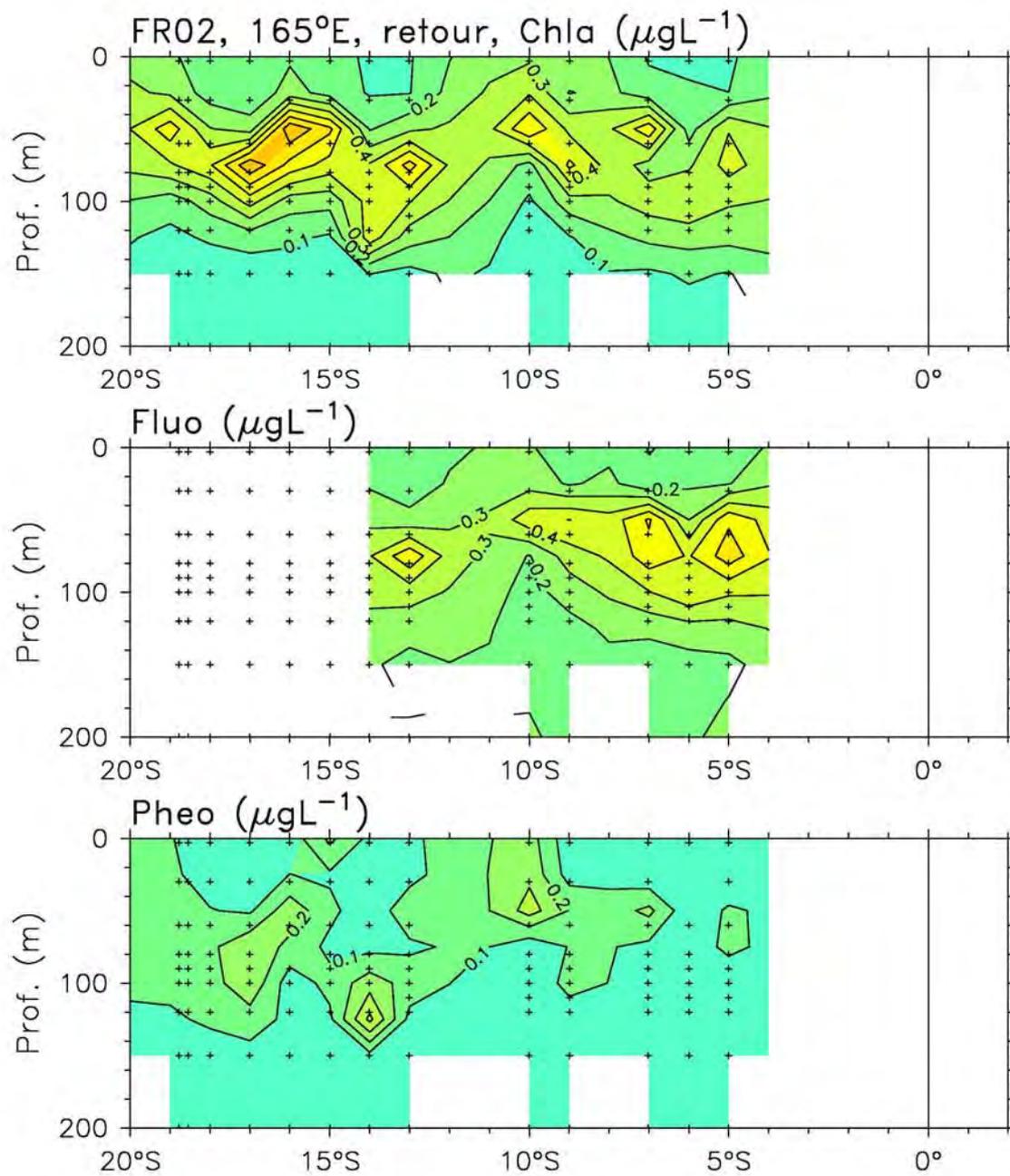


Figure 52 : Chl-a, fluorescence et phosphorescence, radiale descendante

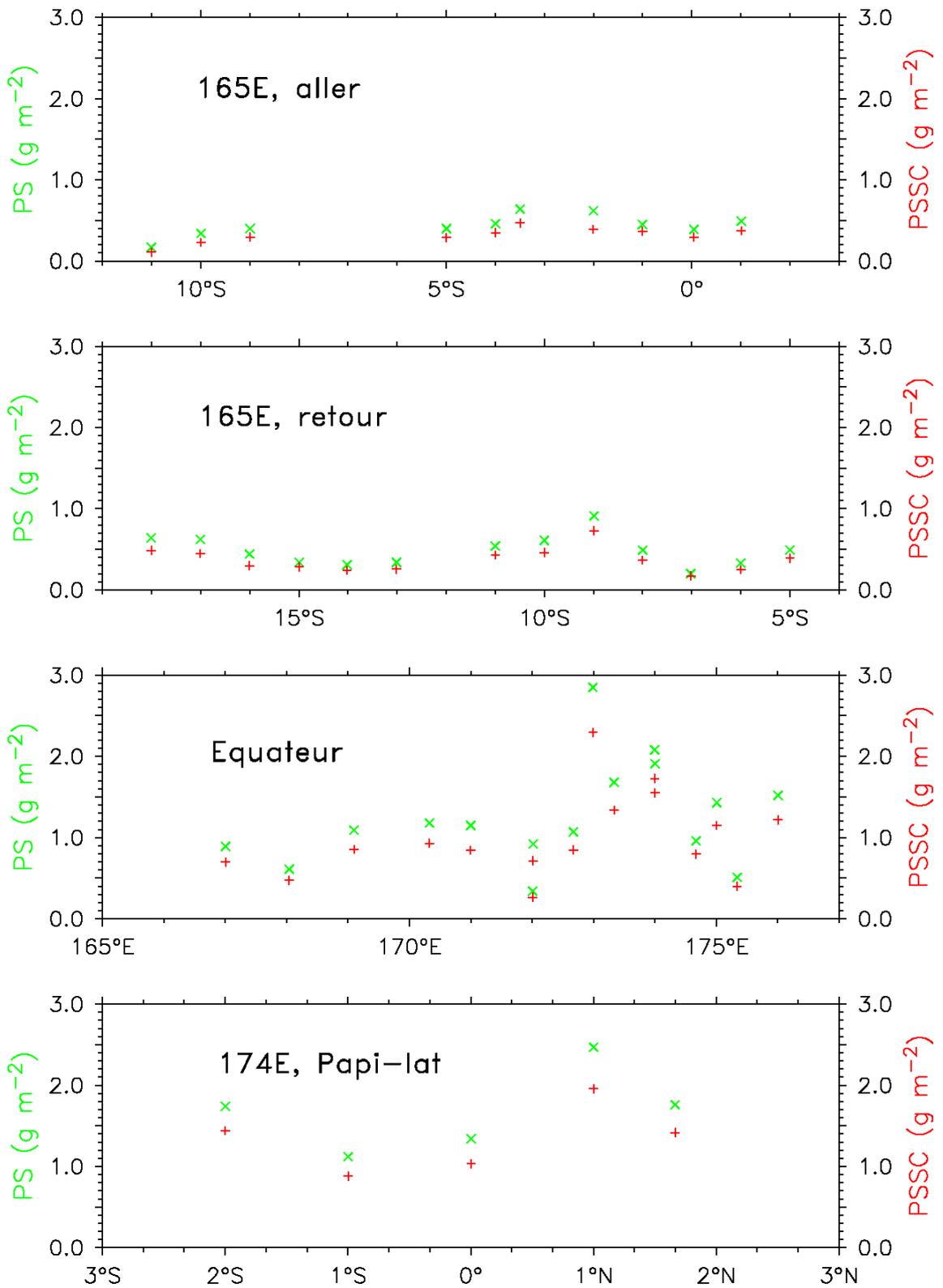


Figure 53 : Prélèvements zooplancton (vert=poids sec ; rouge=poids sec sans cendres).

9 Mesures de Rétrodiffusion et d'absorption « Canard »

Notre objectif était de mesurer les propriétés bio-optiques des différentes masses d'eau traversées pour une validation des luminances marines télédétectées. Les coefficients de rétrodiffusion $bb(\lambda)$ et d'absorption $a(\lambda)$ de la lumière par les particules ont été mesurés afin de vérifier la relation $R(\lambda) = bb(\lambda) / a(\lambda)$ en zone équatoriale. La rétrodiffusion des eaux de mer dépend de la distribution de taille des particules, débris d'origine biogène ou minérale, phytoplancton, colloïdes etc...et est mal connue. Les mesures de rétrodiffusion effectuées à l'aide de l'Hydroscat-6 pendant cette campagne sont les premières effectuées en zone équatoriale.

9.1 Rétrodiffusion

Le coefficient de rétrodiffusion de la lumière par les particules a été mesuré à l'aide d'un « CANARD » de type Hydroscat-6 (Figure 54, HOBI Labs, Watsonville, California). Le signal de diffusion est mesuré à un angle fixe de 140° , correspondant à la variation minimale de l'indicatrice de diffusion β (Maffione et Dana, 1997) et ce sur 6 canaux (442, 488, 510, 555, 620 et 670 nm). L'éclairement des diodes électroluminescentes est modulé à fréquence audio (400 à 1000 Hz) de manière à éviter les interactions entre canaux. Chaque diode s'éteint puis s'allume à sa propre fréquence. Le récepteur couplé mesure le signal de fond lorsque la diode est éteinte et le soustrait à la mesure faite lorsque la diode est allumée. Cette méthode permet en théorie une mesure précise dans toutes les conditions de luminosité. Ce panel de fréquences permet également de s'affranchir d'éventuelles modulations du signal dues aux vagues ou à l'hydrodynamique tout en conservant un faible niveau de bruit électronique.



Figure 54 : « CANARD » (Hydroscat-6, HOBI Labs, acquis par le LODYC) avant sa mise à l'eau.

Le volume d'échantillonnage de l'Hydroscat-6 se situe à l'intersection du cône d'émission de la photodiode et du champ de vision du récepteur, à environ 10 cm de la face inférieure de l'instrument. La profondeur de champ du récepteur fait en sorte que l'essentiel du signal mesuré (90% du signal) provient de ce volume d'environ 100 mL. L'Hydroscat-6 permet de plus de mesurer la fluorescence de la chlorophylle et de la phycoérythrine en utilisant respectivement les couples d'excitation/émission 442/676 et 488/555.

Les profils Hydroscat ont été réalisés par le portique arrière du N/O Alis, après équilibration du capteur en température pendant quelques minutes à 2 mètres. La descente s'effectuait à moins de 1 mètre par seconde jusqu'à 180 mètres. L'Hydroscat-6 a été calibré par le constructeur avant la campagne. La restitution des données acquises se fait grâce au logiciel Hydrosoft.

9.2 Traitement des données.

Le coefficient de rétrodiffusion est estimé en utilisant le protocole standard (HOBI Labs, 2004). Le coefficient de rétrodiffusion brut, b_{uH6} , est dérivé de $\beta(140^\circ)$ en utilisant un coefficient de conversion unique pour l'eau et les particules. Puis, une correction « sigma » est appliquée au coefficient brut b_{uH6} pour compenser la perte de photons par absorption le long du chemin optique entre l'instrument et le volume de détection par :

$$b_{bH6} = \text{sigma} * b_{uH6}$$

L'erreur maximale introduite par cette correction sigma est de 2 % à 442 nm, et de 0.4 % à 620 nm pour C variant entre 0 et 1 mg.m⁻³. Pour Frontalis 2, le modèle optique d'absorption pour une concentration en chlorophylle de 0.1 mg.m⁻³ (proches des valeurs mesurées) a été utilisé. Un filtre passe-bas est appliqué aux profils bruts avec moyenne glissante sur 5 mètres, les valeurs *in situ* au-dessus de 1.5 m sont éliminées et la médiane obtenue à cette profondeur est considérée comme notre valeur de surface (Bernardi, 2003; Dirberg, 2004). Le coefficient de rétrodiffusion des particules, $b_{bp}(\lambda)$, est obtenu par soustraction du coefficient de rétrodiffusion de l'eau pure de la littérature, $b_{bw}(\lambda)$.

9.3 Absorption

Les prélèvements pour la mesure de l'absorption *in vivo* ont été effectués grâce à une bouteille. Les particules ont été récoltées en filtrant un volume de 2.35 L sur des filtres Whatman GF/F de 25 mm de diamètre avec une pression inférieure à 25 mm Hg, et stockés immédiatement à -80°C.

9.3.1 Mesures au spectrophotomètre

Les spectres d'absorption par les particules, $a_p(\lambda)$, ont été mesurés à l'aide d'un spectrophotomètre Beckman DU-600 en positionnant le filtre encore congelé devant la fenêtre du photodétecteur et en référence à un filtre blanc imbibé d'eau de mer filtrée. Les spectres d'absorption des phytodétritus, $a_d(\lambda)$, ont été obtenus sur les mêmes filtres après blanchissement au méthanol et rinçage à l'eau de mer filtrée. Les coefficients d'absorption ont été calculés avec les coefficients de Mitchell *et al.*, 1990, comme dans Dupouy *et al.* (1997). Le coefficient d'absorption du phytoplancton est calculé par différence entre a_p et a_d .

9.3.2 Présentation des données en base

Les coefficients de rétrodiffusion et d'absorption (m-1) sont présentés pour la couche de surface (1-2 mètres) aux longueurs d'onde des capteurs du satellite MODIS 412, 440, 480, 510, 555, 620 et 676 nm (sauf le 412 nm non disponible pour l'Hydroscat-6).

Descripteur des prélèvements :

Station	Lat.	Lon.	Date	Heure
---------	------	------	------	-------

Pour les données de la CTD (S, Sigma-T, OxC, et Fl), se reporter à la base CTD.

Descripteurs des paramètres de la base optique :

bbH6_442	bbH6_488	bbH6_510	bbH6_555	bbH6_620	bbH6_676
----------	----------	----------	----------	----------	----------

b_{bH6} = coefficient de rétrodiffusion Hydroscat-6 (m⁻¹) à 440, 480, 510, 550, 620 et 670 nm

Ap412	Ap442	Ap488	Ap510	Ap555	Ap620	Ap676
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

a_p = coefficient d'absorption par les particules (m^{-1}) à 412,440, 480, 510, 550, 620 et 670 nm

Ad412 Ad442 Ad488 Ad510 Ad555 Ad620 Ad676

A_d = coefficient d'absorption par les particules (m^{-1}) à 412,440, 480, 510, 550, 620 et 670 nm

9.4 Résultats

Les profils de rétrodiffusion à 440 nm et de la fluorescence (Figure 55a,b) diffèrent, montrant que le matériel fluorescent (chlorophyllien) n'est pas forcément rétrodiffusant (particules de petite taille $< 1 \mu m$). Les spectres d'absorption du phytoplancton (Figure 56) qui montrent un pic à 330 nm indiquent la présence de filaments de *Trichodesmium* sur les filtres, ceci essentiellement à la station F1 à 8°S (également à F40 sur le spectre de particules avant blanchissement au méthanol) mais en quantité négligeable ailleurs (F32). Les valeurs d'absorption sont faibles (Figure 57) en relation avec les concentrations en chlorophylles mesurées par fluorométrie. Les spectres de rétrodiffusion sont caractéristiques d'eau moyennement rétrodiffusantes, excepté dans la zone équatoriale riche à 176°E (station F28). Le pic de rétrodiffusion à 676 nm indique l'influence de la fluorescence rouge à ce canal, et a déjà été signalé dans le cas d'eaux riches en chlorophylle. Les profils par station sont présentés pour la rétrodiffusion au canal 440 nm et pour la fluorescence, Figure 58. La rétrodiffusion est stable verticalement et les valeurs observées sont typiques d'eaux oligotrophes, sauf en zone équatoriale à 174°E, où un maximum de rétrodiffusion est observé dans la couche de surface (F28, F32), en relation avec une augmentation de la fluorescence à la station F28.

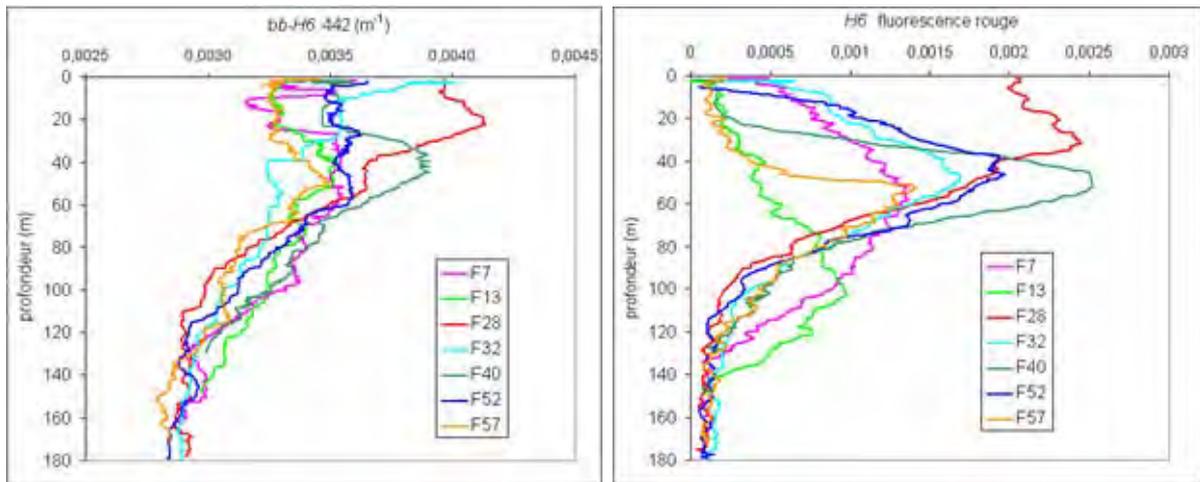


Figure 55 : Profils CANARD (Hydroscat-6) entre 0 et 180 mètres de a) la fluorescence rouge à 676 nm b) du coefficient de rétrodiffusion des particules à 442 nm (m^{-1}).

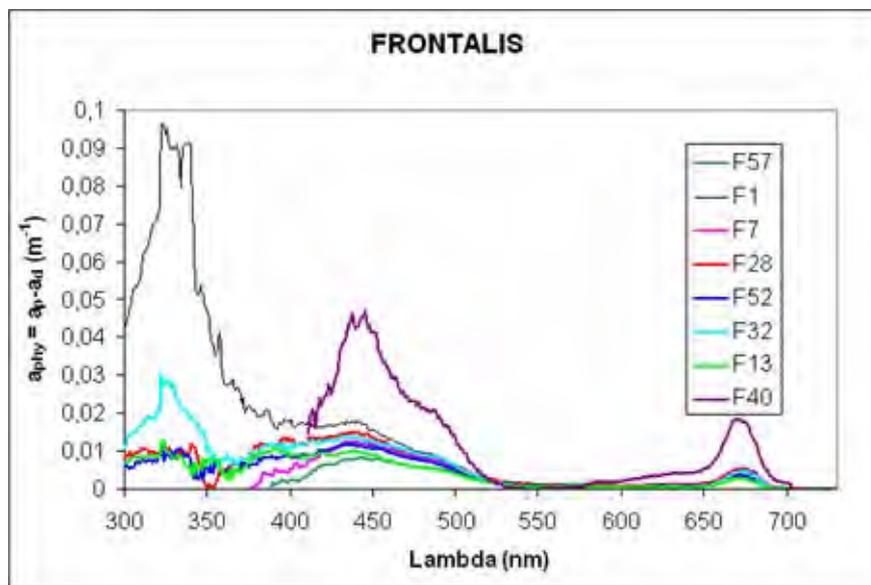


Figure 56 : Spectres d'absorption par le phytoplancton (différence entre absorption totale et absorption après blanchissement au méthanol).

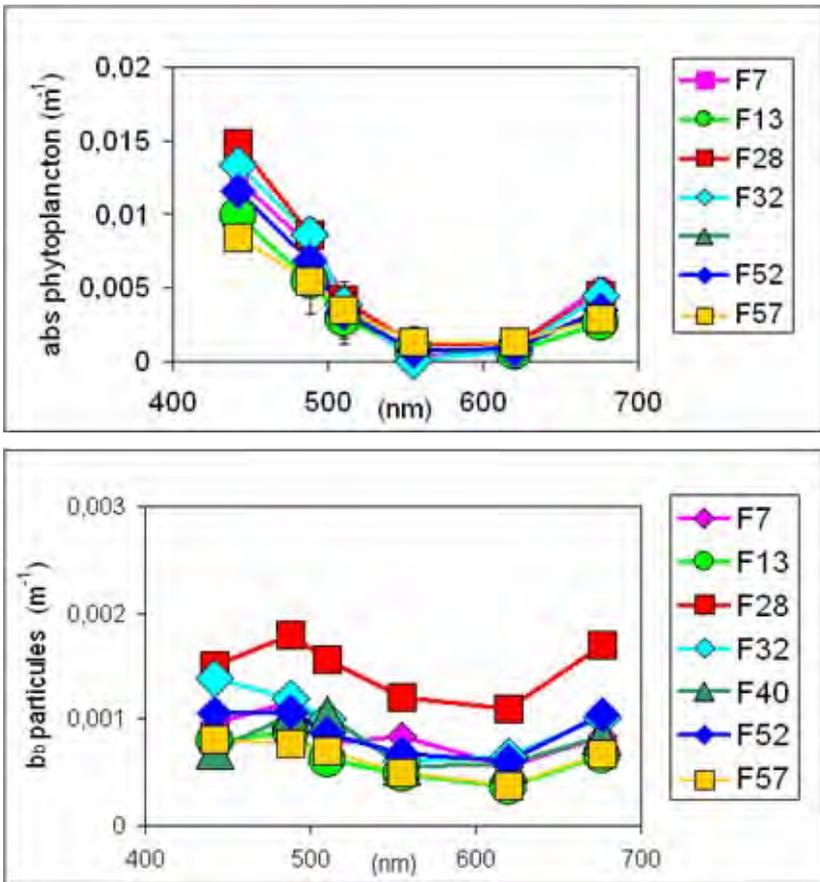


Figure 57 : Spectres d'absorption et de rétrodiffusion obtenus à différentes stations aux canaux SeaWiFS.

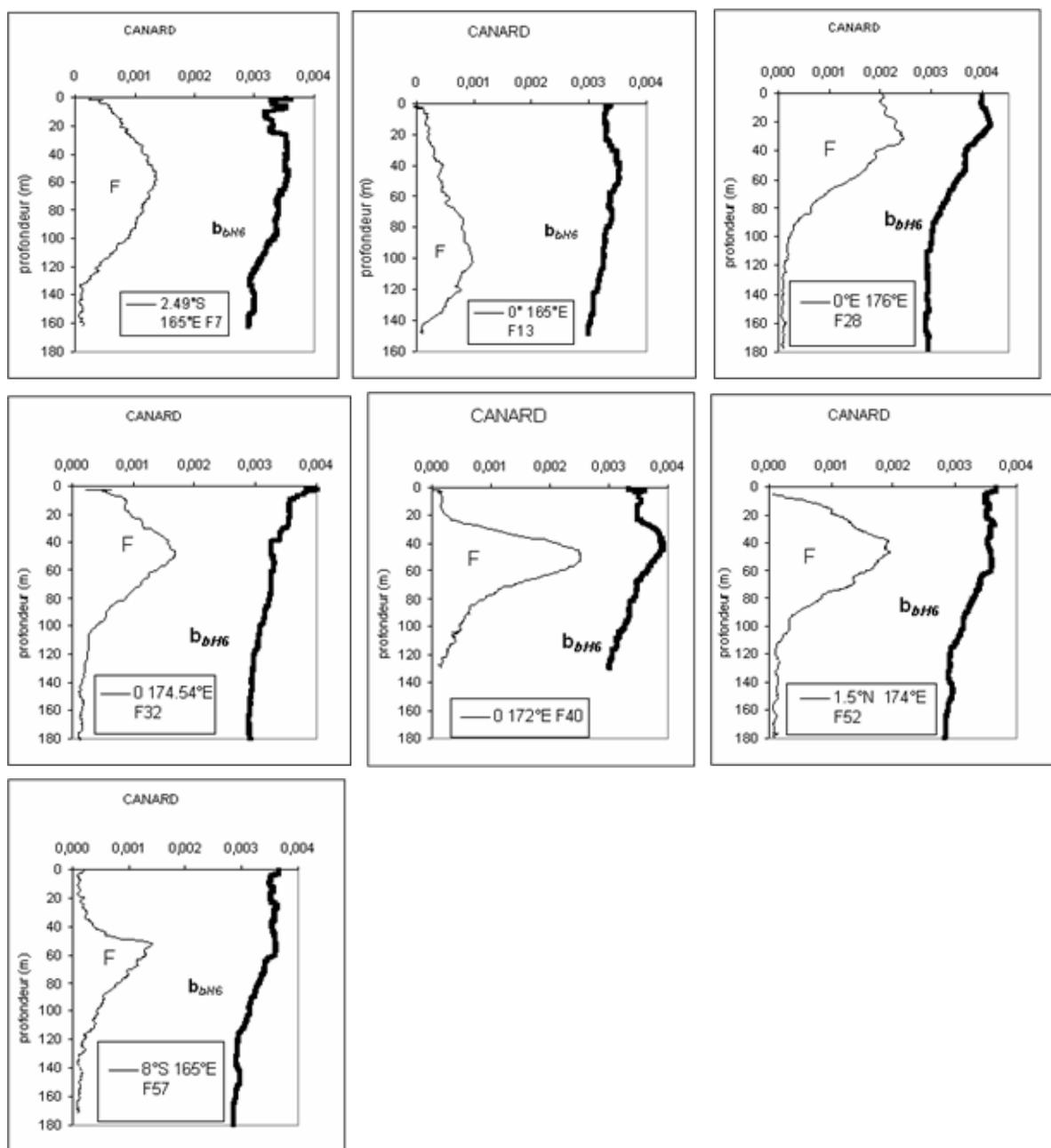


Figure 58 : Profils CANARD (Hydroscat-6) entre 0 et 180 m de la fluorescence rouge et de la rétrodiffusion totale à 440 nm pour les différentes stations.

10 Mesures sondeur multifaisceaux

Sur le versant ouest du récif Petrie (164°20'00''E, 18°36'00''S), une cartographie a été effectuée dans l'éventualité d'un futur site de mouillage (Figure 59). Une sonde XBT a été lancée pour étalonnage, puis la cartographie effectuée par sondeur multi-faisceaux de la pente externe du récif (20-900 mètres). Les équipements utilisés sont les suivants :

- Sondeur multi-faisceaux Simrad EM 1002
- Positionnement GPS, Leica MX 400
- Cap par centrale d'attitude GPS Sercel NR230 MkII
- Centrale d'attitude Seatex MRU5
- Thermosalinographe de coque : Seabird SBE 21

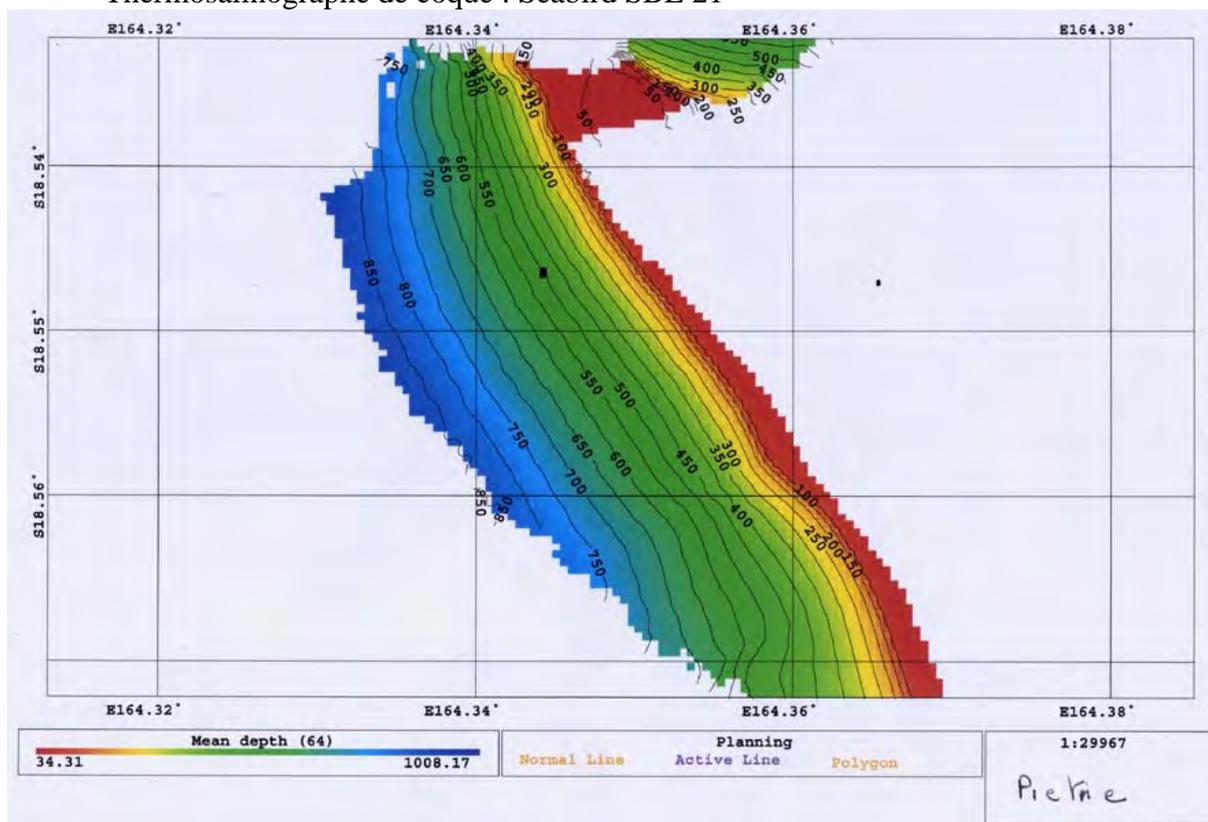


Figure 59 : Cartographie multifaisceau du versant ouest du récif Petrie.

11 Bouées dérivantes

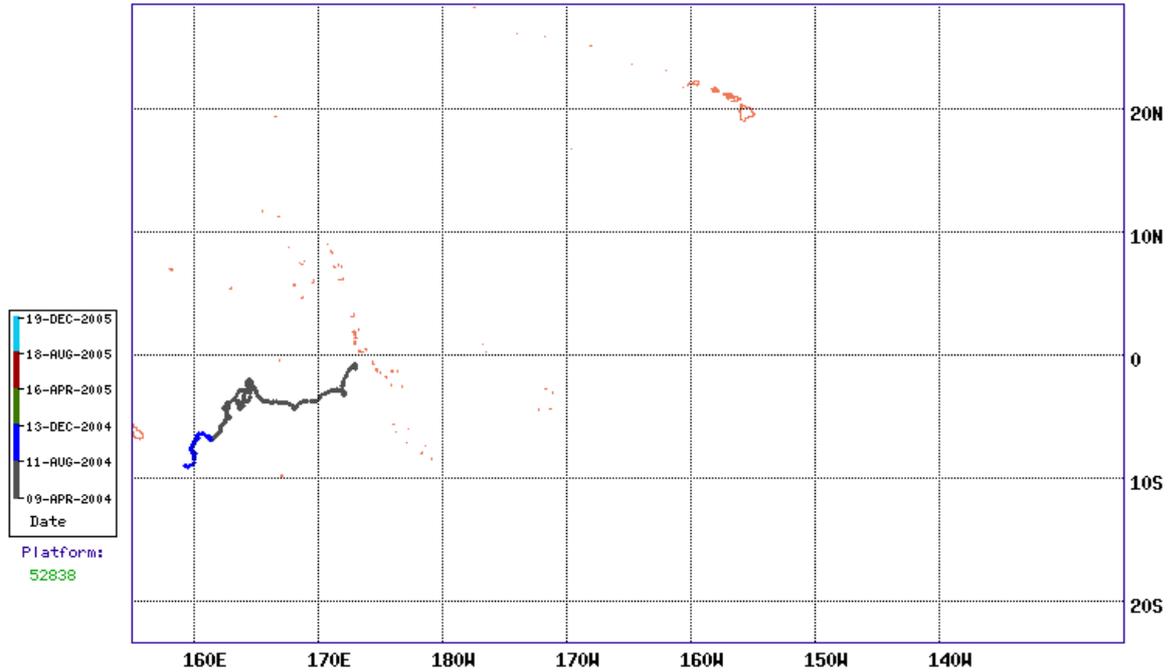
Dans le cadre du Surface Velocity Programme, et afin d'appréhender la convergence et/ou divergence des eaux au voisinage du front de salinité situé sur le bord est de la Warm Pool, quatre bouées dérivantes fournies par l'Atlantic Oceanographic and Meteorological Laboratory (Miami, <http://www.aoml.noaa.gov>) ont été déployées (Tableau 9). Ces bouées sont munies d'émetteurs ARGOS et d'un capteur de température. Les trajectoires et la température enregistrée de ces bouées sont données Figure 60 à Figure 63.

Ident. Bouée	Latitude	Longitude	Date TU	Numéro de série
52838	2°00.13'S	165°01.57'	09/04/04 01:44	39231
52837	0°00.00'	175°40.05'	14/04/04 16:59	39230
52836	0°00.20'N	172°00.93'	16/04/04 04:38	36964
52839	5°00.99'S	164°59.13'	23/04/04 09:19	36965

Tableau 9: Numéro d'identification (ID/WMO), position et dates de largage des bouées dérivantes.

APR-9-2004 to DEC-19-2005

GOOS/CoastWatch NOAA/AOML
NRT Drifter Database

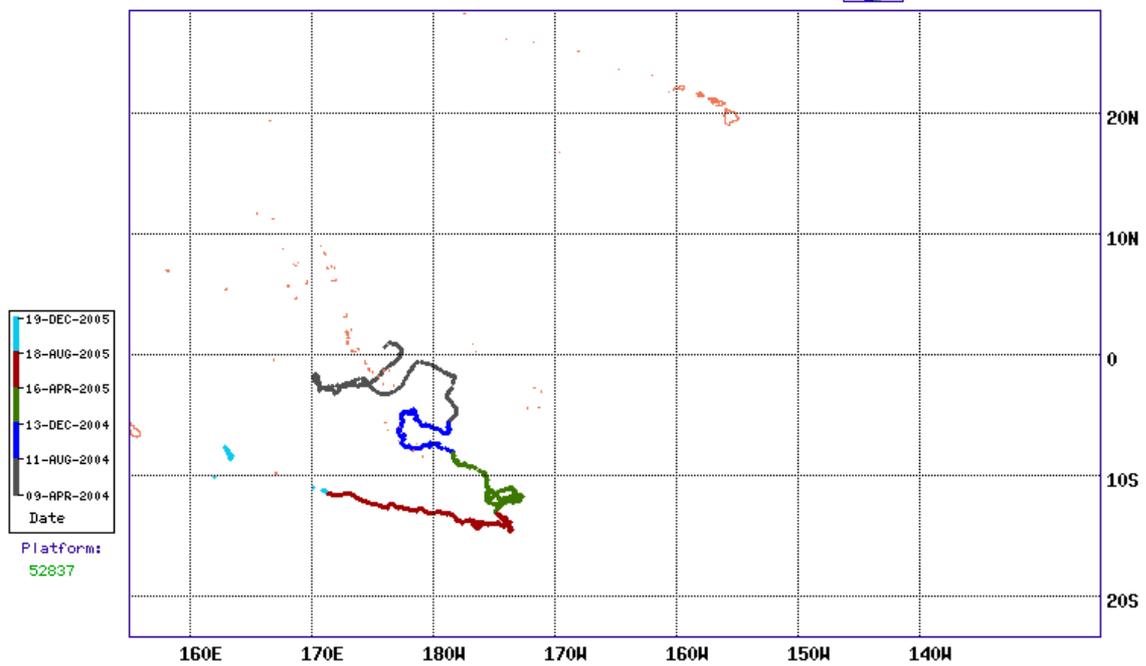


Developed by Joaquin A. Trinanes

Figure 60 : Trajectoire de la bouée 52838

APR-9-2004 to DEC-19-2005

GOOS/CoastWatch NOAA/AOML
NRT Drifter Database

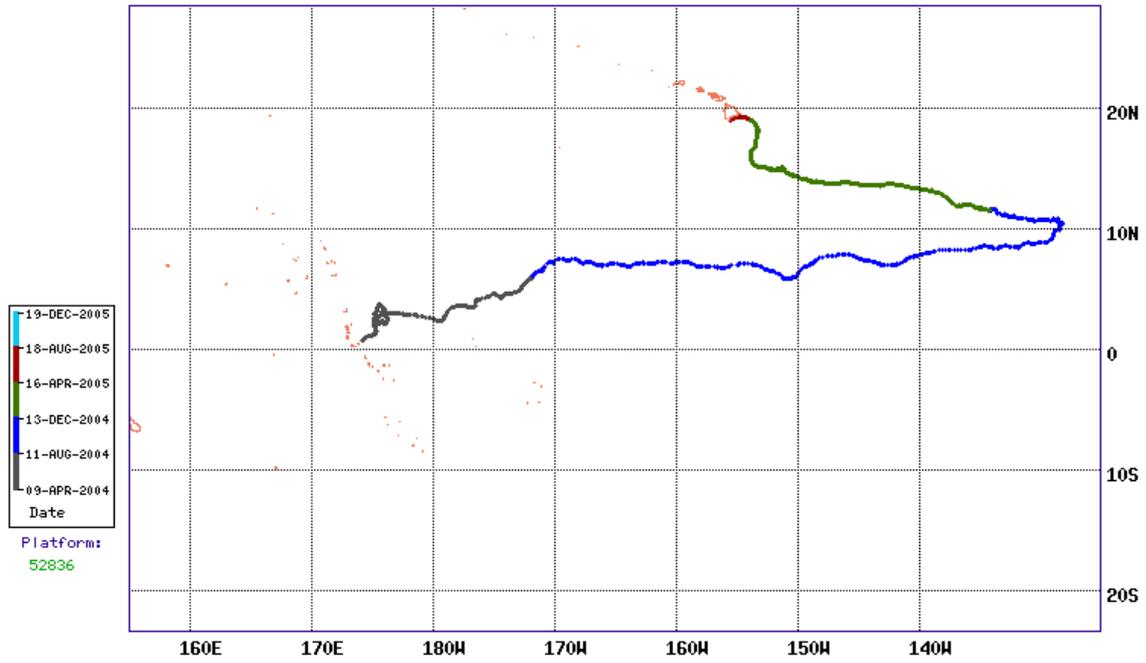


Developed by Joaquin A. Trinanes

Figure 61 : Trajectoire de la bouée 52837

APR-9-2004 to DEC-19-2005

GOOS/CoastWatch NOAA/AOML
NRT Drifter Database

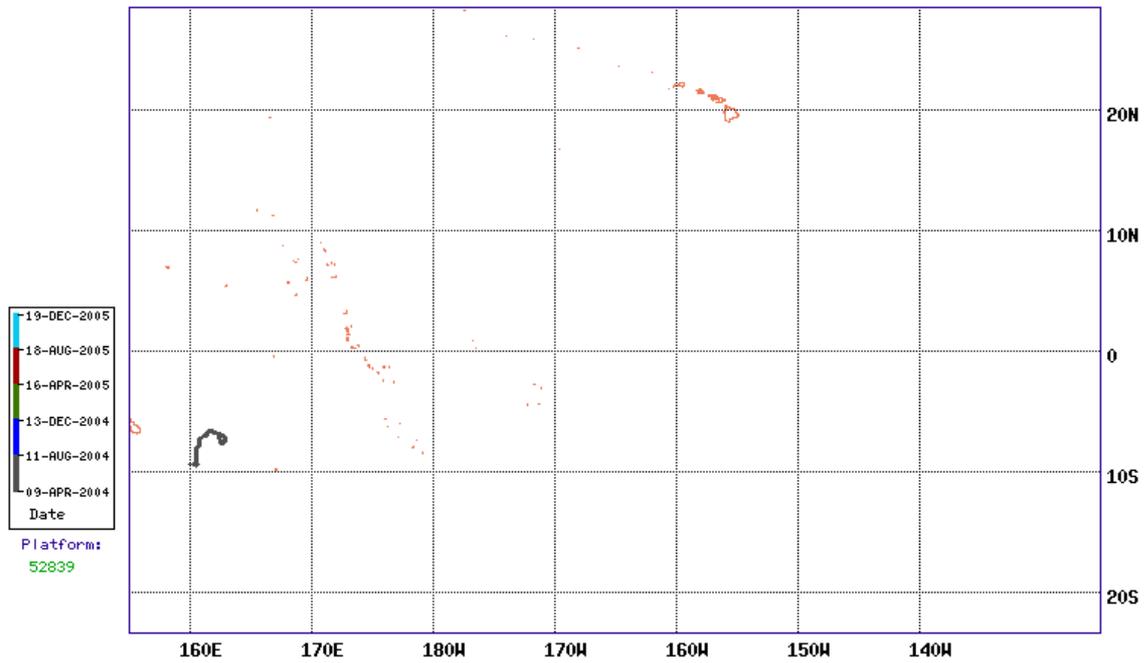


Developed by Joaquin R. Trinanes

Figure 62 : Trajectoire de la bouée 52836

APR-9-2004 to DEC-19-2005

GOOS/CoastWatch NOAA/AOML
NRT Drifter Database



Developed by Joaquin R. Trinanes

Figure 63 : Trajectoire de la bouée 52839

12 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 deux interventions. La première intervention consistait à pourchasser et récupérer le mouillage de 8°S. Ce mouillage ayant trop dérivé suite au fort vent avant et pendant le début de la campagne, nous n'avons pu intervenir. Nous avons procédé au changement du capteur de vent sur le mouillage à 2°S-165°E. L'inspection visuelle du mouillage à l'Equateur et à 5°S a eu lieu sur la radiale 165°E; cela n'a pas révélé de problèmes particuliers.

13 Références

- Bahr, F., E. Firing and S. Jiang, 1990. 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.
- Bernardi, C., 2003. Logiciels développés pour la restitution des données Hydroscat-6, contrat Ingénieur, LODYC, 10 pp.
- Billant A. et P. Branellec, 1994. Mesures de salinité et oxygène dissous. In : Recueil de Données, Campagne CITHER1, volume 3/4 : Traceurs Géochimiques, Doc Scient. ORSTOM Cayenne, N°O.P. 15,7-30.
- Billant, A., et P. Branellec, 1994. Calibration des mesures CTD-O2 ; Campagne CITHER-1 N/O ATALANTE (2 janvier – 19 mars 1993), Recueil de données, Vol.2 : CTD-O2, Rapport Interne LPO (94-04)
- Carpenter J.H., 1965. The Chesapeake Bay Institute technique for the Winkler dissolved oxygen method. Limnol. Oceanogr., 10, 141-143.
- Chuchla, R. et B. Bourlès, 2001. Calibration des mesures CTD-O2, Campagne EQUALANT-2000, N.O. Thalassa, 24 juillet-21 août 2000, Rapport de campagne à la mer, Document Scientifique et Technique du Centre IRD Bretagne, n°89 Décembre 2001.
- Chuchla, R., B. Bourlès et Y. Gouriou, 2000. Calibration des mesures CTD-O2, Campagne EQUALANT 99, N.O. Thalassa 13 juillet – 21 août 1999, Rapport de campagne à la mer, Rapport interne LODYC n°2000-01, décembre 2000.
- Chuchla, R., E. Kestenare et F. Baurand, 2000. Mesures d'oxygène, Campagne EQUALANT-99, N.O. Thalassa, 13 juillet-21 août 1999, Recueil de données, Rapport Interne LODYC n°2000-01.
- Chuchla, R., A. Paumier, B. Rigobert et F. Baurand, 2001, Mesures d'oxygène, Campagne EQUALANT-2000, N.O. Thalassa, 24 juillet-21 août 2000, Rapport de campagne à la mer, Document Scientifique et Technique du Centre IRD Bretagne, n°89 Décembre 2001.
- Chuchla, R. et F. Marin, 2000. Mesures de salinité, Campagne EQUALANT-99, N.O. Thalassa, 13 juillet-21 août 1999, Recueil de données, Rapport Interne LODYC n°2000-01.
- Chuchla, R. et B. Le Vu, 2001, Mesures de salinité, Campagne EQUALANT-2000, N.O. Thalassa, 24 juillet-21 août 2000, Rapport de campagne à la mer, Document Scientifique et Technique du Centre IRD Bretagne, n°89 Décembre 2001.
- Dandonneau, Y., 1995. 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.
- Dirberg, Guillaume, 2004. Rétrodiffusion Hydroscat-6 des *Trichodesmium* dans le Pacifique Tropical Sud Ouest. Rapport de stage Ingénieur 3^{ème} année ENGEES et MSC Southampton Oceanography Center. 10 janvier-30 juin 2004, 28 pp. Centre IRD de Nouméa.
- Delcroix, T., F. Baurand, G. Eldin, F. Gallois, Y. Gouriou, M. Rodier et D. Varillon, 2002. 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. UMR LEGOS, Toulouse, document interne, 130 pages.
- Dupouy, C., Neveux, J. and J. M. André, 1997. Spectral absorption coefficient of photosynthetically active pigments in the equatorial Pacific ocean (165°E-150°W). *Deep Sea Research II*, 44, 9-10, 1881-1906.
- DOE, 1994. Handbook of methods for the analysis of the various parameters of the carbon dioxide system in sea water ; version 2. A.G. Dickson & C. Goyet, eds.
- Eldin, G., T. Delcroix, and M. Rodier, 2004: The frontal area at the eastern edge of the western equatorial Pacific warm pool in April 2001. *J. Geophys. Res.*, 109, C07006, doi:10.1029/2003JC002088.
- Fischer J., and M. Visbeck, 1993. Deep Velocity Profiling with self-contained ADCPs, *J. Atmos. Oceanic Technol.* p 764-773.
- Fournier P., C. Oudot et F.Baurand, 1997a - Mesures d'Oxygène dissous, Campagne ETAMBOT-1, Recueil de données, volume 2/2, Documents Scientifiques du Centre ORSTOM de Cayenne, n°O.P. 23.
- Fournier P., C. Oudot et F.Baurand, 1997b - Mesures d'Oxygène dissous, Campagne ETAMBOT-2, Recueil de données, volume 2/2, Documents Scientifiques du Centre ORSTOM de Cayenne, n°O.P. 25.

- Gouriou, Y., 1997a. Calibration des mesures CTD-O₂, dans « Campagne ETAMBOT 1, Recueil de données, Vol.1/2 : Introduction, Mesures 'en route', Courantométrie ADCP, mesures CTDO₂, Coupes de distributions verticales », Doc. Scient. du Centre ORSTOM de Cayenne, O.P. 22.
- Gouriou, Y., 1997b Calibration des mesures CTD-O₂, dans « Campagne ETAMBOT 2, Recueil de données, Vol.1/2 : Introduction, Mesures 'en route', Courantométrie ADCP, mesures CTDO₂, Coupes de distributions verticales », Doc. Scient. du Centre ORSTOM de Cayenne, O.P. 24.
- Hall M.M. and H.L. Bryden, 1982. Direct estimates and mechanisms of ocean heat transport, *Deep-Sea Res.*, 29, 339-359.
- HOBILabs, 2004. HydroScat-6 Spectral Backscattering Sensor, User's Manual, revision 2, October 2004, 59 pp.
- Holmes R. M., Aminot A., Kérouel R., Hooker B.A., Petersen B.J., 1999. A simple and precise method for measuring ammonium in marine and freshwater ecosystems, *Can. J. fish. Aquat. Sci.*, 56, 1801-1808
- Joyce, T., et C. Corry, 1994. Requirements for WOCE hydrographic programme data reporting, WHP Office Report 90-1, WOCE Report n°67/91, Woods Hole, Mass., USA.
- Le Bouteiller, A., Blanchot J., Rodier M., 1992. Size distribution patterns of phytoplankton in the western Pacific: towards a generalization for the tropical ocean. *Deep-Sea Res.*, 39, 803-823.
- Kattner G., 1999. Storage of dissolved inorganic nutrients in seawater: poisoning with mercuric chloride, *Mar. Chem.*, 67, 61-66.
- Maffione, R. A., and D. R. Dana, 1997. Instrument for measuring the backward scattering coefficient of ocean waters, *Appl. Opt.*, 36, 6057-6067.
- Millero F. J. and A. Poisson, 1981. International one-atmosphere equation of the state of Sea Water, *Deep Sea Res.*, 28, 625-629.
- Murphy J., Riley J.P., 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters, *Anal. Chem. Acta*, 26, 31-36.
- Murray C. N., J. P. Riley and T.R. S. Wilson, 1968. The solubility of oxygen in Winkler reagents used for the determination of dissolved oxygen. *Deep Sea Res.*, 15, 237-238.
- Owen, W.B., et R.C. Millard, 1985. A new algorithm for CTD oxygen calibration, *Journal of Physical Oceanography*, 15, 621-631.
- Pollard, R. and J. Read, 1989. A method for calibrating shipmounted acoustic Doppler profilers, and the limitations of gyro compasses, *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 6, 859-865.
- Raimbault P., Slawyk G., Coste B., Fry J., 1990. Feasibility of using an automated colorimetric procedure for the determination of seawater nitrate in the 0 to 100 nM range: examples from field and culture. *Mar. Biol.*, 104, 347-351.
- Seabird Electronics, Inc., 1998. CTD Data Acquisition software, SEASOFT, version 4.234, Washington, USA, 2 octobre 1998 (email : seabird@seabird.com).
- Strickland J., Parsons T., 1972. A practical handbook of seawater analysis. *Fish. Res. Bd. Canada Bull.*, 167, 310pp.
- UNESCO, 1968. Zooplankton sampling. *Monographs on Oceanographic Methodology*, 2, Paris, 174pp.
- UNESCO, 1981. Background papers and supporting data on the practical Salinity Scale 1978. UNESCO Technical Papers in marine Science, N°37, 144
- WOCE, 1994. WOCE Operations Manual. Vol. 3, Part 3.1.3 : WHP Operations and methods. WHP Office Report WHPO 91-1, WOCE report N°68/91, Revision 1, November 1994.
- World Ocean Circulation Experiment, 1994. WOCE Experiment Manual, WHP Office Report 90-1, WOCE Report No. 67/91, Rev.2, Woods Hole, Mass., USA, May 1994.
- WOCE, 1994. WOCE Operations Manual. Vol. 3, Part 3.1.3 : WHP Operations and methods. WHP Office Report WHPO 91-1, WOCE report N°68/91, Revision 1, November 1994.

14 Annexe 1 : Photos



15 Annexe 2 : Chronologie détaillée de la campagne

N° Station	Latitude dd°mm'	Longitude dd°mm'	Date et heure TU jj/mm/aaaa hh:mm	Profondeur (en m)	Durée hh:mm	CTD
Lifou	-20.52	167.32	02/04/2004 23:42	500	01:27	0
Transit: 8 stations annulées pour cause de mauvaise météo						
1	-11.10	165.00	06/04/2004 05:04	500	01:30	1
2	-10.00	165.02	06/04/2004 15:06	500	00:45	1
3	-9.00	165.01	06/04/2004 23:10	500	00:45	1
Transit: 3 stations annulées pour cause de mauvaise météo						
4	-5.00	165.00	08/04/2004 08:10	500	00:45	1
5	-4.00	165.00	08/04/2004 16:14	500	00:50	1
6	-3.30	165.00	08/04/2004 23:00	500	00:50	1
7	-3.00	165.01	09/04/2004 01:27	500	01:15	1
8	-2.30	165.01	09/04/2004 06:28	500	00:50	1
9	-2.00	165.02	09/04/2004 12:34	500	00:50	1
10	-1.30	165.02	09/04/2004 17:00	500	00:50	1
11	-1.00	165.00	09/04/2004 22:00	500	01:06	1
12	-0.30	165.01	10/04/2004 02:17	500	00:30	1
13	0.03	165.01	10/04/2004 06:30	500	01:20	1
14	0.31	165.00	10/04/2004 10:56	500	00:30	1
15	1.00	165.00	10/04/2004 17:00	500	00:50	1
16	1.30	165.00	10/04/2004 21:05	500	00:50	1
17	1.00	165.39	11/04/2004 03:21	500	00:40	1
18	0.30	166.18	11/04/2004 09:30	500	00:50	1
19	0.00	167.00	11/04/2004 16:39	500	00:50	1
20	0.00	168.03	12/04/2004 01:04	500	00:50	1
21	0.00	169.06	12/04/2004 08:00	500	00:50	1
22	0.01	170.20	12/04/2004 16:40	500	00:50	1
23	0.00	170.60	12/04/2004 23:45	500	00:50	1
24	0.00	172.00	13/04/2004 06:57	500	00:50	1
25	0.00	172.59	13/04/2004 13:55	500	00:50	1
26	0.00	174.00	13/04/2004 22:21	500	00:50	1
27	0.00	175.00	14/04/2004 06:17	500	00:50	1
28	0.00	176.00	14/04/2004 14:09	500	01:20	1
29	0.00	175.40	14/04/2004 16:45	500	00:30	1
30	0.00	175.20	14/04/2004 20:00	500	00:50	1
31	0.00	175.00	14/04/2004 23:30	500	00:30	1
32	0.00	174.40	15/04/2004 02:19	500	00:50	1
33	0.00	174.20	15/04/2004 05:40	500	00:30	1
34	0.00	174.00	15/04/2004 08:14	500	00:50	1
35	0.00	173.40	15/04/2004 11:12	500	00:30	1
36	0.00	173.20	15/04/2004 14:01	500	00:50	1
37	0.00	173.00	15/04/2004 17:11	500	00:30	1
38	0.00	172.40	15/04/2004 20:11	500	00:50	1
39	0.00	172.20	16/04/2004 00:20	500	00:30	1
40	0.00	172.01	16/04/2004 03:16	500	01:20	1
41	-1.60	174.00	16/04/2004 21:24	500	00:50	1
42	-1.40	174.00	17/04/2004 00:45	500	00:30	1
43	-1.20	174.00	17/04/2004 03:46	500	00:30	1
44	-1.00	174.01	17/04/2004 06:43	500	00:50	1
45	-0.40	174.00	17/04/2004 10:06	500	00:30	1
46	-0.20	174.00	17/04/2004 13:07	500	00:30	1
47	0.00	174.00	17/04/2004 16:45	500	00:50	1
	0.10	174.17	17/04/2004 20:00		00:00	0
48	0.20	174.06	17/04/2004 21:46	500	00:30	1
49	0.40	174.00	18/04/2004 00:45	500	00:30	1
50	1.00	174.00	18/04/2004 03:39	500	00:30	1
50	1.00	174.00	18/04/2004 03:50			
51	1.20	174.00	18/04/2004 07:45	500	00:30	1
52	1.40	174.00	18/04/2004 10:33	500	00:30	1
Tarawa	1.30	173.00	18/04/2004 18:12	0	00:00	0
Escale	1.30	173.00	19/04/2004 22:00			
Escale						
53	-5.00	165.00	23/04/2004 07:00	500	02:10	1
54	-5.03	165.00	23/04/2004 09:31	500	00:25	1
55	-6.00	165.00	23/04/2004 16:45	500	00:50	1
56	-7.01	165.00	24/04/2004 01:01	500	00:50	1
57	-8.01	165.00	24/04/2004 08:45	500	00:40	1
58	-9.00	165.01	24/04/2004 16:47	500	00:50	1
59	-10.00	165.01	25/04/2004 00:57	500	00:50	1
60	-11.00	165.00	25/04/2004 09:06	500	00:50	0
	-12.00	165.00	25/04/2004 17:15	0	00:00	1
61	-13.01	165.00	26/04/2004 00:00	500	00:50	1
62	-14.01	165.00	26/04/2004 08:00	1000	01:20	1
63	-15.00	165.00	26/04/2004 16:45	1000	01:20	1
64	-16.00	165.00	27/04/2004 01:36	1000	01:20	1
65	-17.00	165.00	27/04/2004 09:37	1000	01:20	1
66	-18.00	165.00	27/04/2004 17:36	1000	01:20	1
67	-18.33	164.18	28/04/2004 00:44	1000	03:00	1
68	-18.47	163.35	28/04/2004 08:30	1000	01:20	1

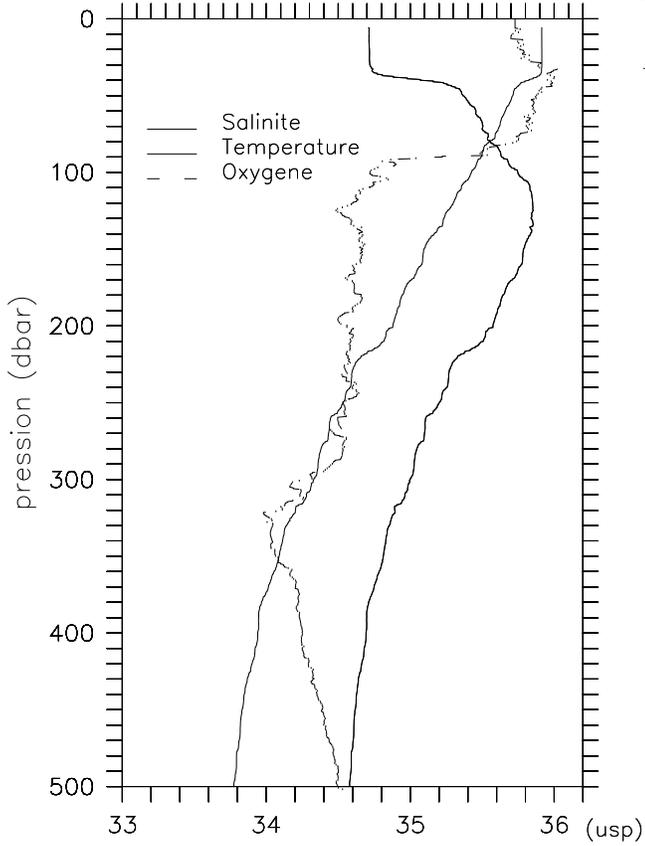
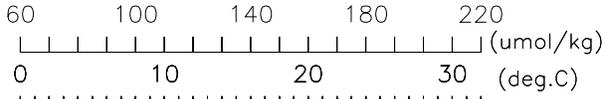
16 Annexe 3 : Graphiques

16.1 Profils CTD

Les figures suivantes montrent les données CTD-O2 après calibration, pour chaque station

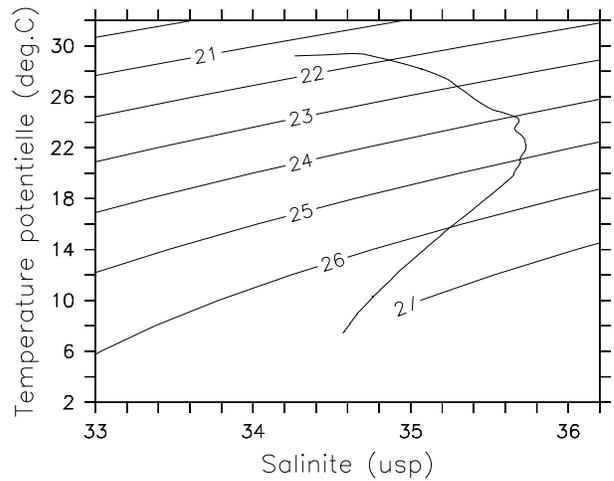
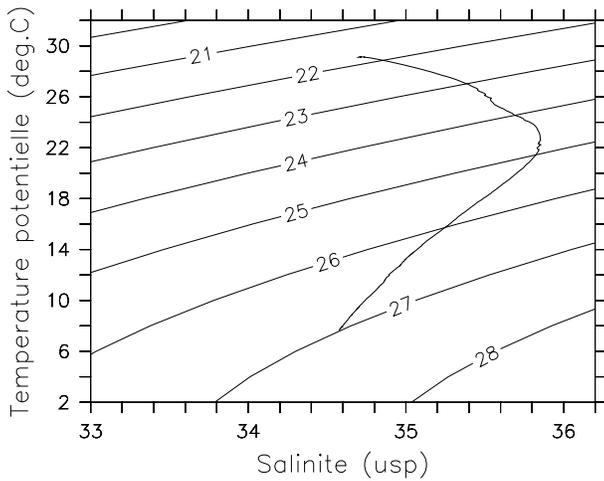
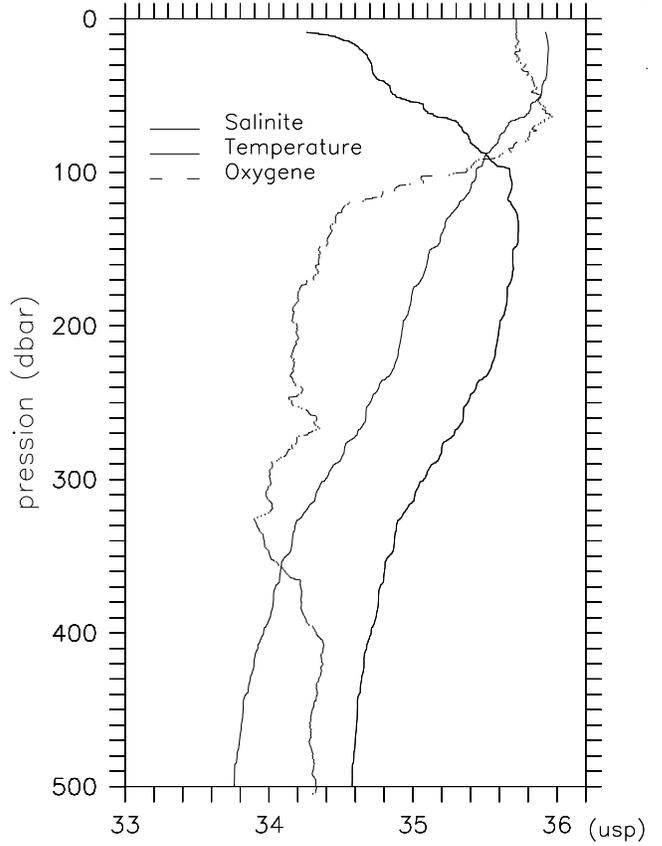
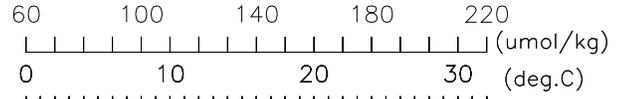
Frontalis2 Station 1

DATE: 06/04/2004 05:03:24 LATITUDE: 11 0.09 S LONGITUDE : 164 59.34 E



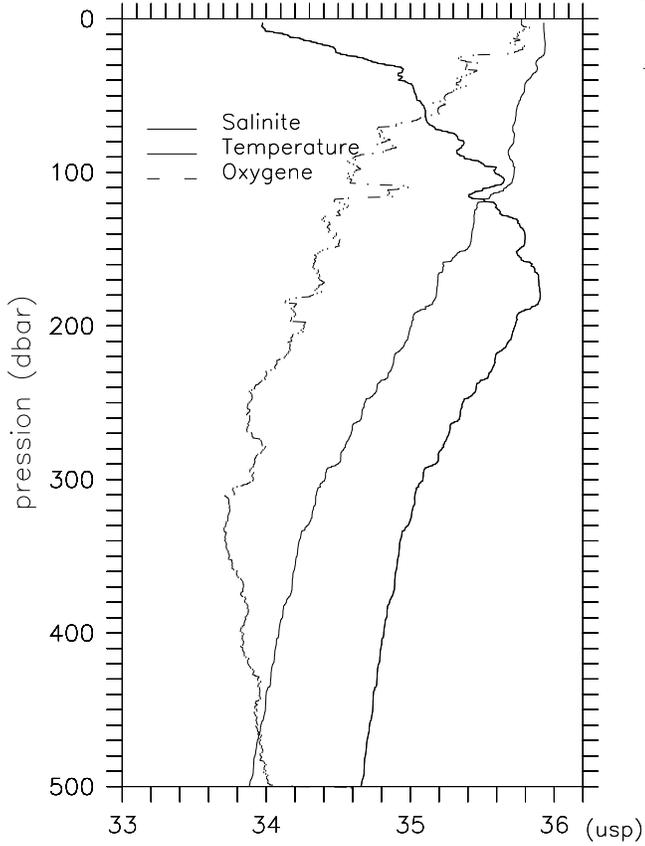
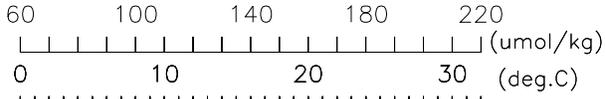
Frontalis2 Station 2

DATE: 06/04/2004 13:38:11 LATITUDE: 9 59.58 S LONGITUDE : 165 1.56 E



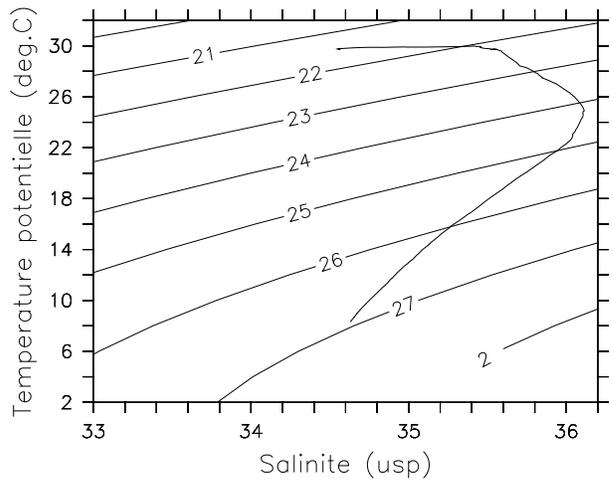
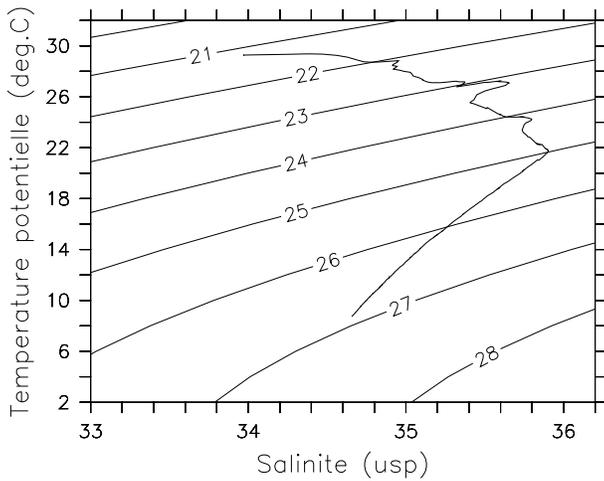
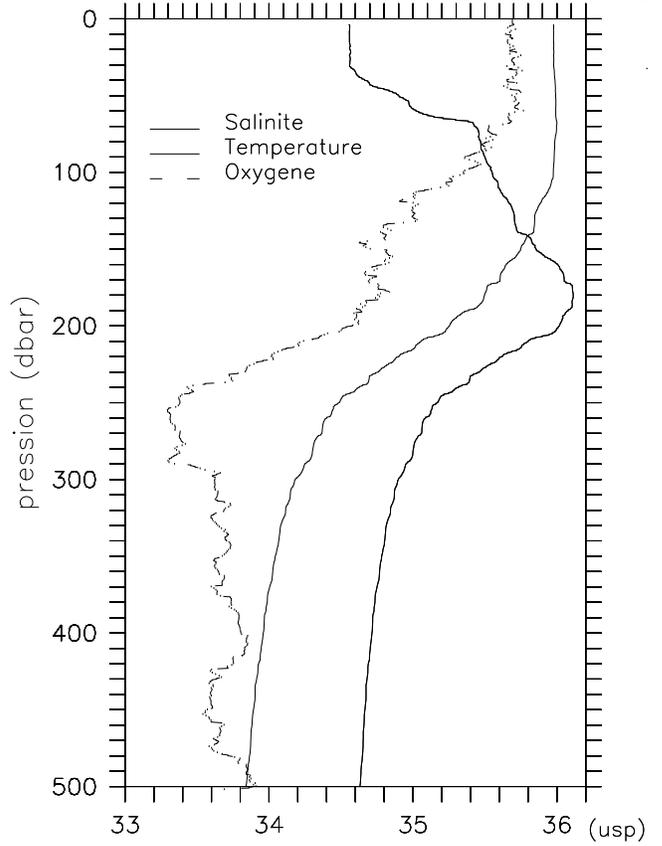
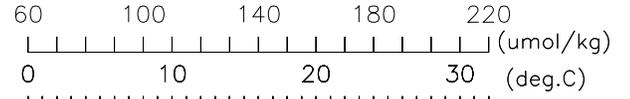
Frontalis2 Station 3

DATE: 06/04/2004 21:16:32 LATITUDE: 8 59.49 S LONGITUDE : 165 0.49 E



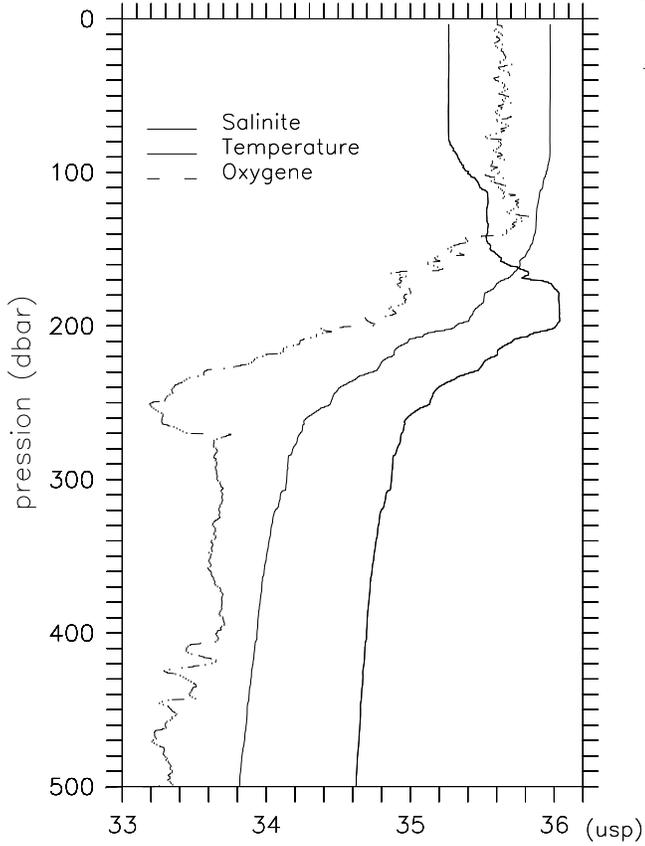
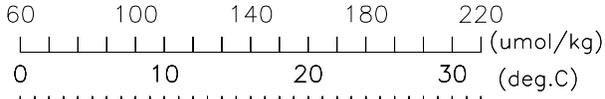
Frontalis2 Station 4

DATE: 08/04/2004 08:48:56 LATITUDE: 4 59.65 S LONGITUDE : 164 59.39 E



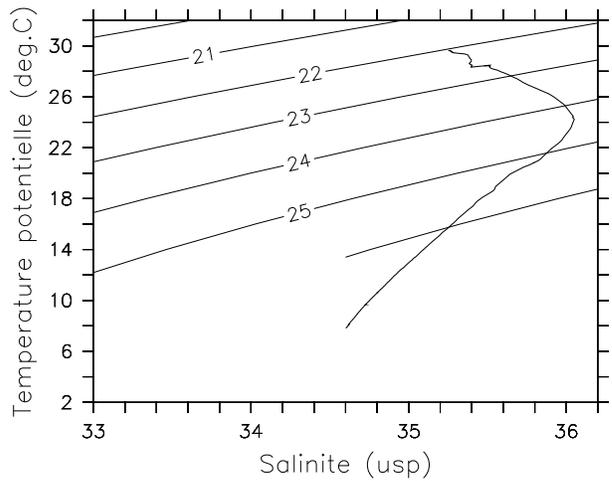
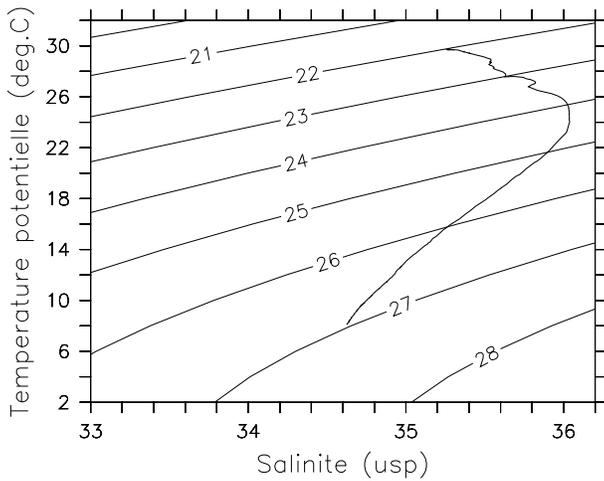
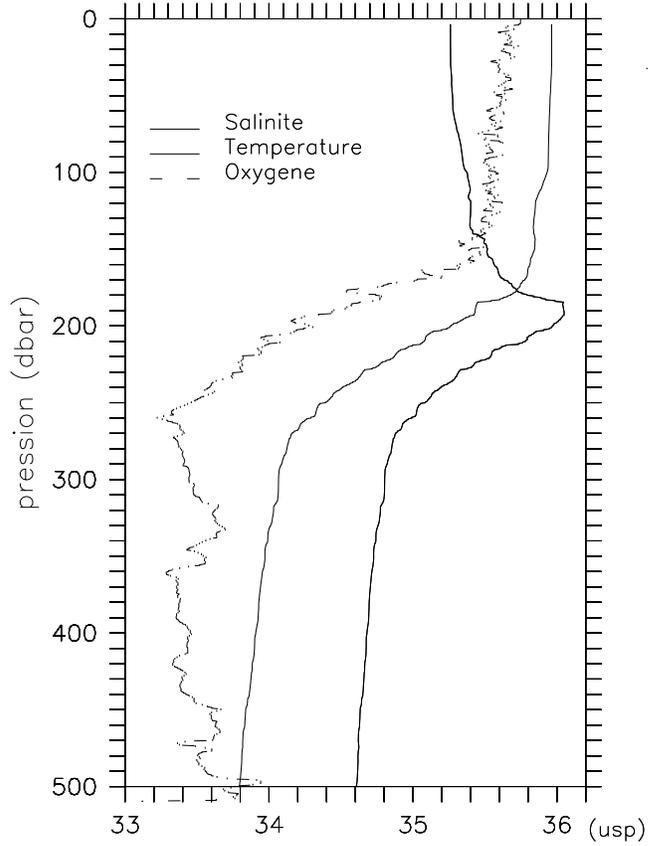
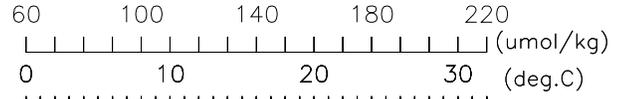
Frontalis2 Station 5

DATE: 08/04/2004 17:23:43 LATITUDE: 3 59.80 S LONGITUDE : 164 59.77 E



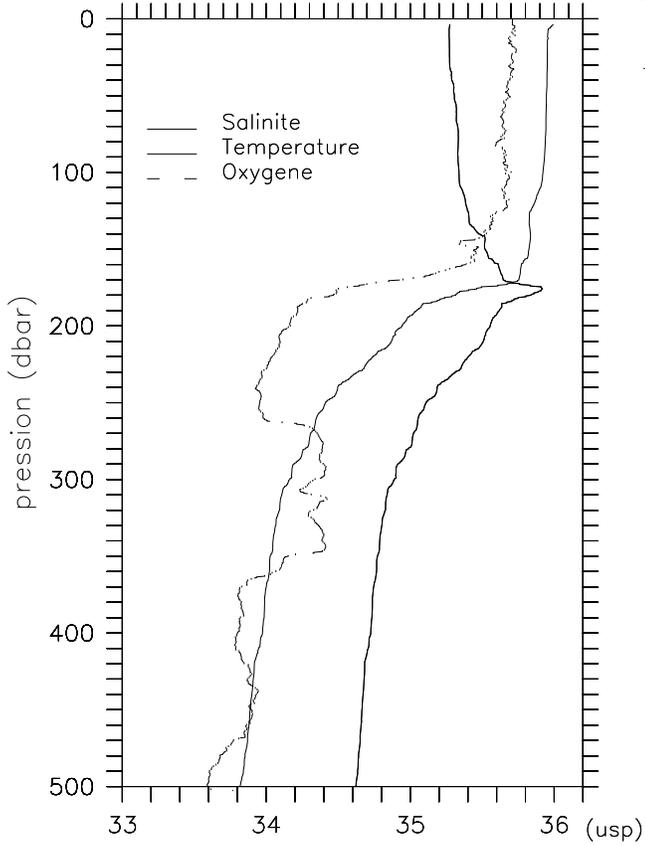
Frontalis2 Station 6

DATE: 08/04/2004 21:34:50 LATITUDE: 3 29.68 S LONGITUDE : 164 59.81 E



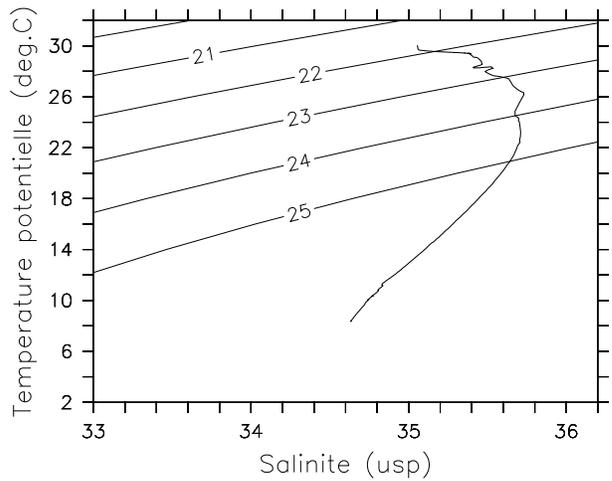
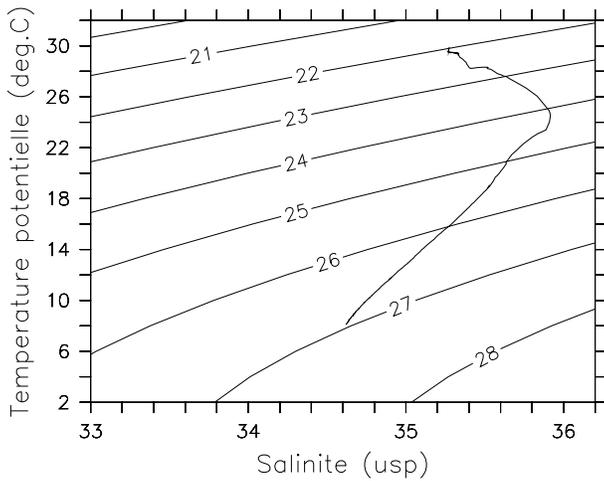
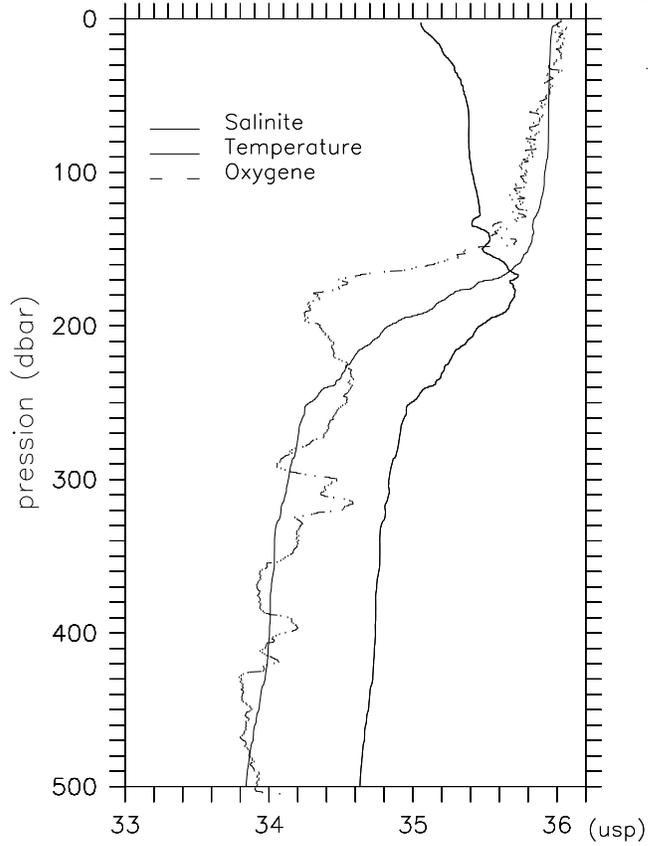
Frontalis2 Station 7

DATE: 09/04/2004 01:50:43 LATITUDE: 2 59.75 S LONGITUDE : 165 0.56 E
 60 100 140 180 220 (umol/kg)
 0 10 20 30 (deg.C)



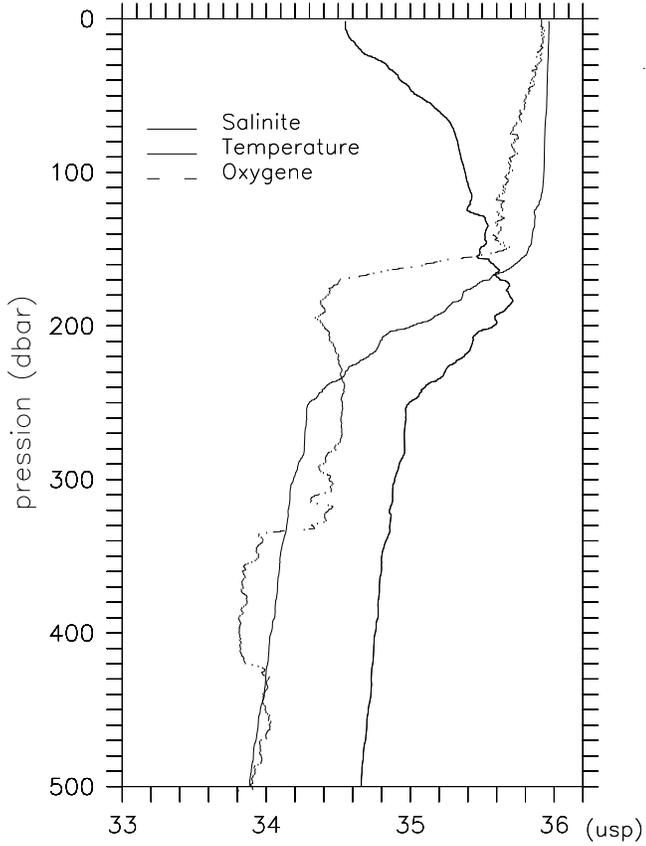
Frontalis2 Station 8

DATE: 09/04/2004 06:10:30 LATITUDE: 2 29.82 S LONGITUDE : 165 0.90 E
 60 100 140 180 220 (umol/kg)
 0 10 20 30 (deg.C)



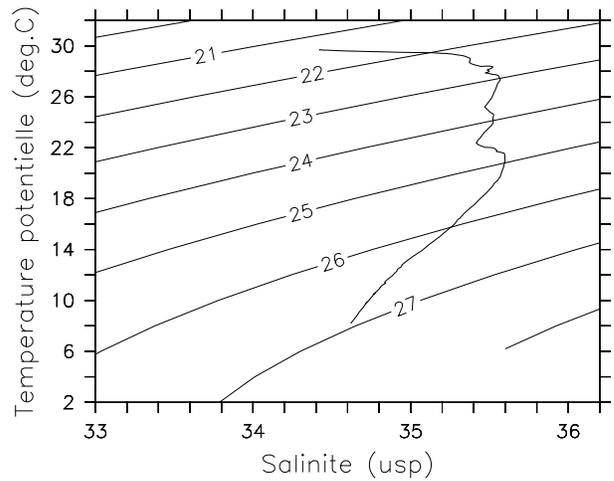
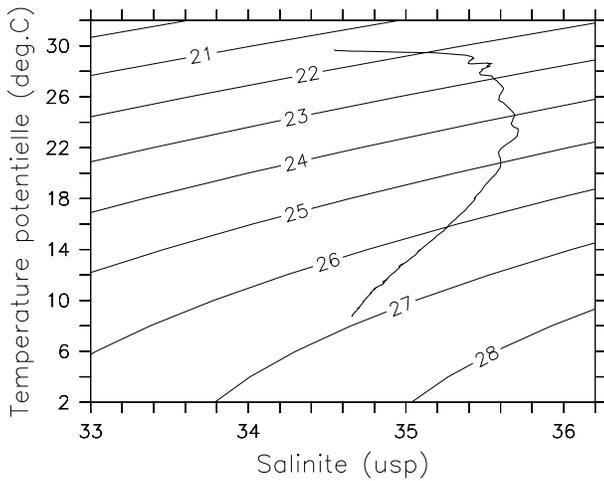
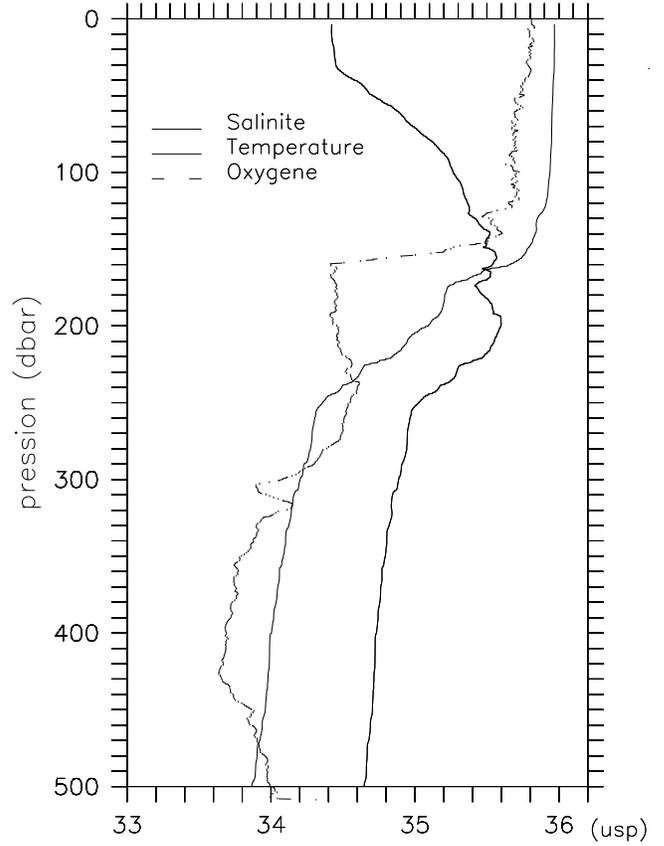
Frontalis2 Station 9

DATE: 09/04/2004 11:55:50 LATITUDE: 2 0.34 S LONGITUDE : 165 1.84 E
 60 100 140 180 220 (umol/kg)
 0 10 20 30 (deg.C)



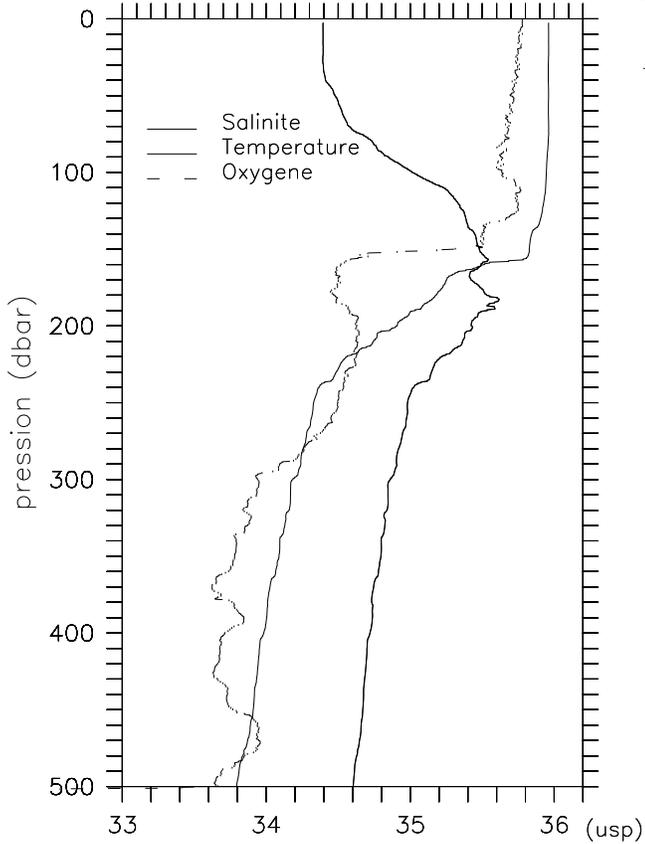
Frontalis2 Station 10

DATE: 09/04/2004 17:10:14 LATITUDE: 1 30.40 S LONGITUDE : 165 1.00 E
 60 100 140 180 220 (umol/kg)
 0 10 20 30 (deg.C)



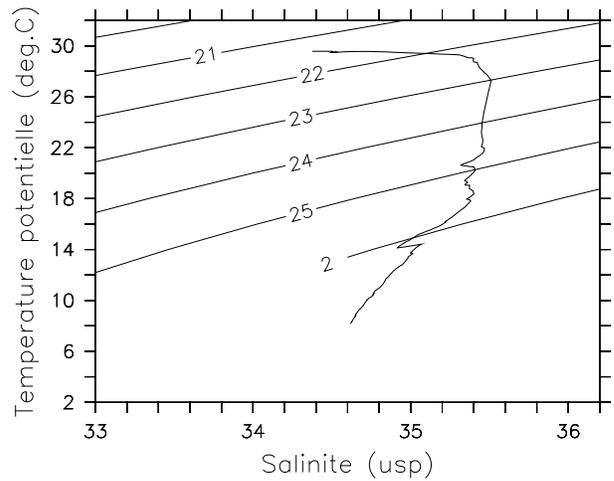
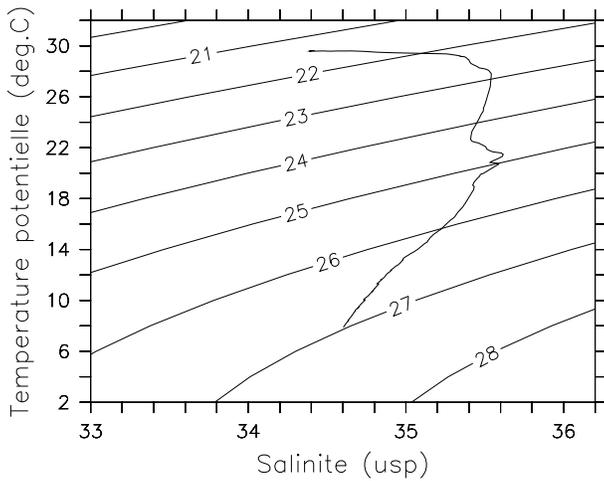
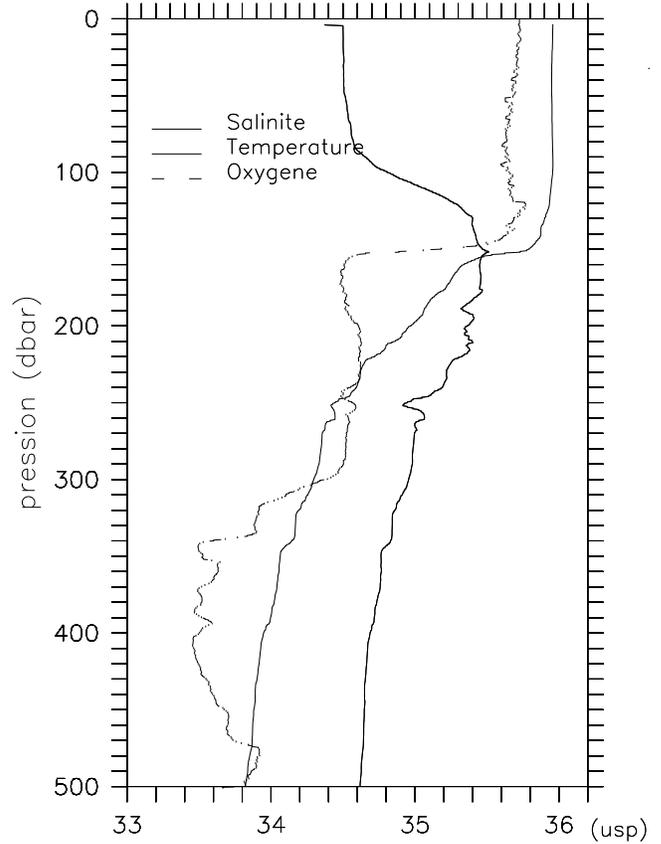
Frontalis2 Station 11

DATE: 09/04/2004 21:55:39 LATITUDE: 1 0.29 S LONGITUDE : 164 59.88 E
 60 100 140 180 220 (umol/kg)
 0 10 20 30 (deg.C)



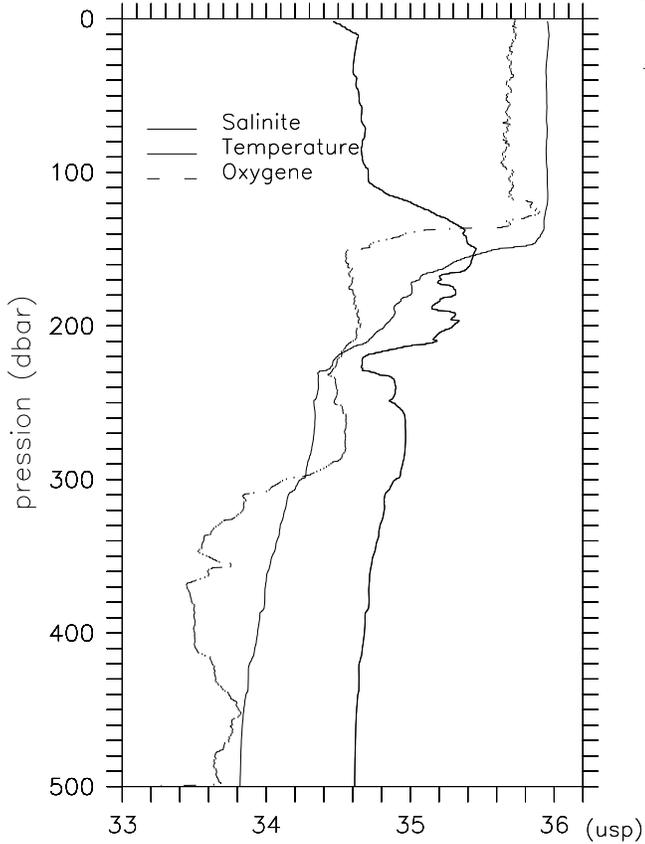
Frontalis2 Station 12

DATE: 10/04/2004 02:18:02 LATITUDE: 0 29.98 S LONGITUDE : 165 0.26 E
 60 100 140 180 220 (umol/kg)
 0 10 20 30 (deg.C)



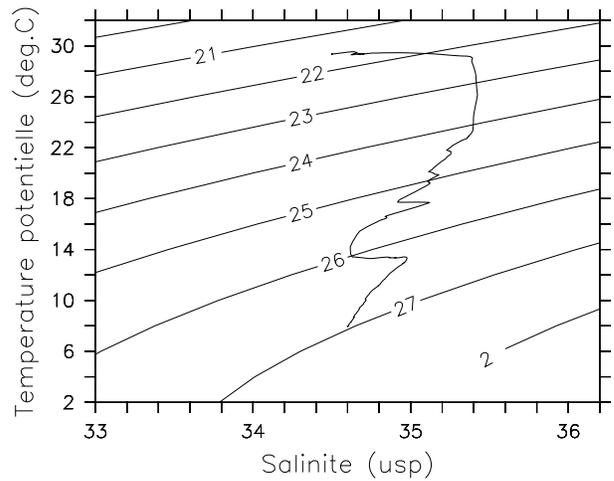
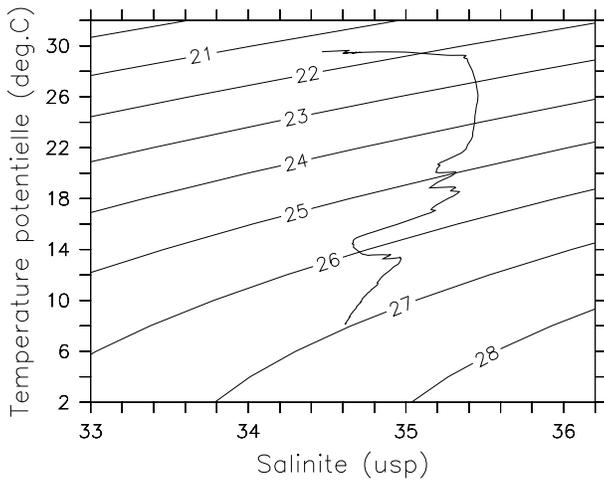
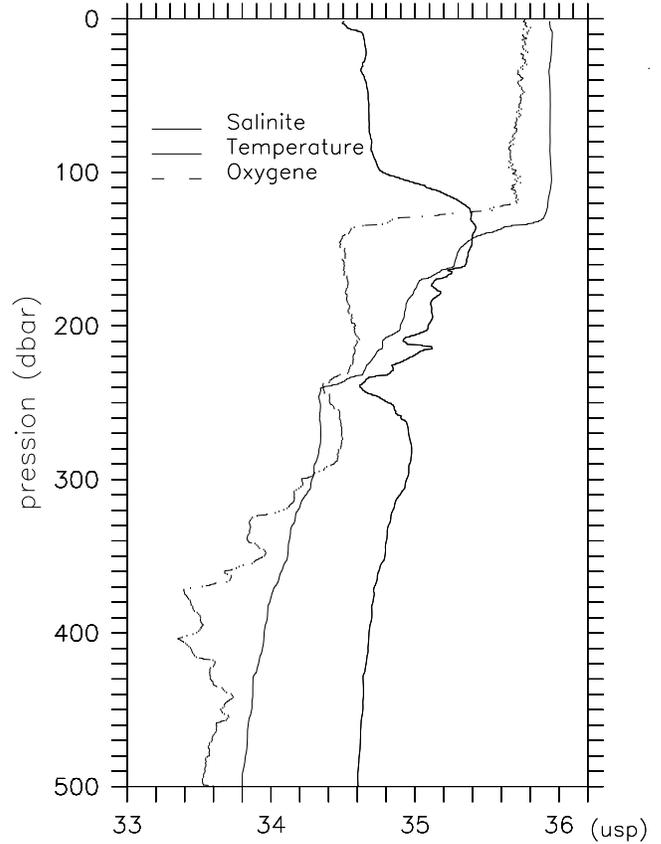
Frontalis2 Station 13

DATE: 10/04/2004 07:29:18 LATITUDE: 0 2.58 N LONGITUDE : 165 1.15 E
60 100 140 180 220 (umol/kg)
0 10 20 30 (deg.C)



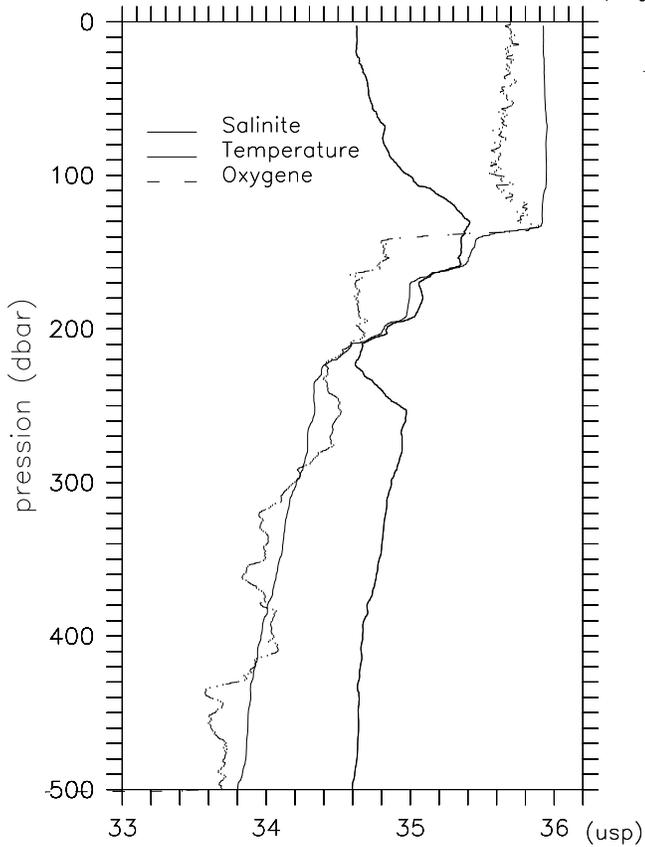
Frontalis2 Station 14

DATE: 10/04/2004 11:17:26 LATITUDE: 0 30.53 N LONGITUDE : 164 59.55 E
60 100 140 180 220 (umol/kg)
0 10 20 30 (deg.C)



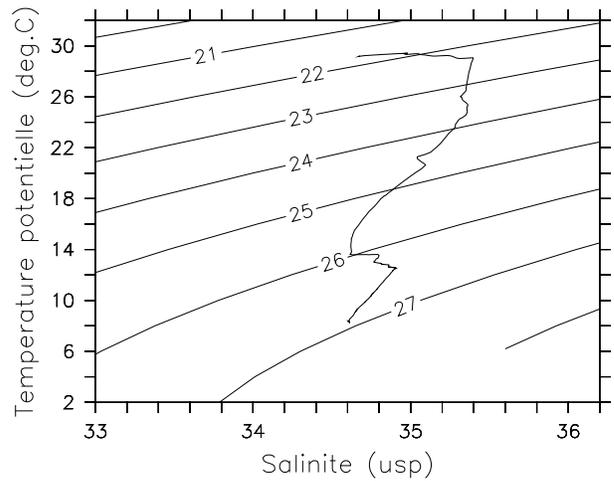
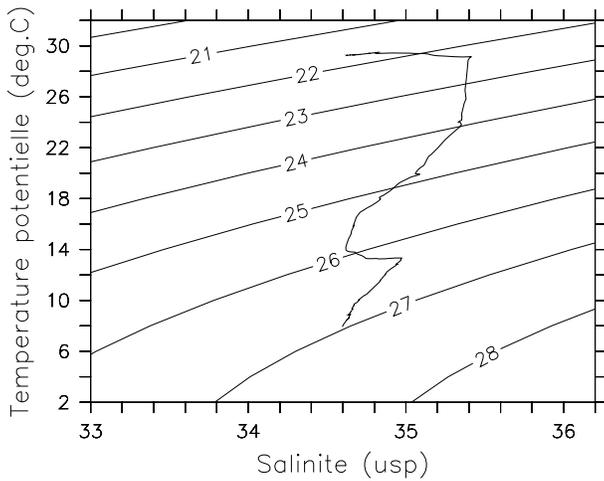
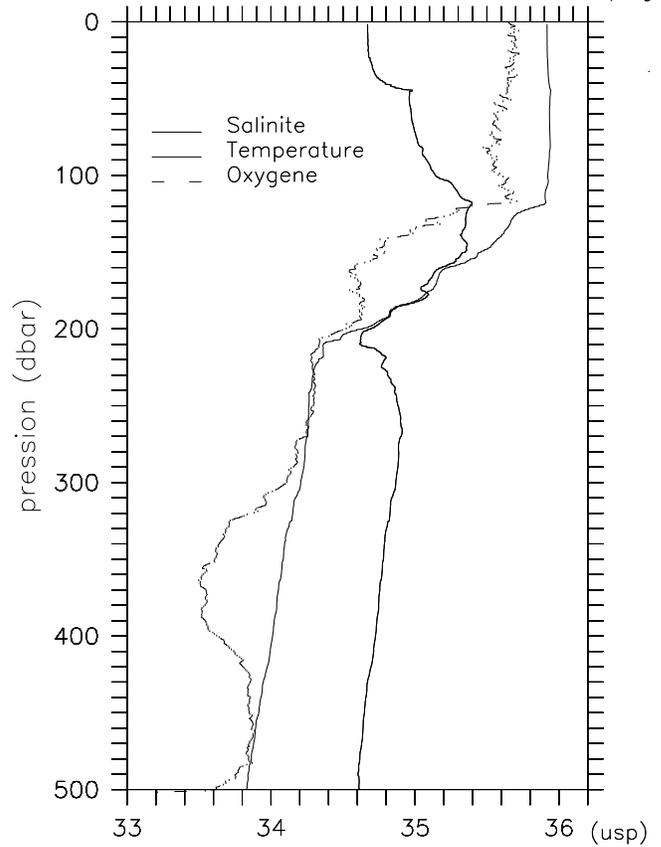
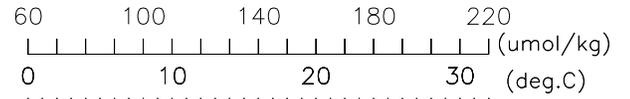
Frontalis2 Station 15

DATE: 10/04/2004 17:25:45 LATITUDE: 1 0.49 N LONGITUDE : 165 0.27 E



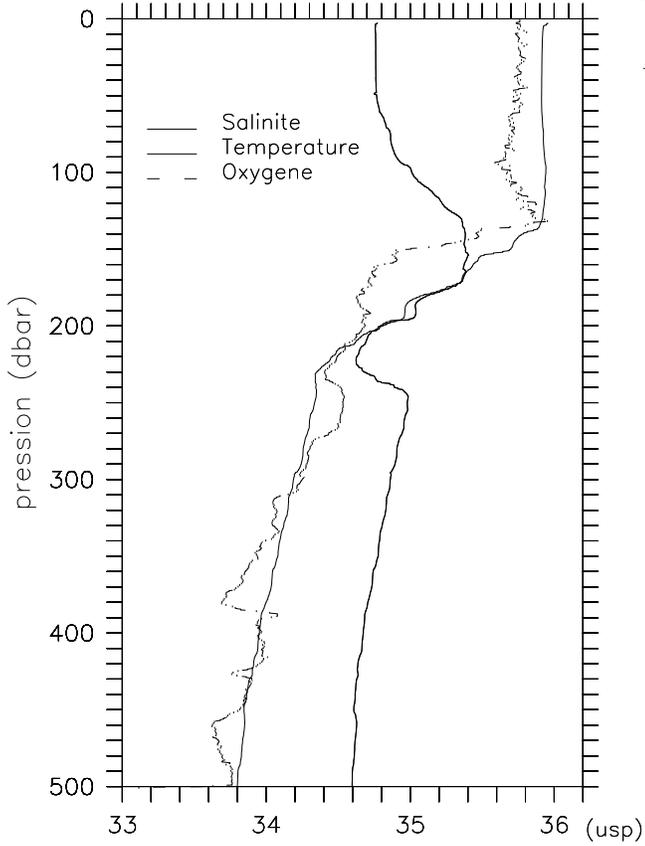
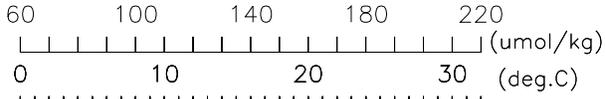
Frontalis2 Station 16

DATE: 10/04/2004 21:12:30 LATITUDE: 1 29.83 N LONGITUDE : 165 0.19 E



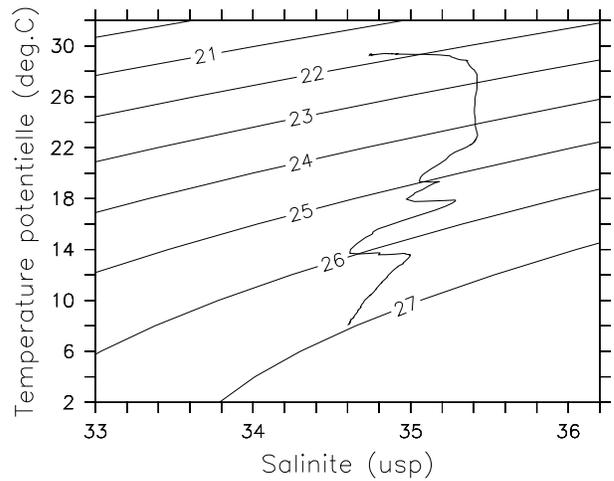
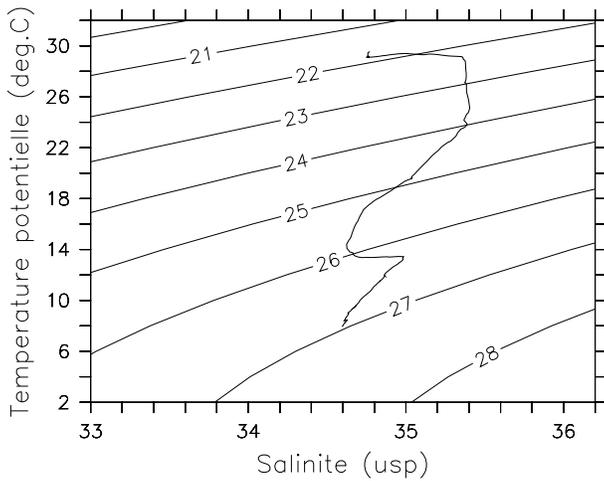
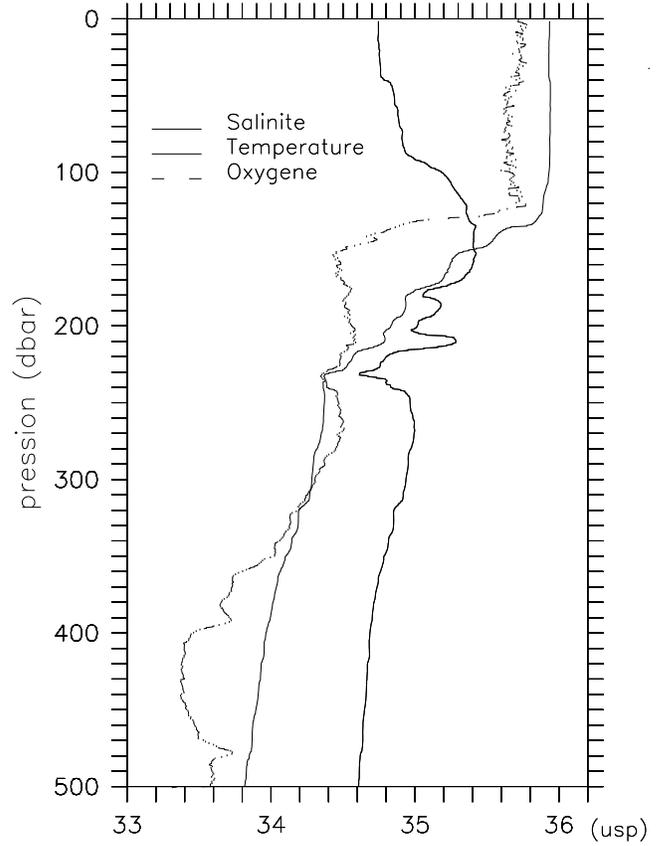
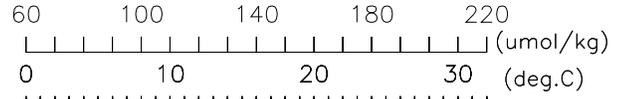
Frontalis2 Station 17

DATE: 11/04/2004 03:53:55 LATITUDE: 1 0.02 N LONGITUDE : 165 39.07 E



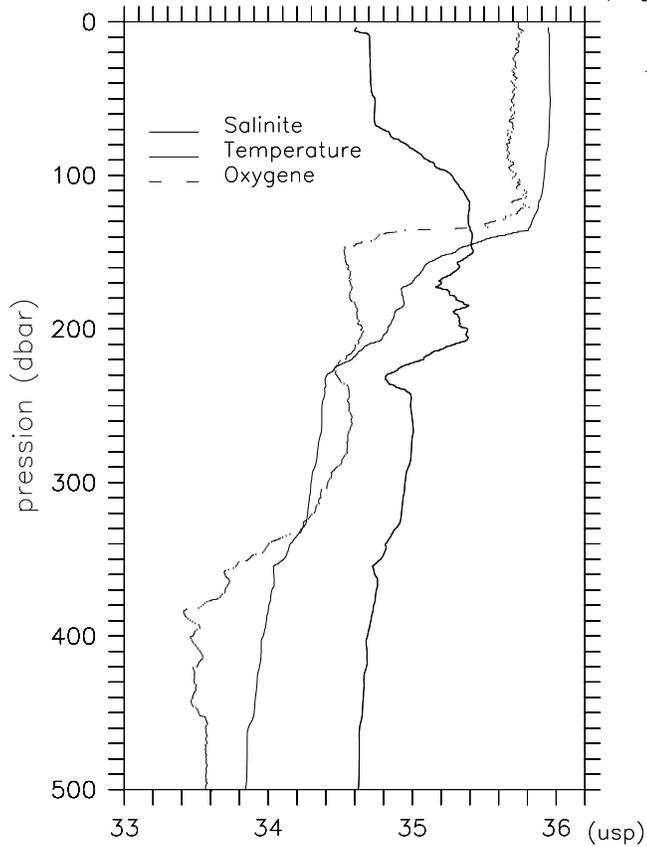
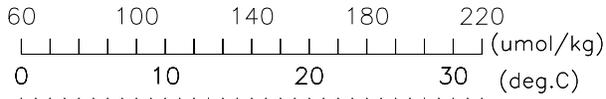
Frontalis2 Station 18

DATE: 11/04/2004 10:31:23 LATITUDE: 0 30.44 N LONGITUDE : 166 18.50 E



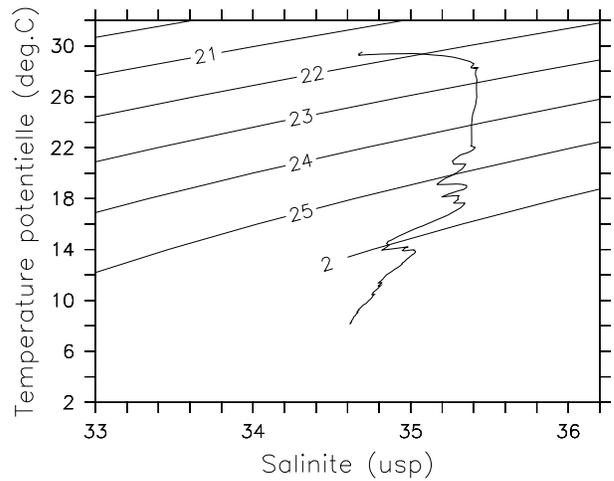
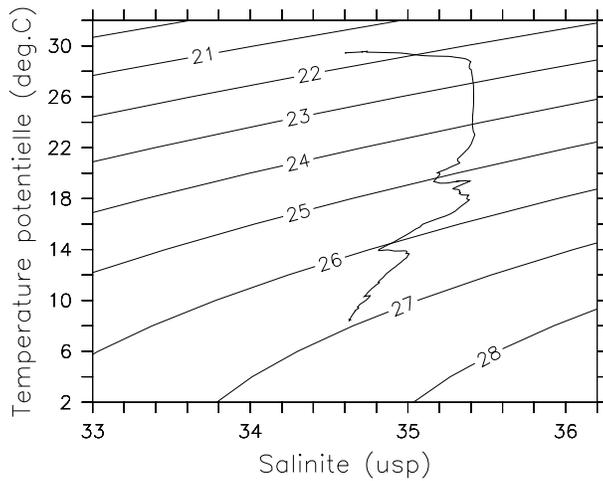
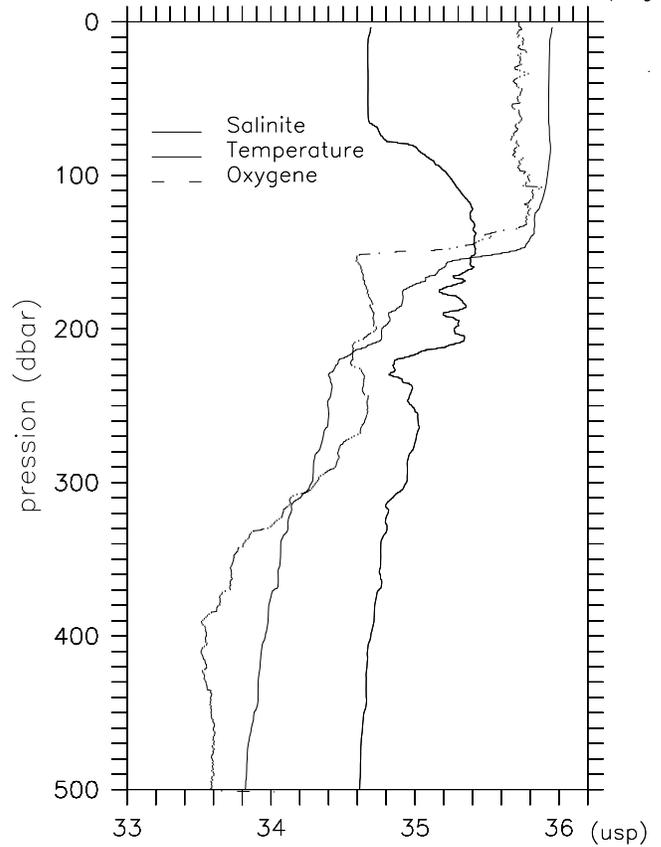
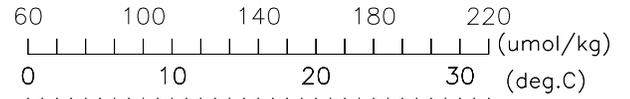
Frontalis2 Station 19

DATE: 11/04/2004 17:31:57 LATITUDE: 0 0.04 S LONGITUDE : 167 0.35 E



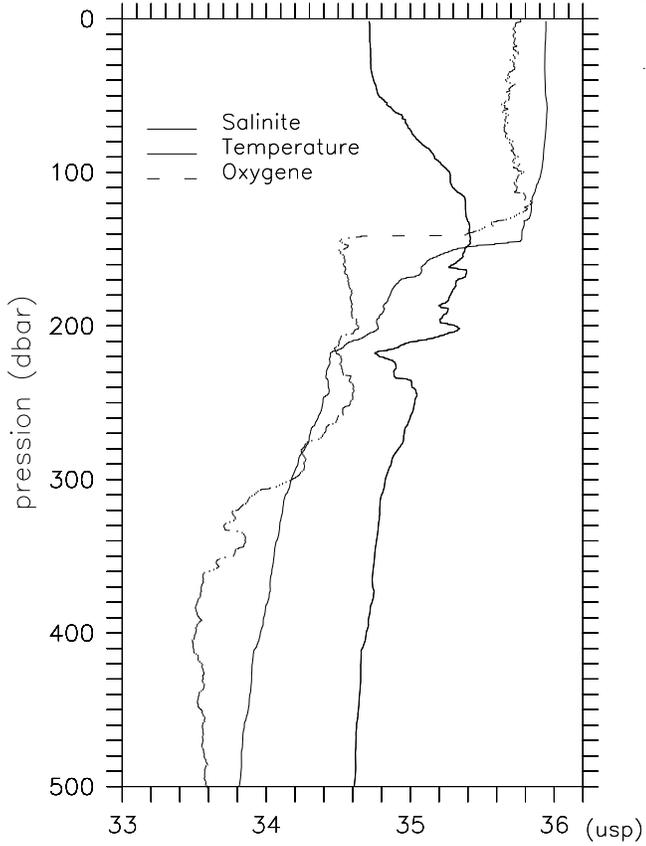
Frontalis2 Station 20

DATE: 12/04/2004 01:15:29 LATITUDE: 0 0.13 N LONGITUDE : 168 2.60 E



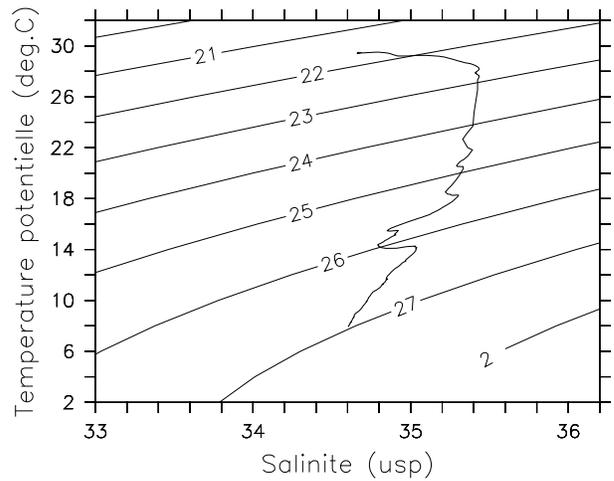
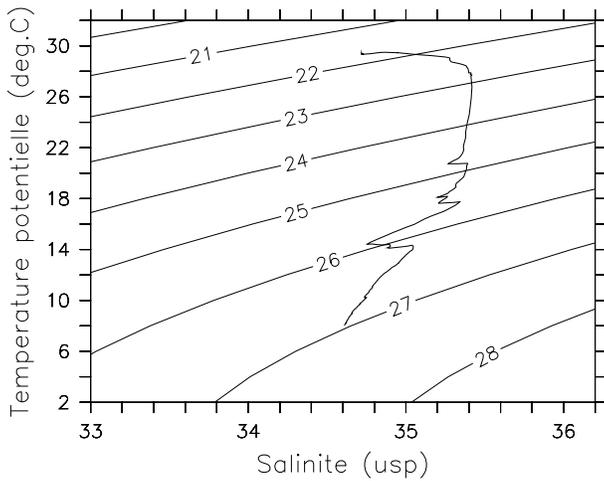
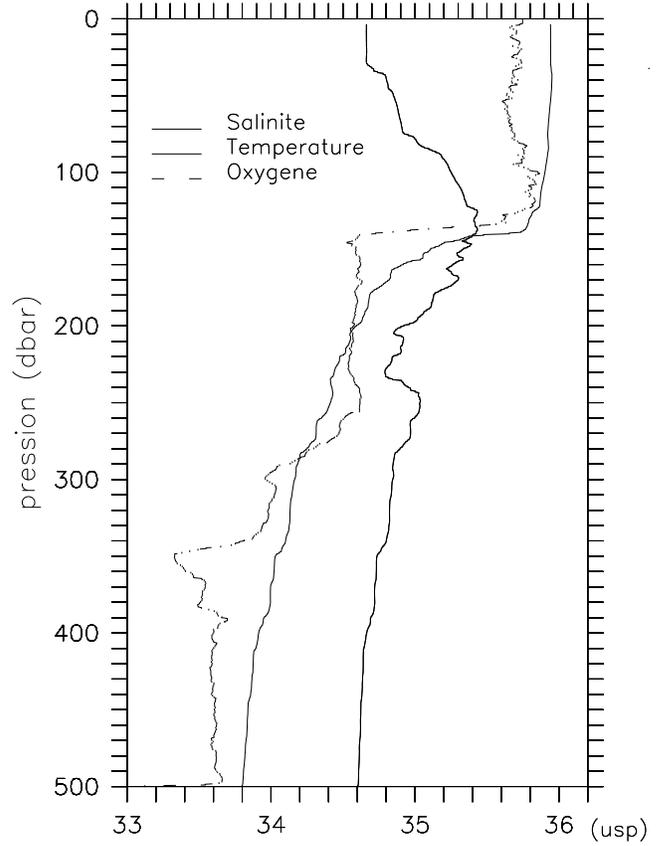
Frontalis2 Station 21

DATE: 12/04/2004 08:28:06 LATITUDE: 0 0.36 N LONGITUDE : 169 5.81 E
 60 100 140 180 220 (umol/kg)
 0 10 20 30 (deg.C)



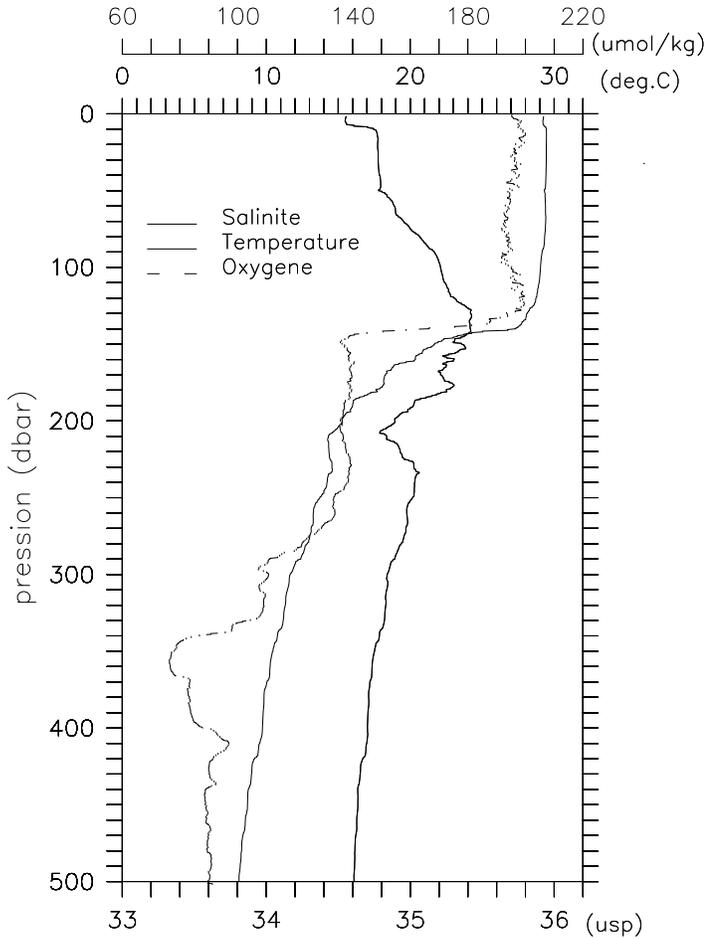
Frontalis2 Station 22

DATE: 12/04/2004 17:17:10 LATITUDE: 0 0.54 N LONGITUDE : 170 19.62 E
 60 100 140 180 220 (umol/kg)
 0 10 20 30 (deg.C)



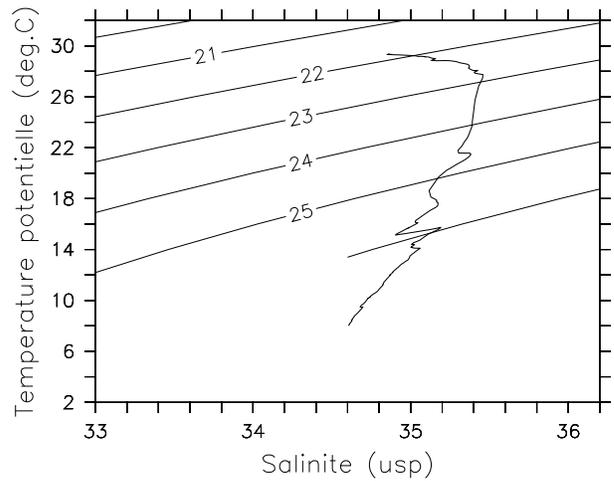
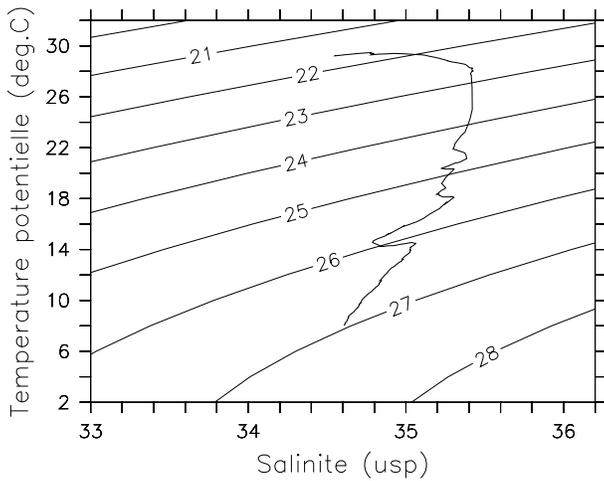
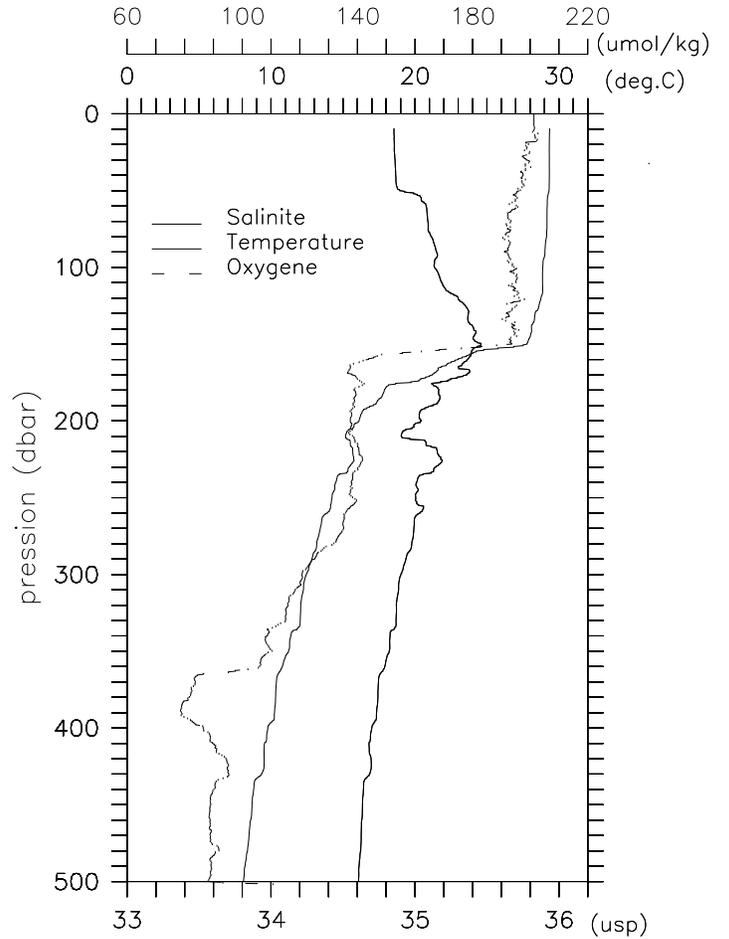
Frontalis2 Station 23

DATE: 12/04/2004 22:17:32 LATITUDE: 0 0.20 S LONGITUDE : 170 59.89 E



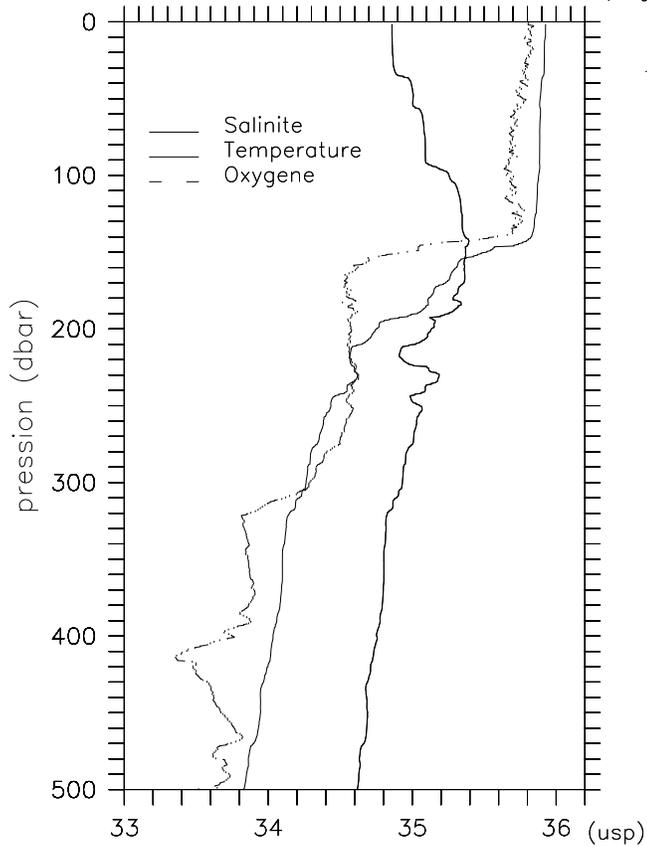
Frontalis2 Station 24

DATE: 13/04/2004 05:25:37 LATITUDE: 0 0.03 N LONGITUDE : 172 0.37 E



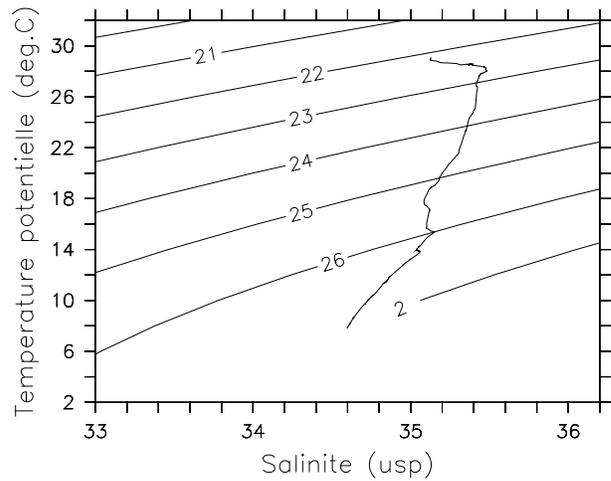
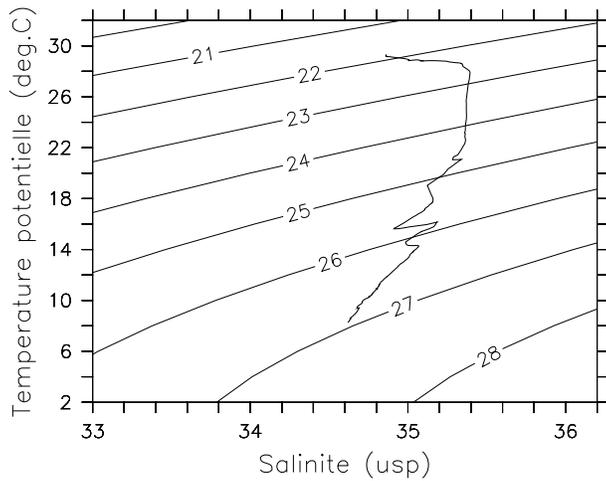
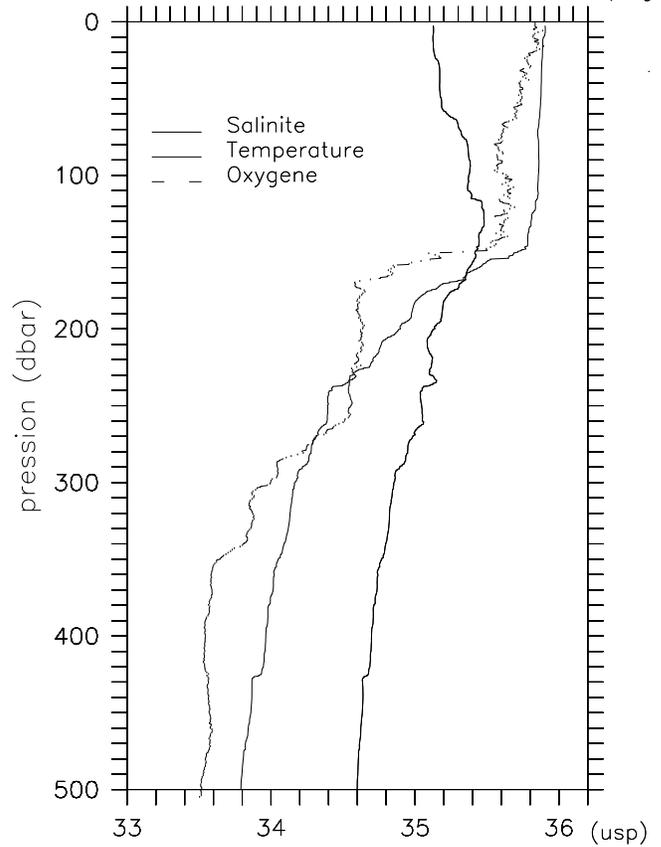
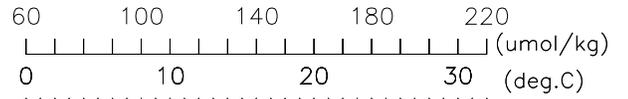
Frontalis2 Station 25

DATE: 13/04/2004 12:30:37 LATITUDE: 0 0.02 N LONGITUDE : 172 59.38 E



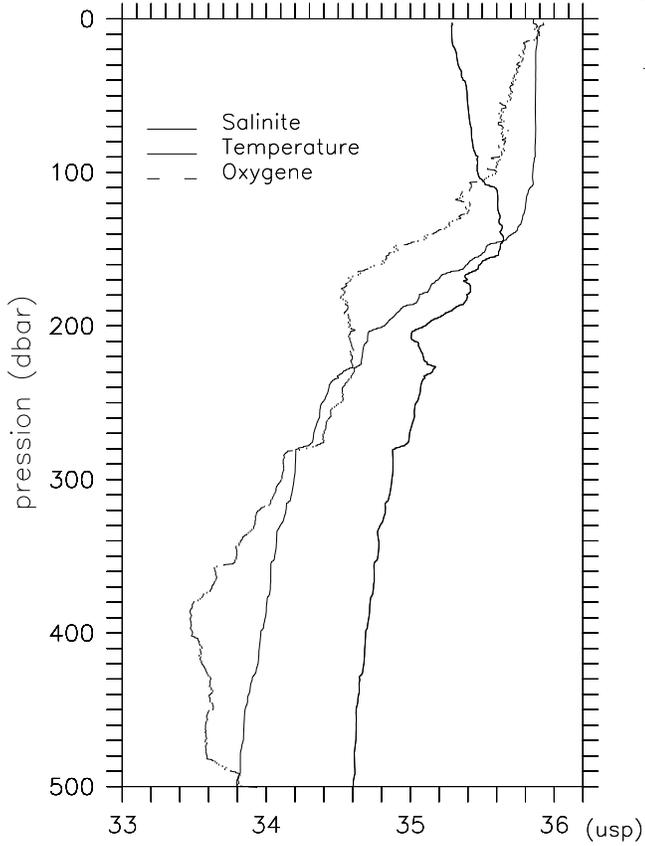
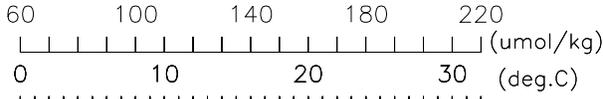
Frontalis2 Station 26

DATE: 13/04/2004 20:06:41 LATITUDE: 0 0.10 S LONGITUDE : 174 0.08 E



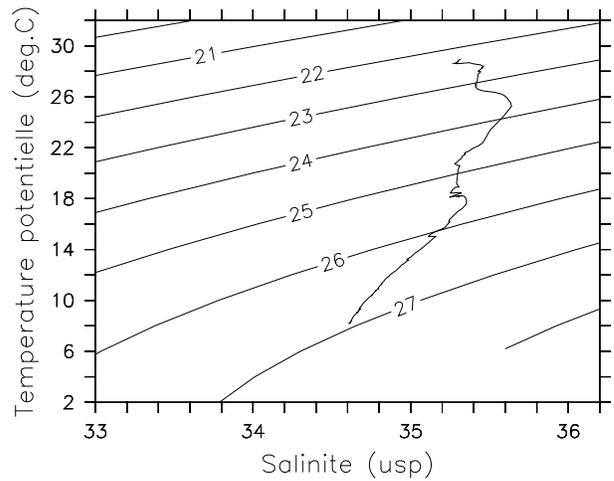
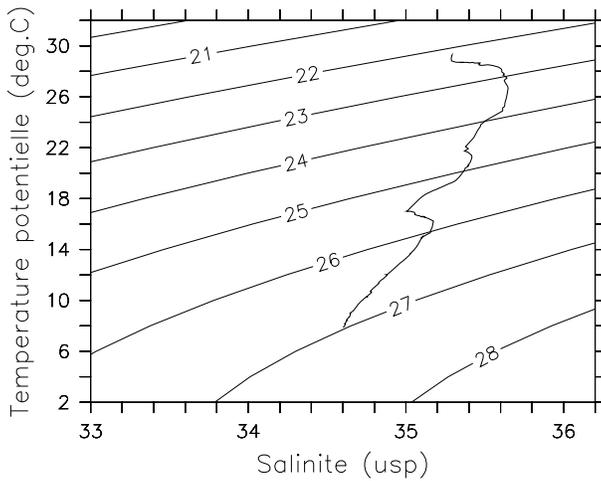
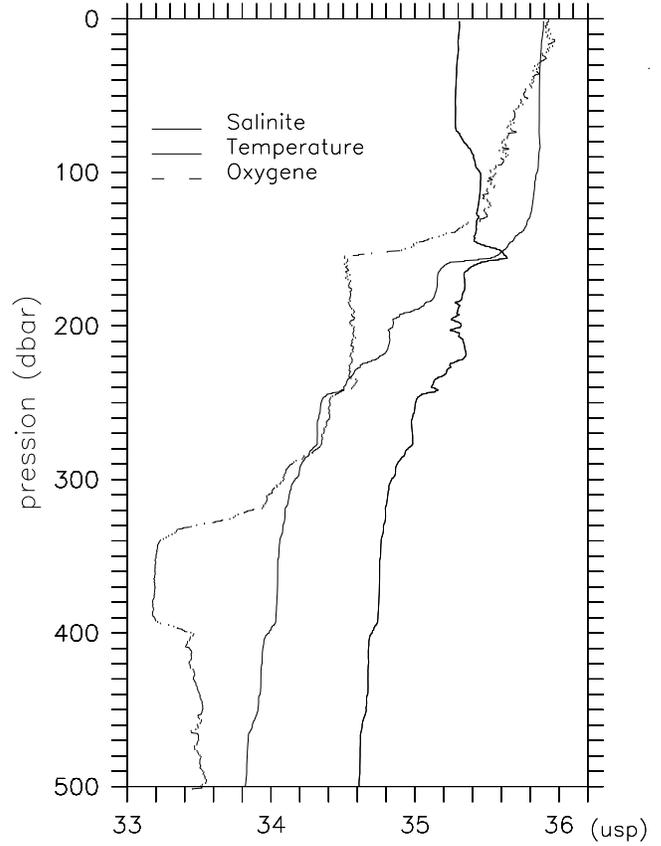
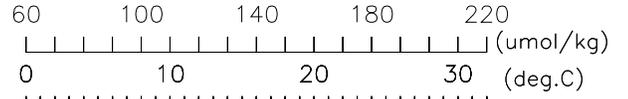
Frontalis2 Station 27

DATE: 14/04/2004 03:57:18 LATITUDE: 0 0.25 S LONGITUDE : 175 0.46 E



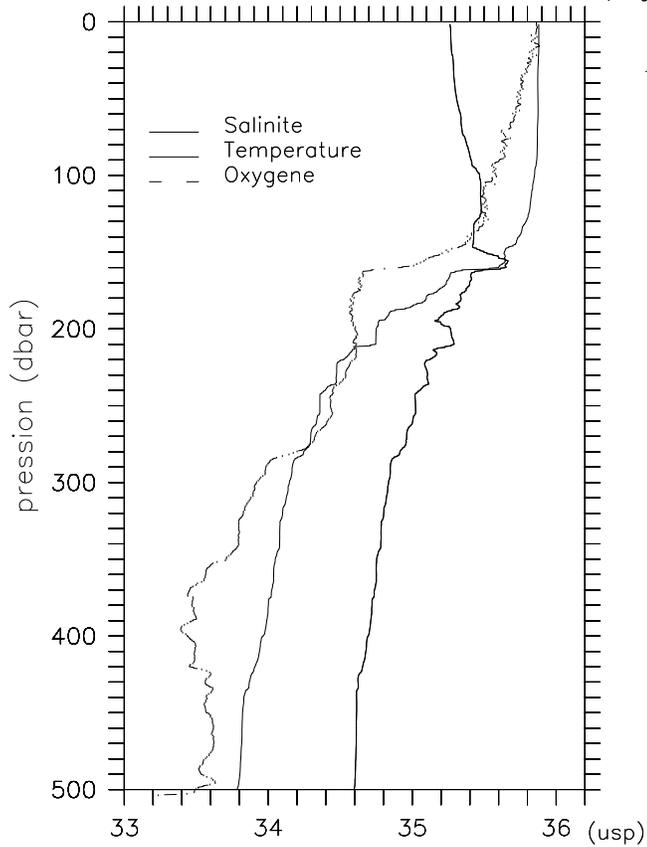
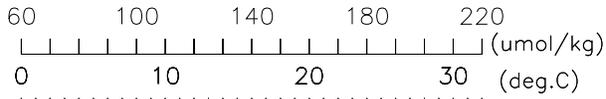
Frontalis2 Station 28

DATE: 14/04/2004 11:52:06 LATITUDE: 0 0.39 S LONGITUDE : 176 0.27 E



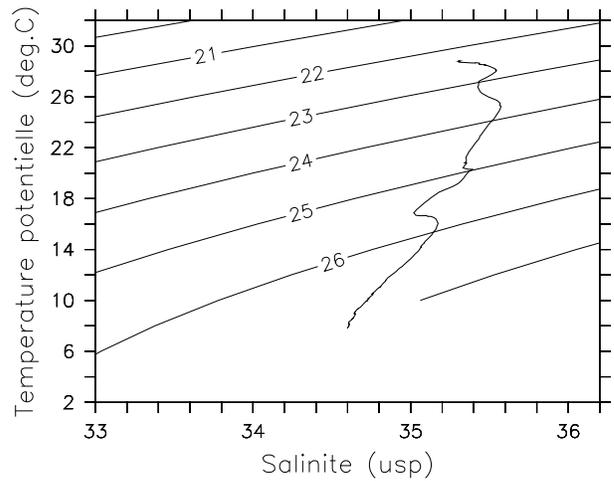
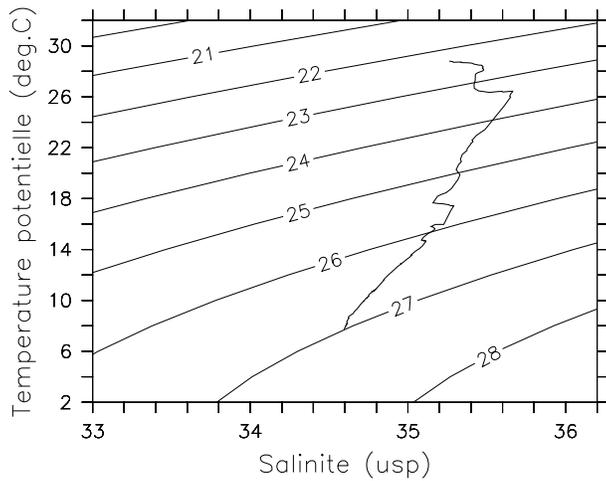
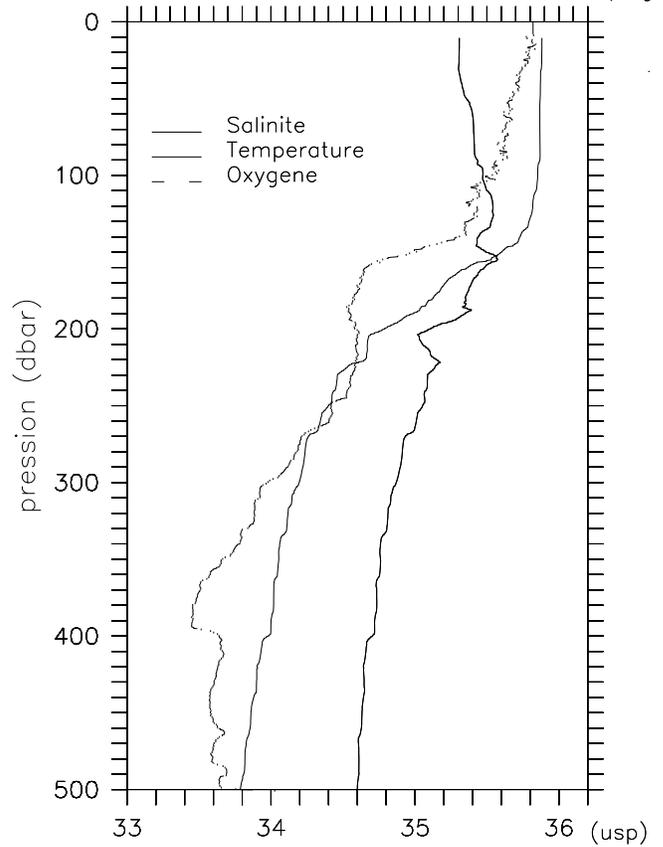
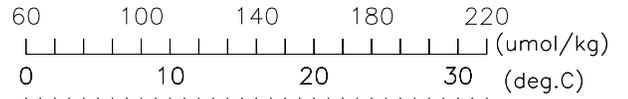
Frontalis2 Station 29

DATE: 14/04/2004 17:07:51 LATITUDE: 0 0.21 S LONGITUDE : 175 40.23 E



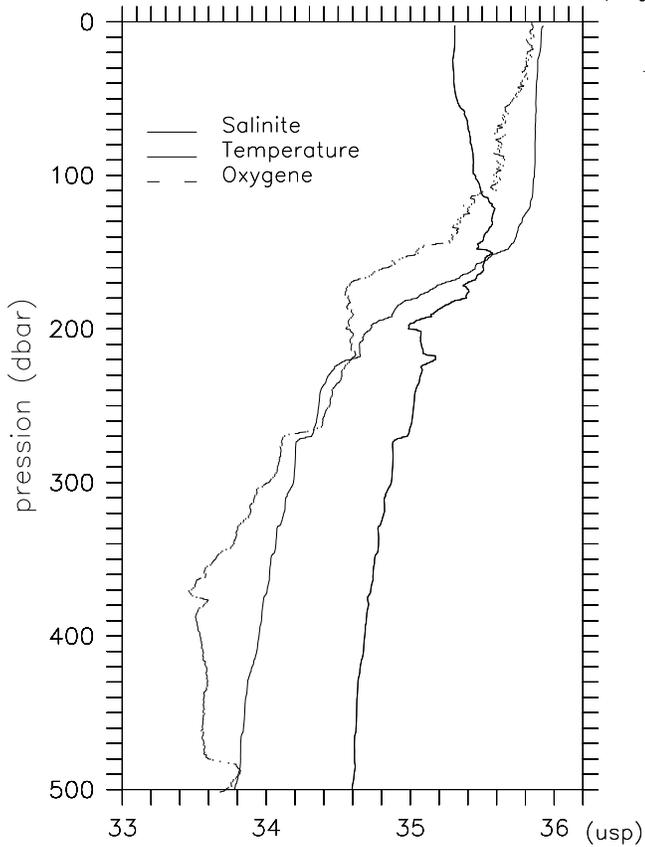
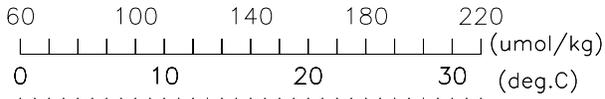
Frontalis2 Station 30

DATE: 14/04/2004 20:39:11 LATITUDE: 0 0.29 S LONGITUDE : 175 20.24 E



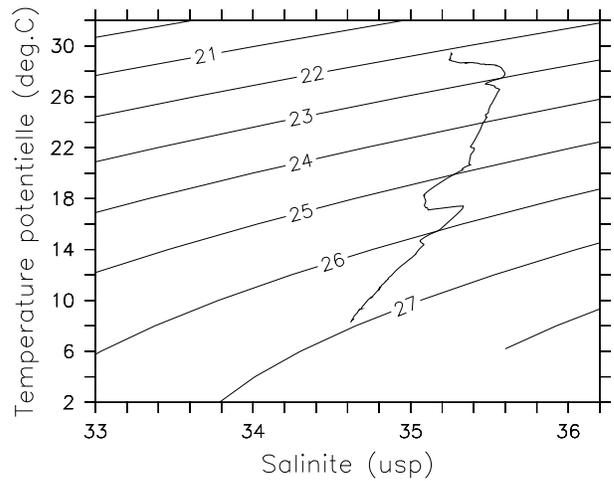
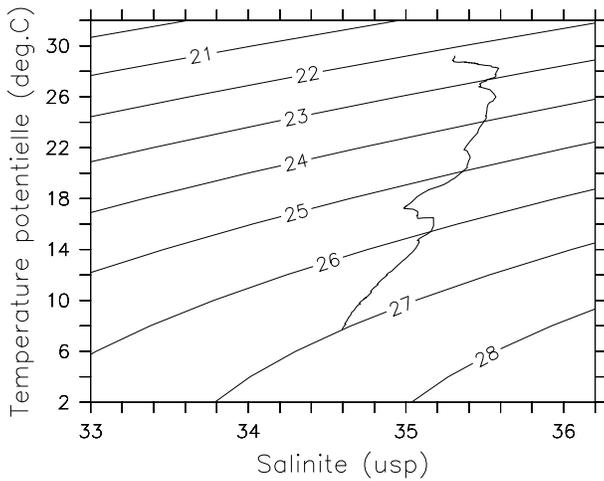
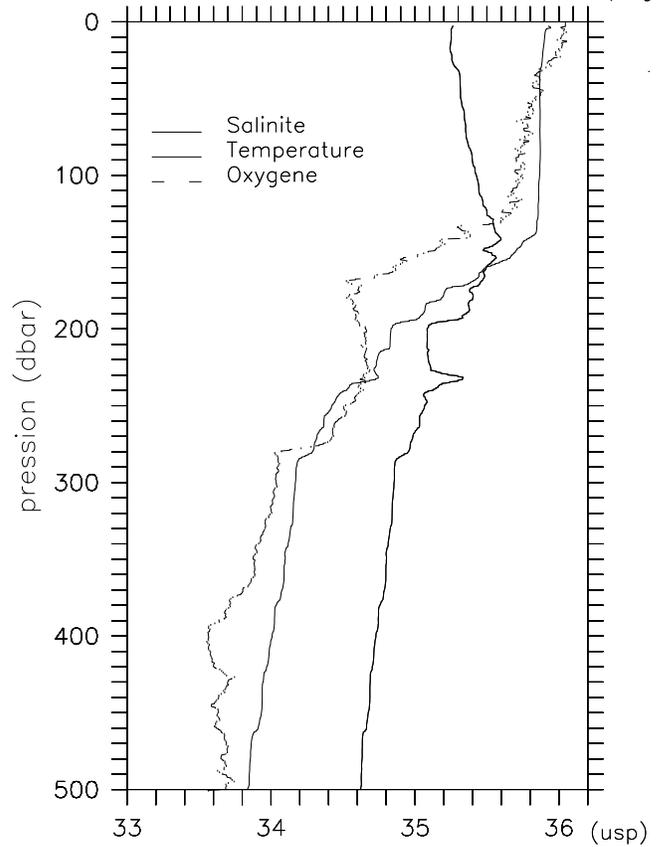
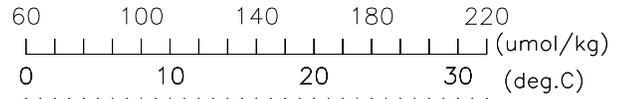
Frontalis2 Station 31

DATE: 14/04/2004 23:29:09 LATITUDE: 0 0.12 N LONGITUDE : 174 59.68 E



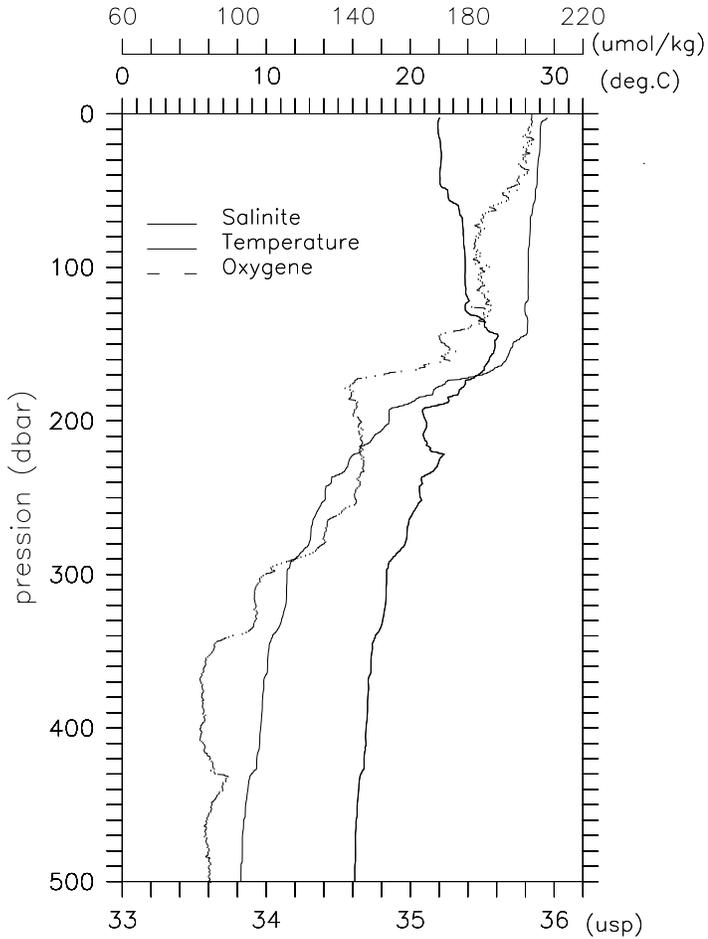
Frontalis2 Station 32

DATE: 15/04/2004 02:35:59 LATITUDE: 0 0.17 N LONGITUDE : 174 40.24 E



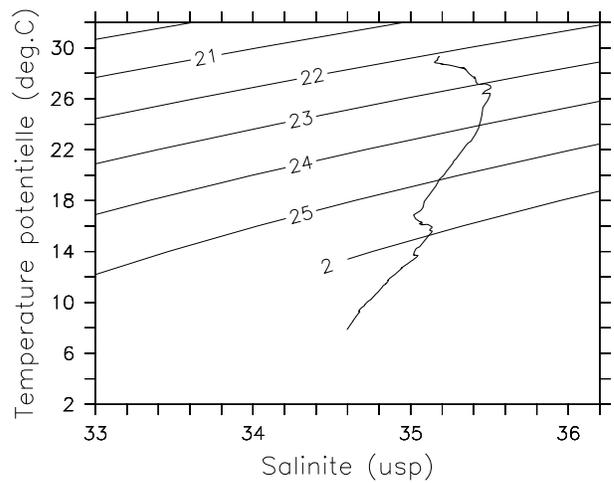
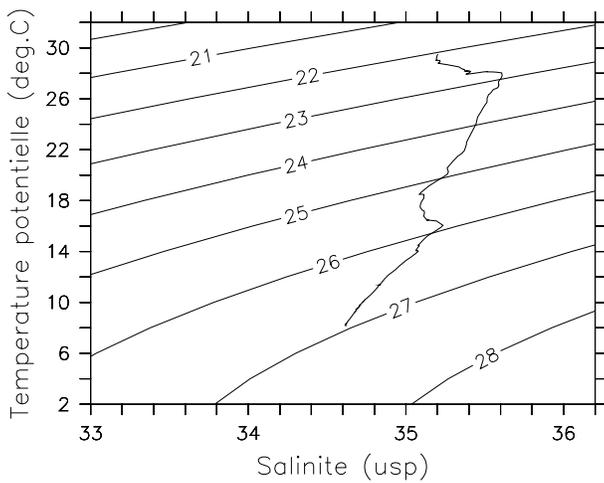
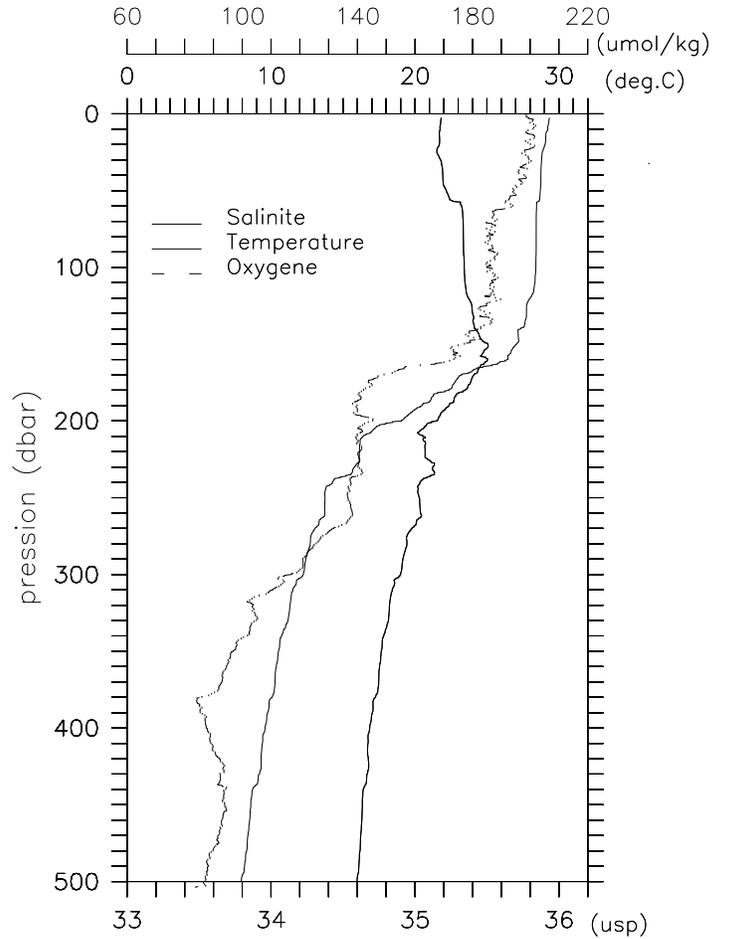
Frontalis2 Station 33

DATE: 15/04/2004 05:48:33 LATITUDE: 0 0.21 S LONGITUDE : 174 19.83 ED



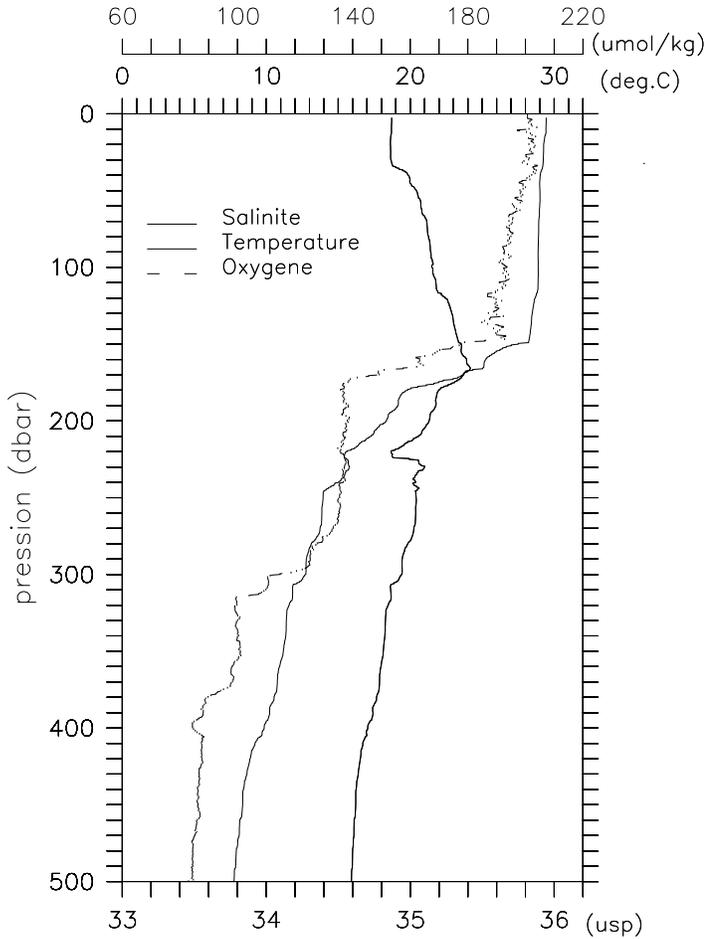
Frontalis2 Station 34

DATE: 15/04/2004 08:36:57 LATITUDE: 0 0.11 S LONGITUDE : 173 59.76 E



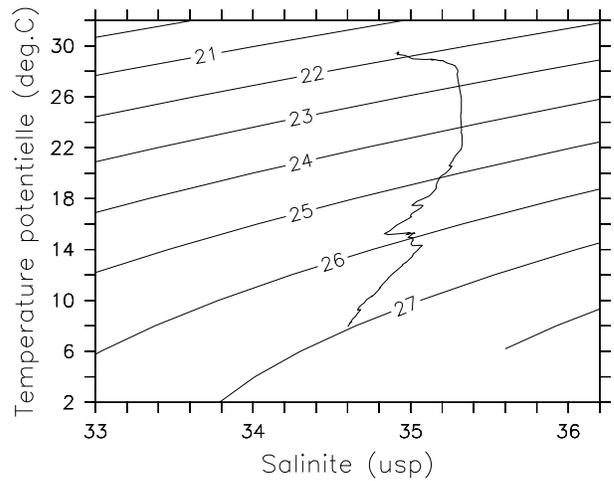
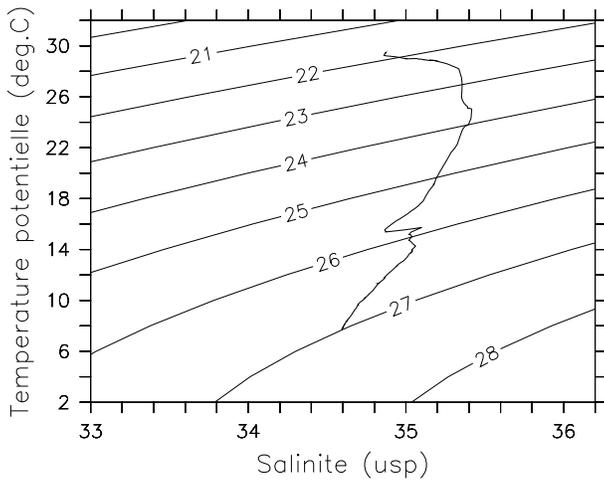
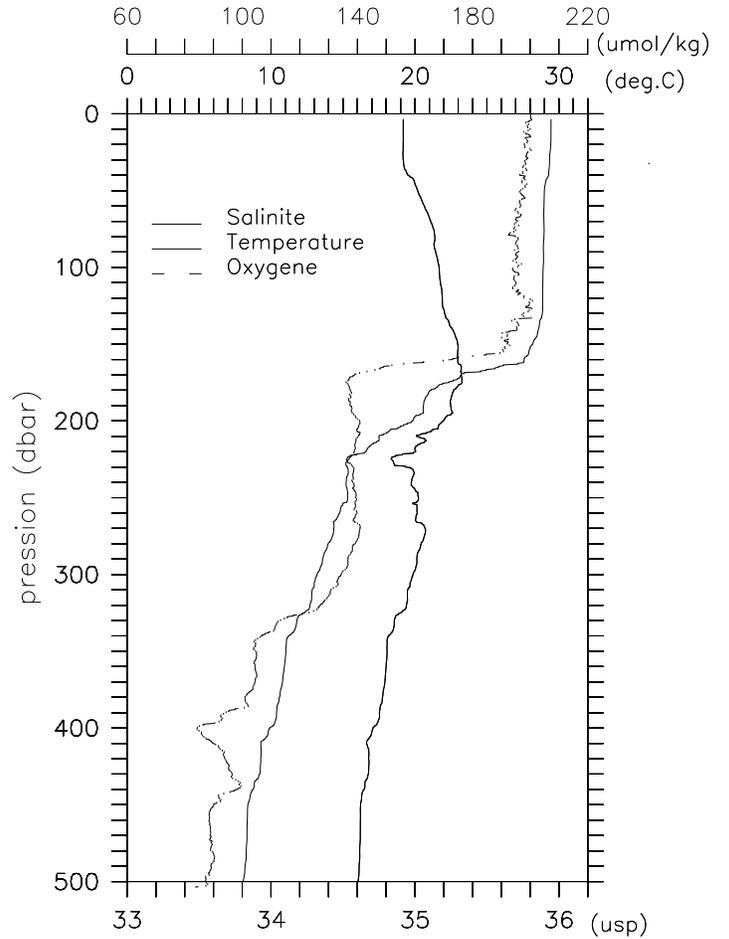
Frontalis2 Station 35

DATE: 15/04/2004 11:21:02 LATITUDE: 0 0.06 N LONGITUDE : 173 39.76 E



Frontalis2 Station 36

DATE: 15/04/2004 14:45:55 LATITUDE: 0 0.12 N LONGITUDE : 173 20.04 E

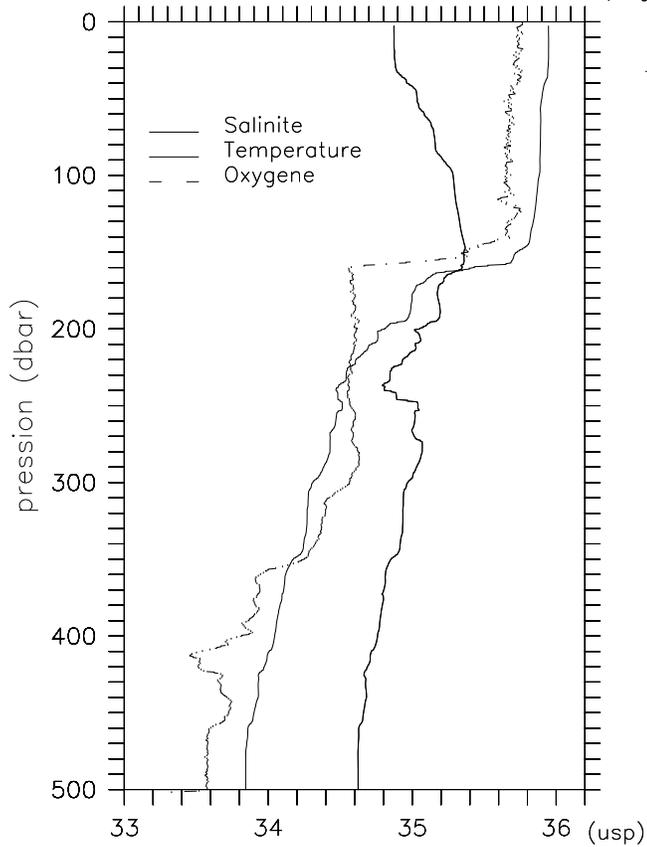


Frontalis2 Station 37

DATE: 15/04/2004 17:41:24 LATITUDE: 0 0.08 N LONGITUDE : 173 0.31 E

60 100 140 180 220 (umol/kg)

0 10 20 30 (deg.C)

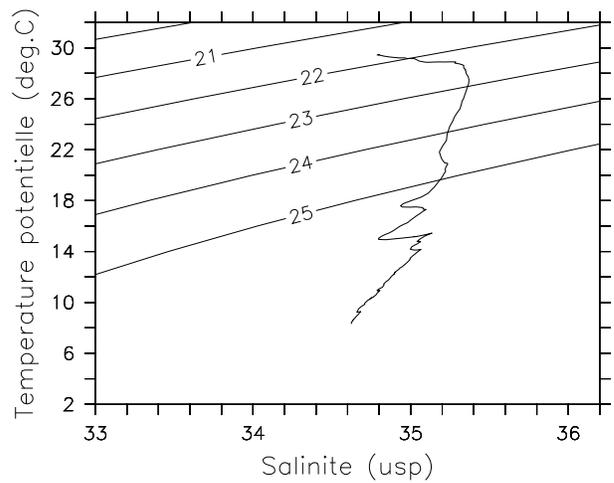
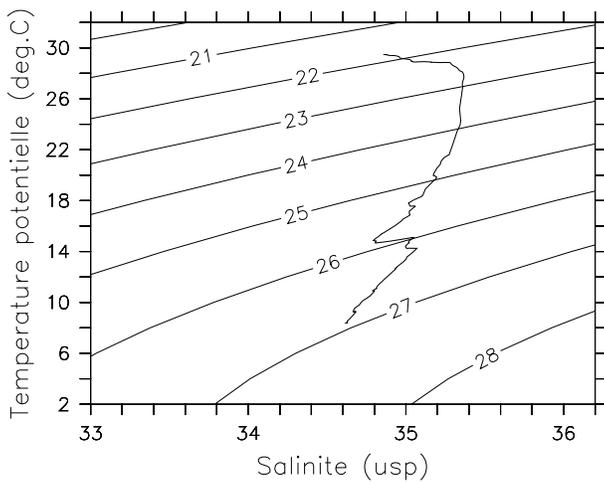
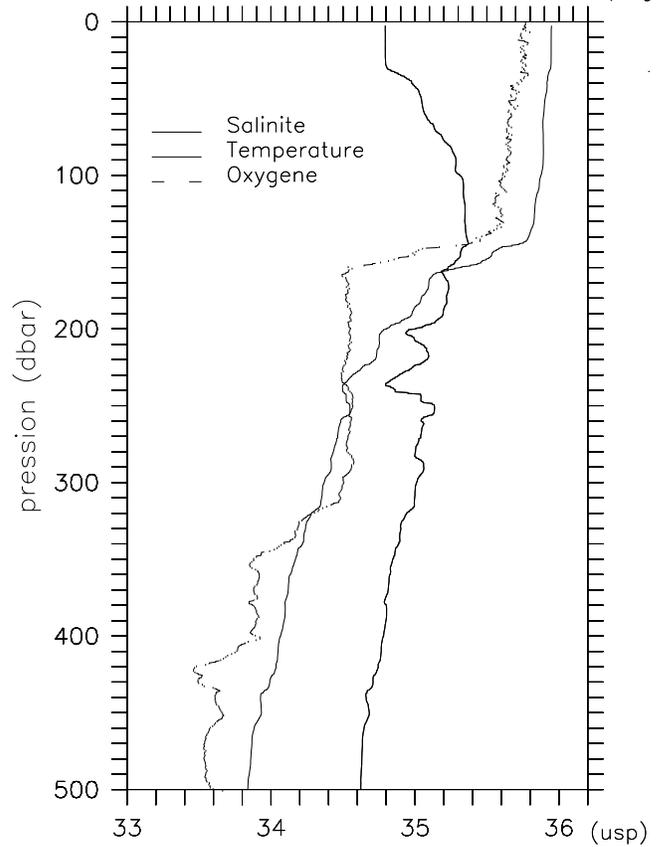


Frontalis2 Station 38

DATE: 15/04/2004 21:04:49 LATITUDE: 0 0.06 N LONGITUDE : 172 40.34 E

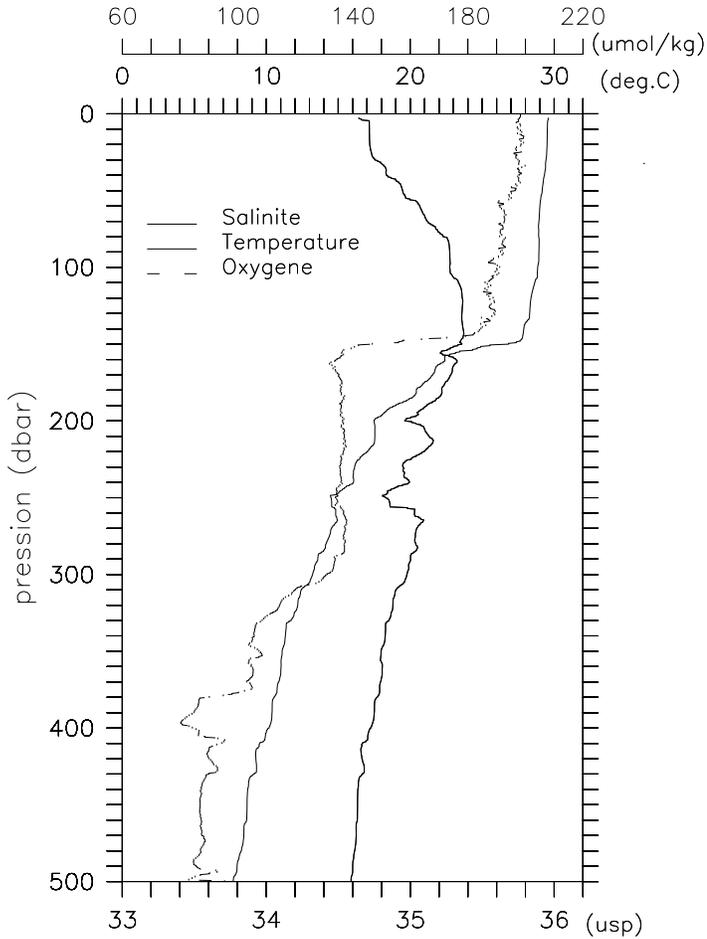
60 100 140 180 220 (umol/kg)

0 10 20 30 (deg.C)



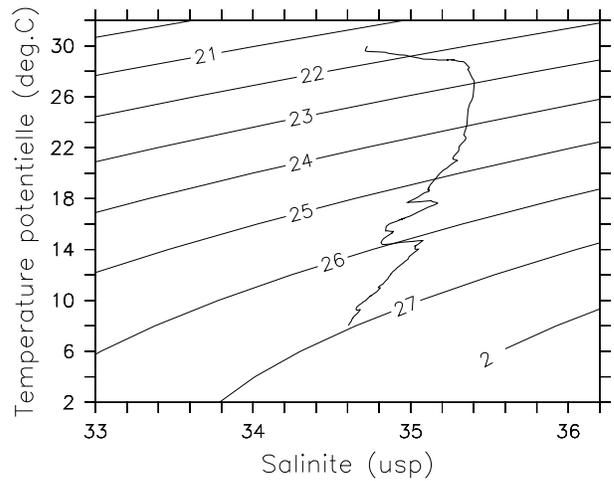
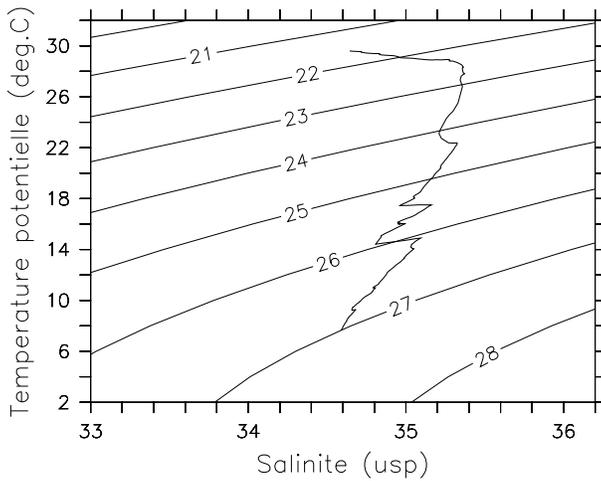
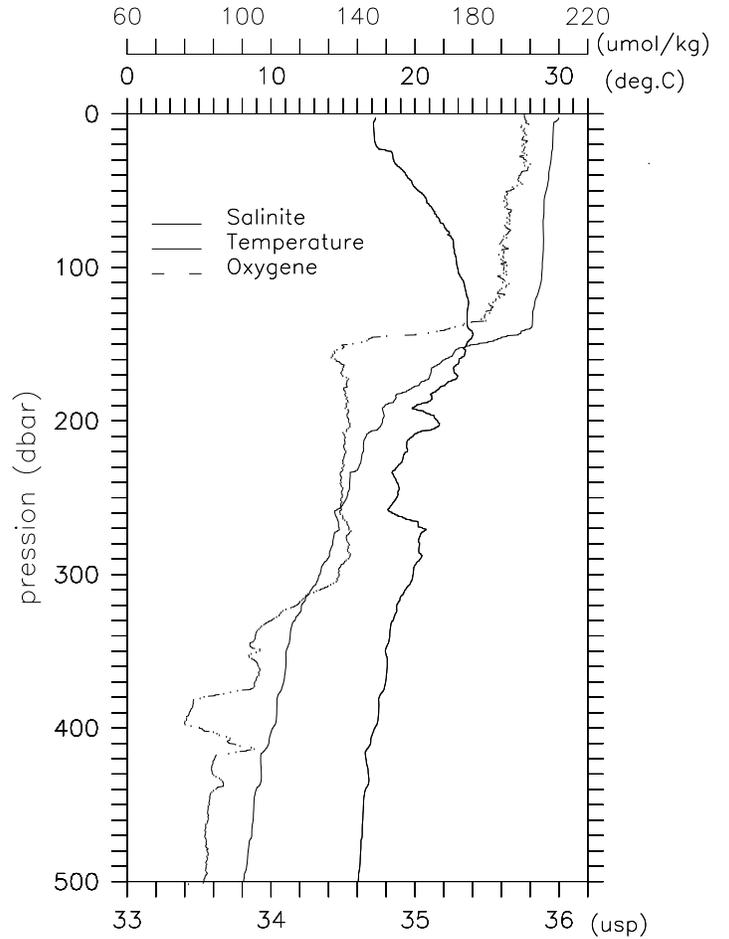
Frontalis2 Station 39

DATE: 16/04/2004 00:21:51 LATITUDE: 0 0.00 N LONGITUDE : 172 19.84 E



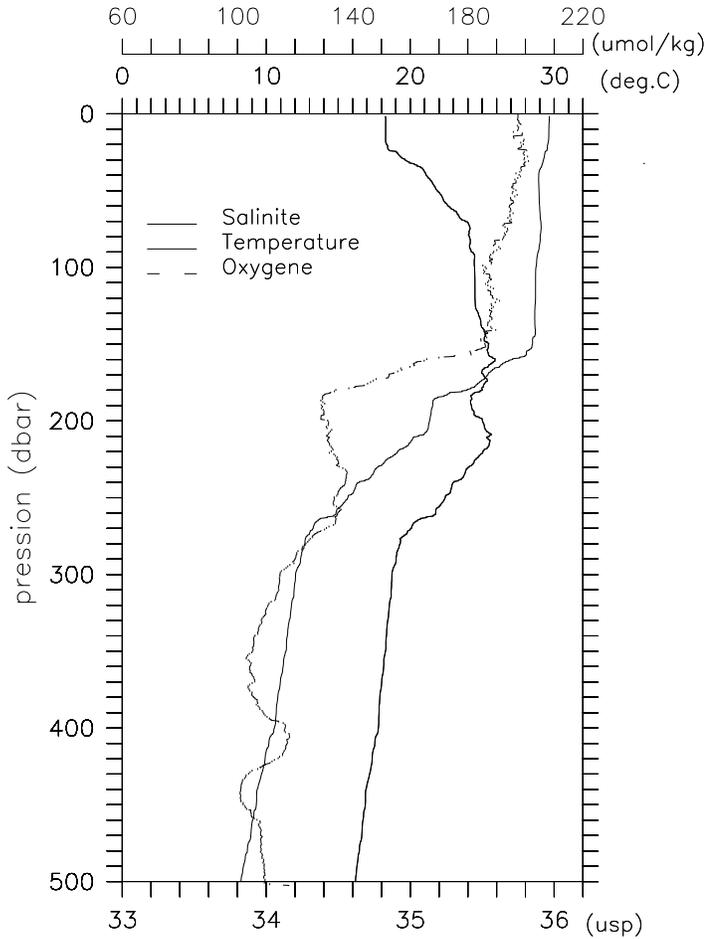
Frontalis2 Station 40

DATE: 16/04/2004 04:05:31 LATITUDE: 0 0.12 N LONGITUDE : 172 0.96 E



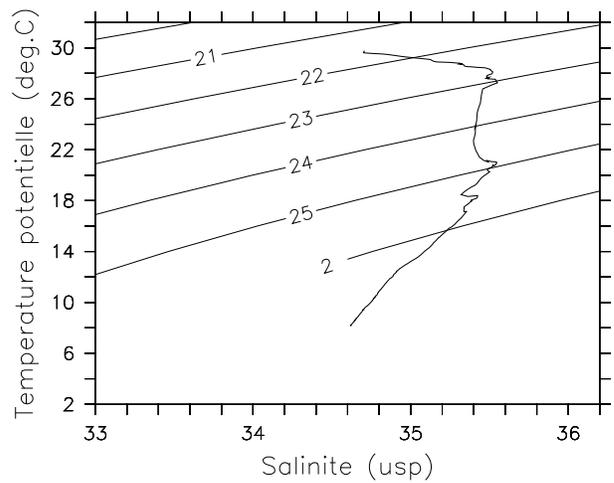
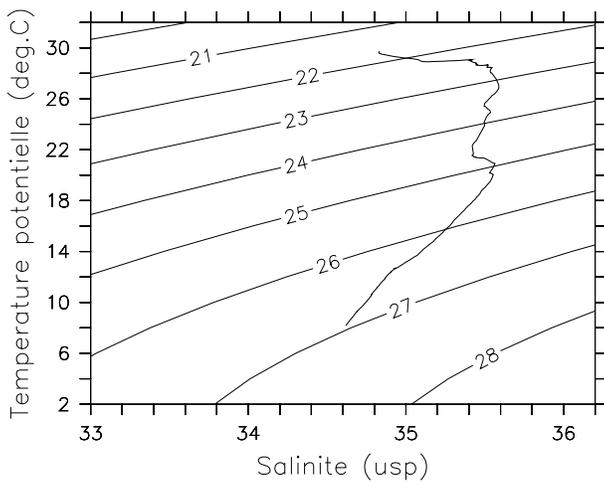
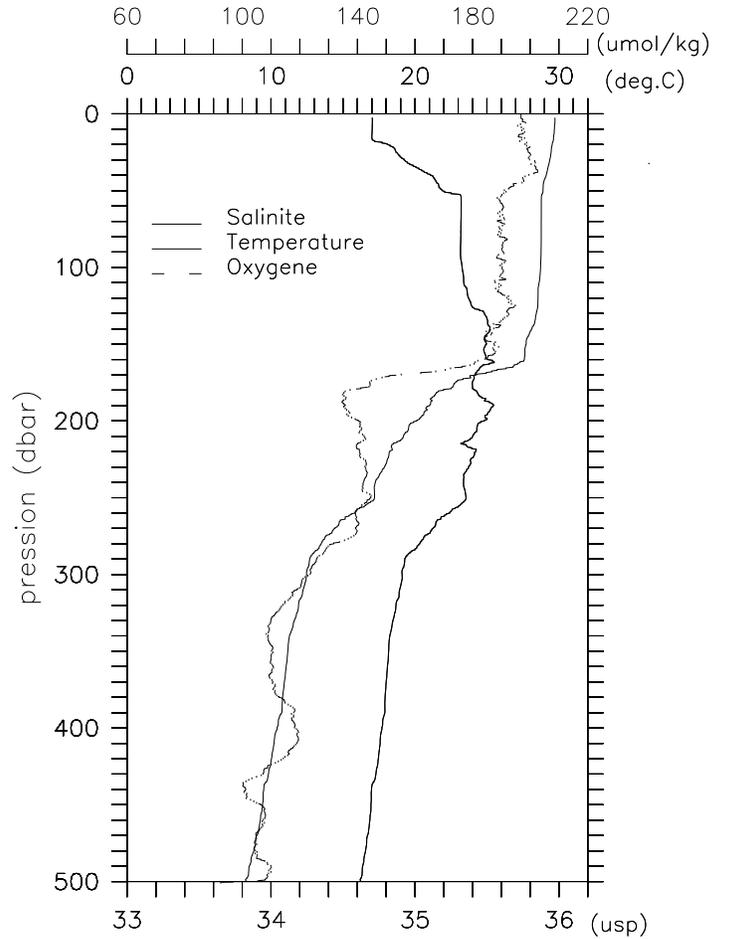
Frontalis2 Station 41

DATE: 16/04/2004 21:45:33 LATITUDE: 1 59.97 S LONGITUDE : 174 0.43 E



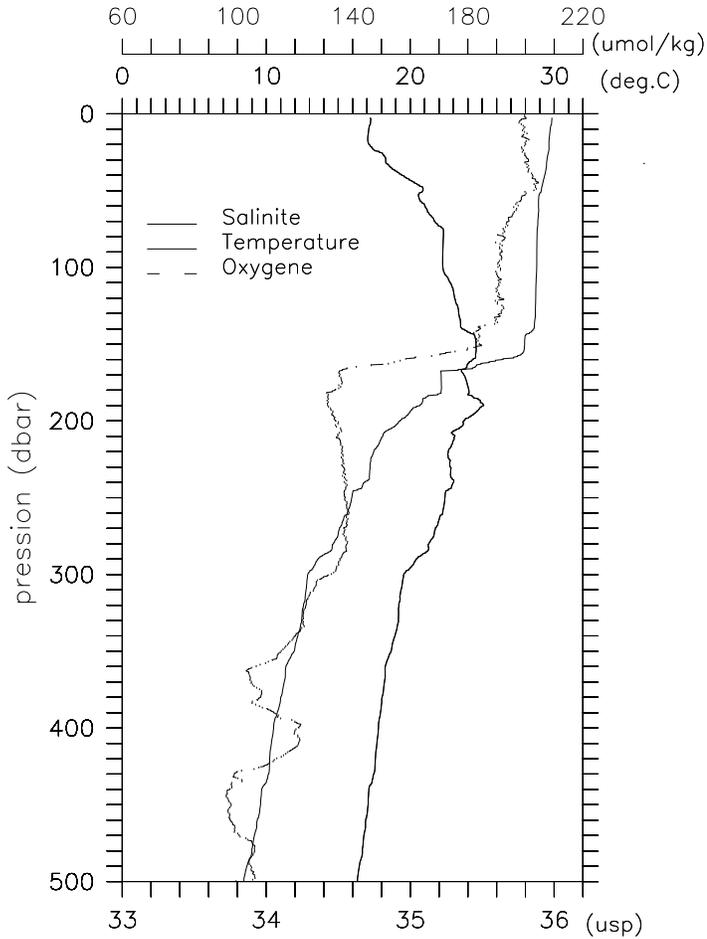
Frontalis2 Station 42

DATE: 17/04/2004 00:53:37 LATITUDE: 1 39.85 S LONGITUDE : 174 0.13 E



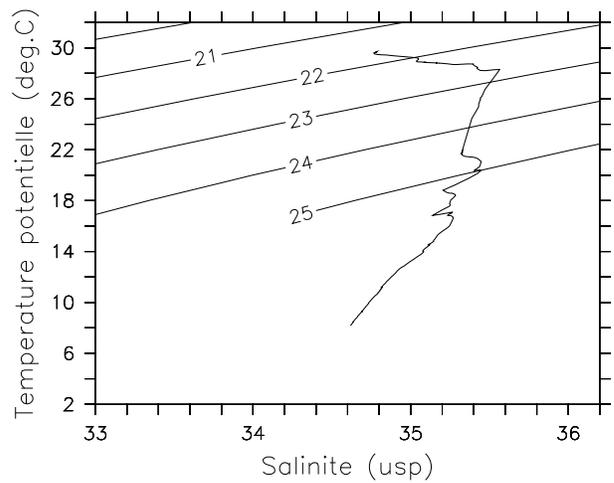
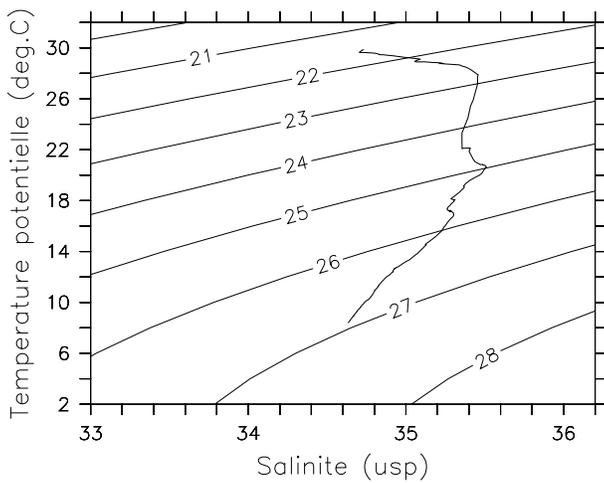
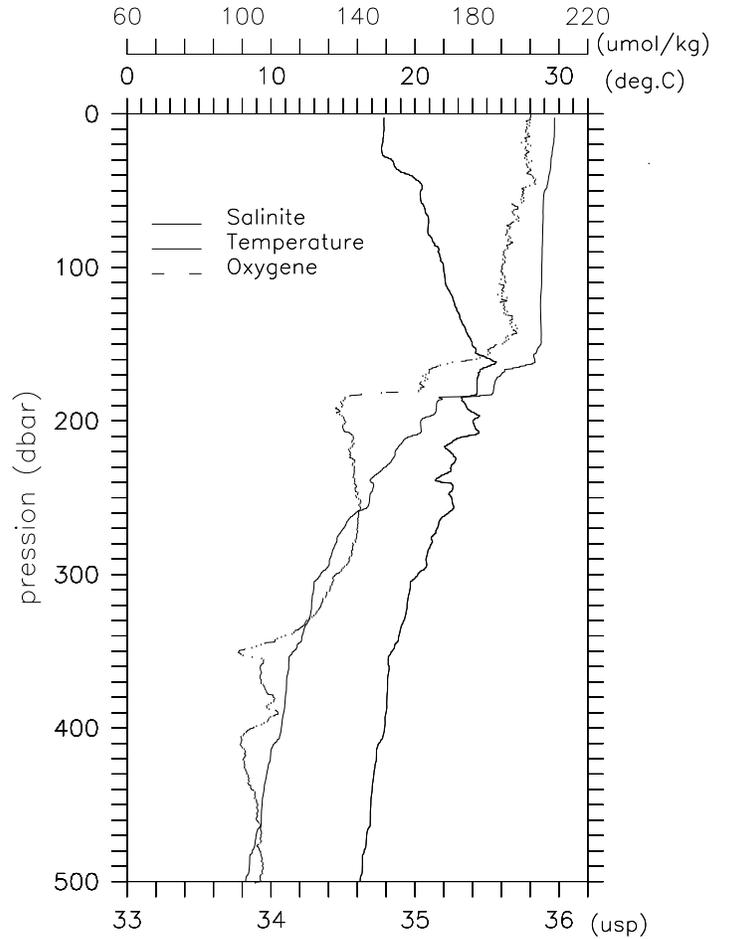
Frontalis2 Station 43

DATE: 17/04/2004 03:45:59 LATITUDE: 1 19.73 S LONGITUDE : 174 0.25 E



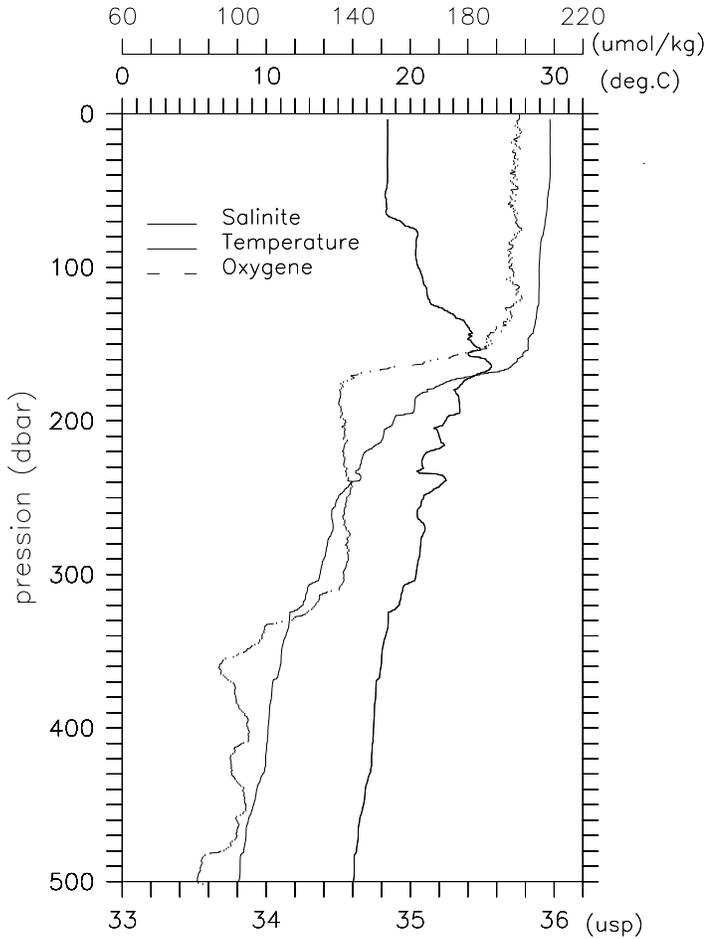
Frontalis2 Station 44

DATE: 17/04/2004 07:01:32 LATITUDE: 0 59.89 S LONGITUDE : 174 0.62 E



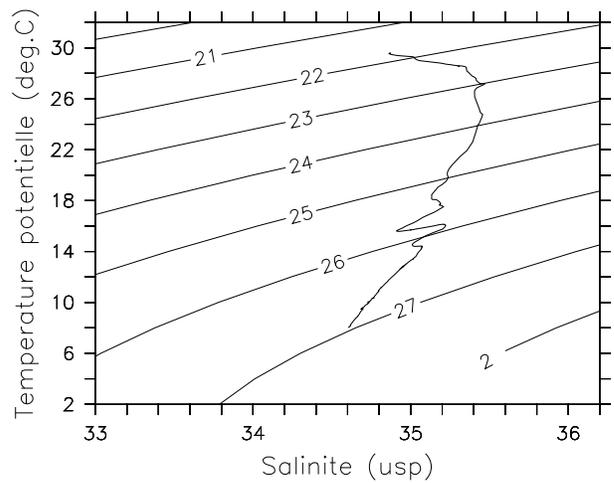
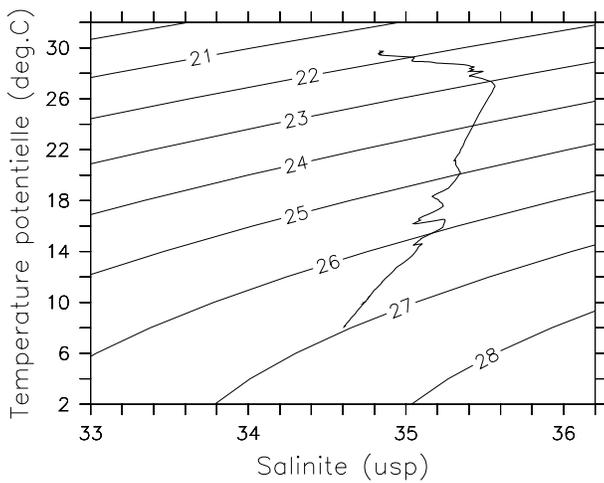
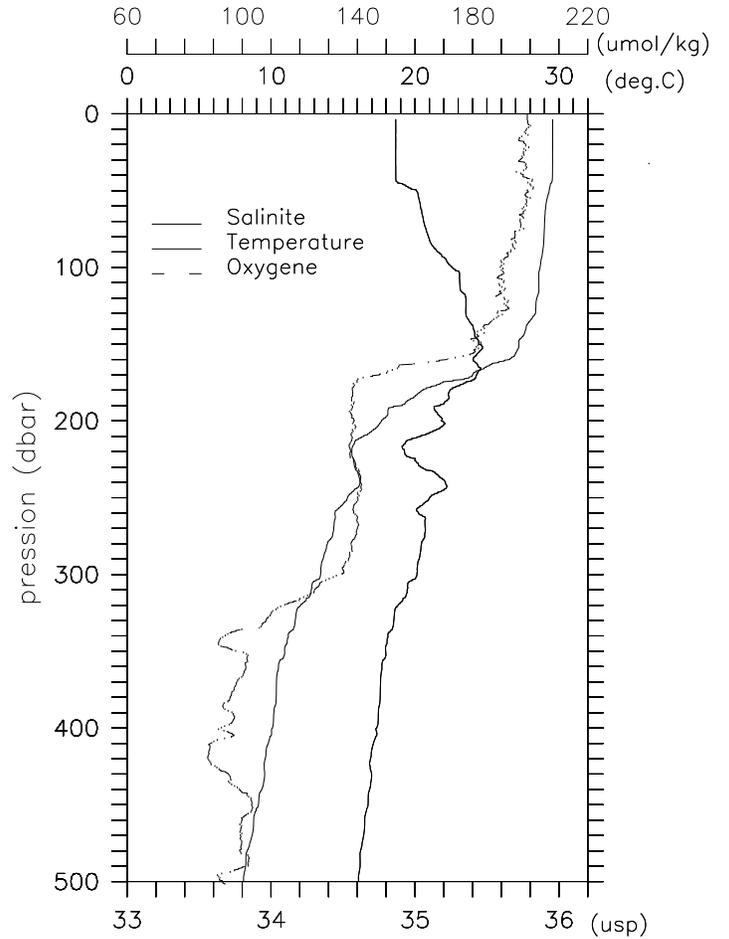
Frontalis2 Station 45

DATE: 17/04/2004 09:57:36 LATITUDE: 0 39.67 S LONGITUDE : 173 59.85 E



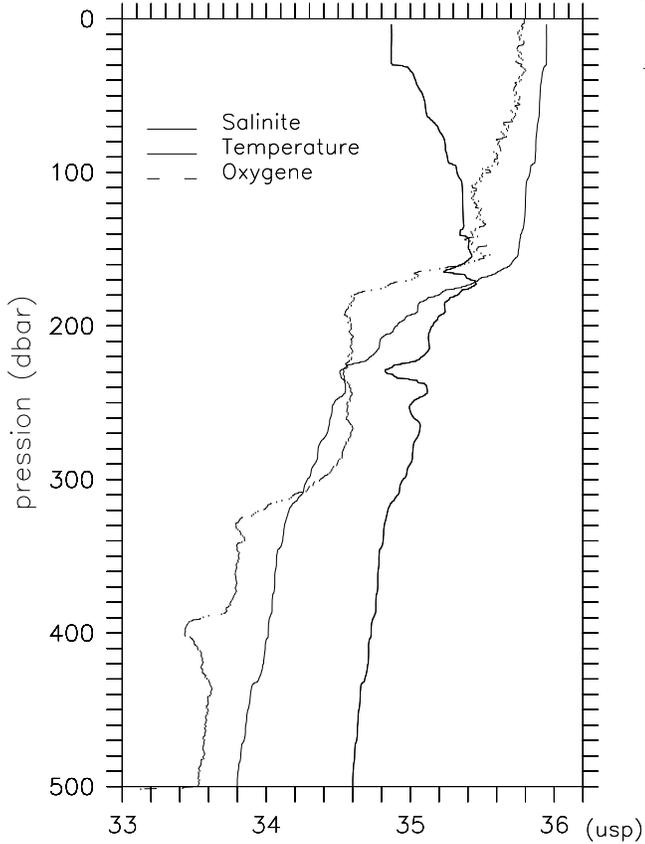
Frontalis2 Station 46

DATE: 17/04/2004 13:00:18 LATITUDE: 0 19.56 S LONGITUDE : 174 0.19 E



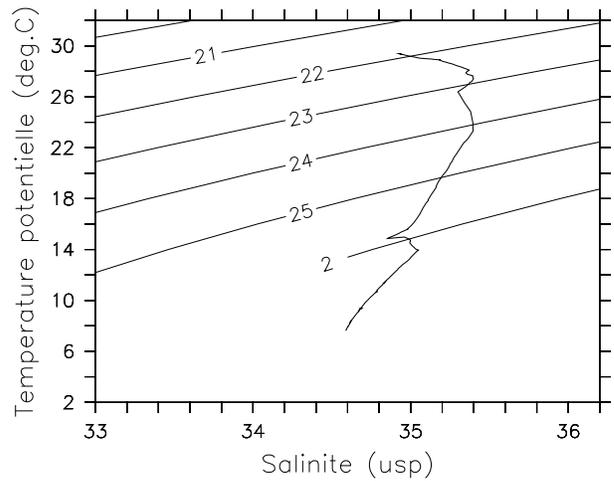
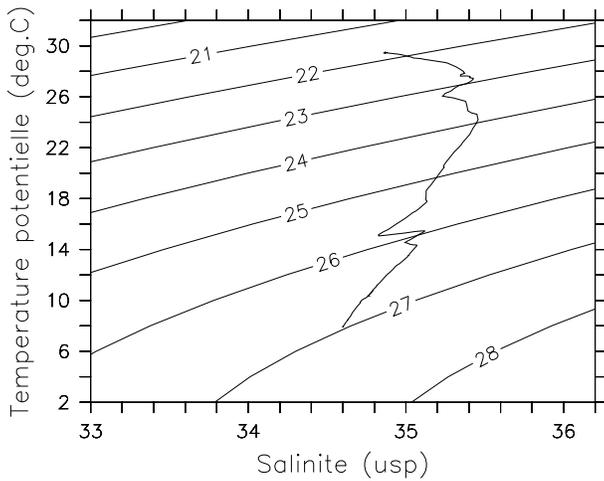
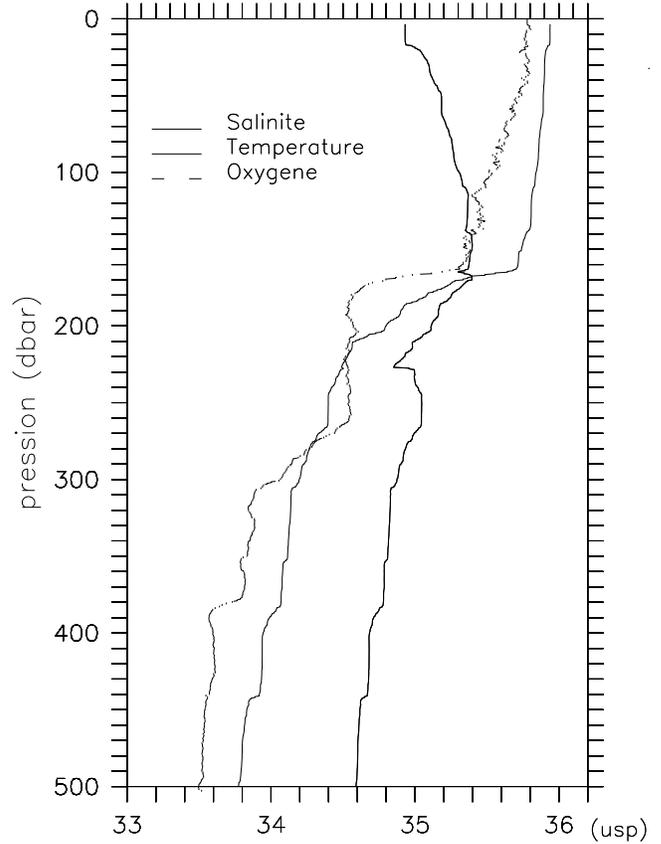
Frontalis2 Station 47

DATE: 17/04/2004 17:15:39 LATITUDE: 0 0.20 N LONGITUDE : 174 0.18 E
 60 100 140 180 220 (umol/kg)
 0 10 20 30 (deg.C)



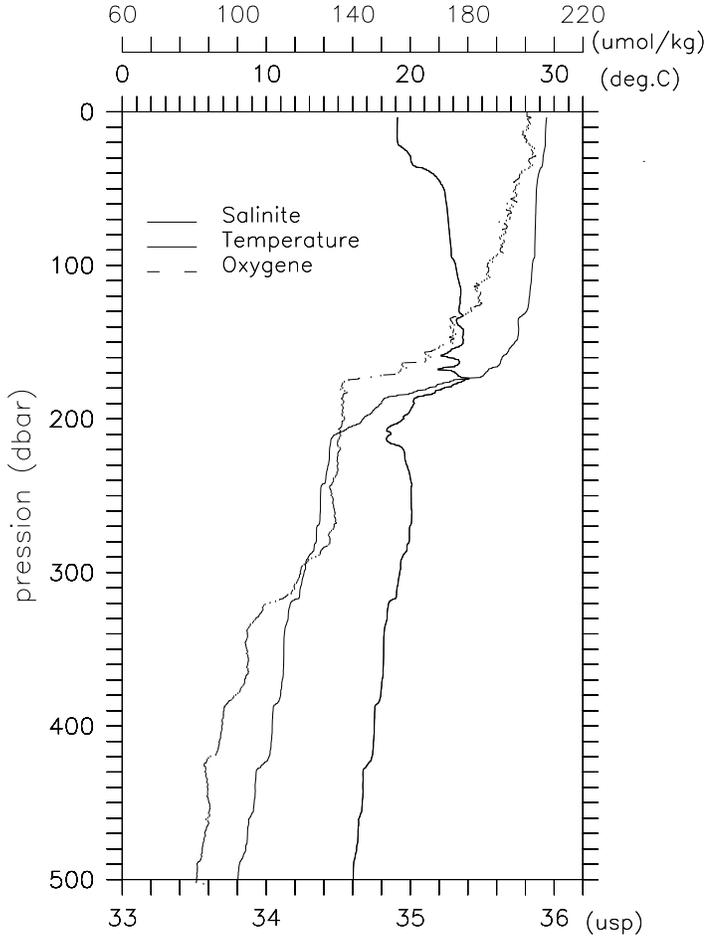
Frontalis2 Station 48

DATE: 17/04/2004 21:56:50 LATITUDE: 0 19.85 N LONGITUDE : 174 5.95 E
 60 100 140 180 220 (umol/kg)
 0 10 20 30 (deg.C)



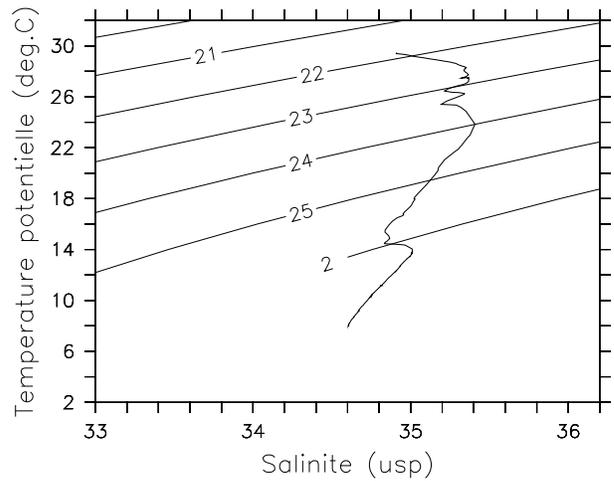
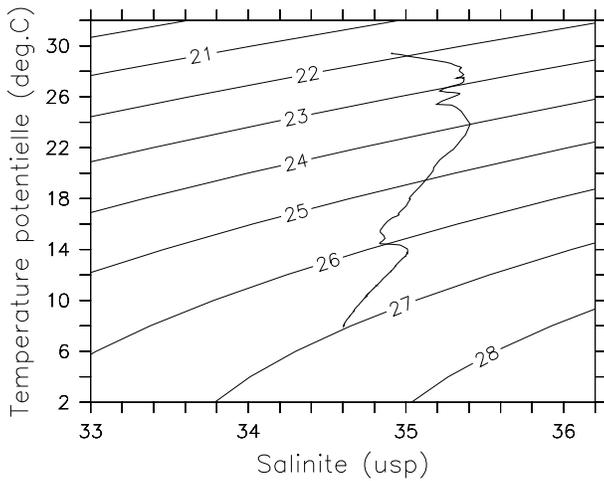
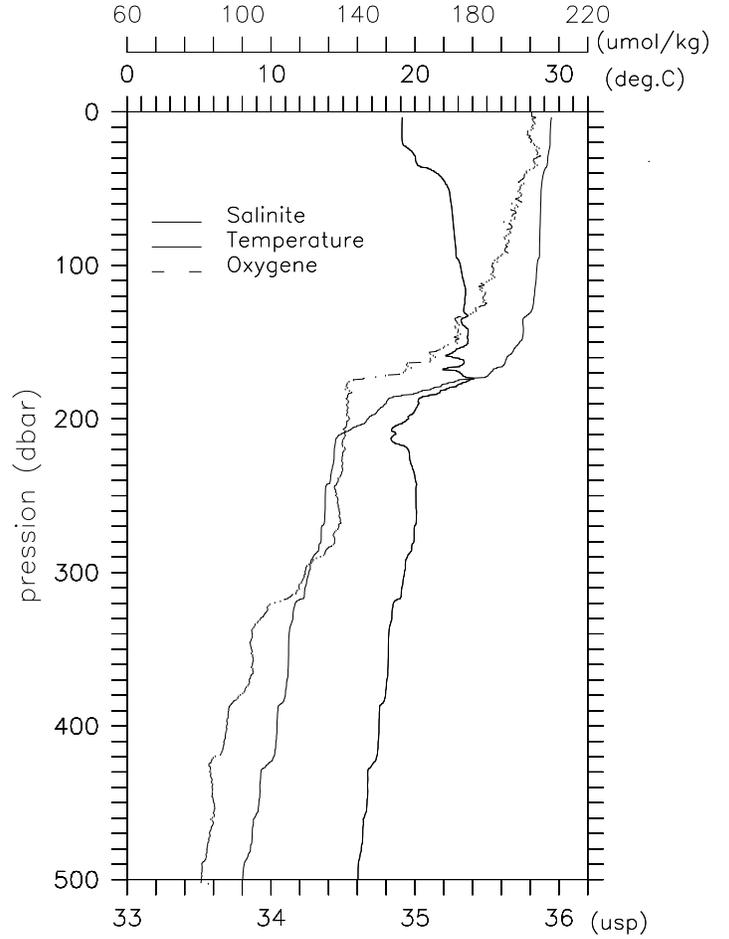
Frontalis2 Station 49

DATE: 18/04/2004 01:00:23 LATITUDE: 0 39.87 N LONGITUDE : 173 59.94 E



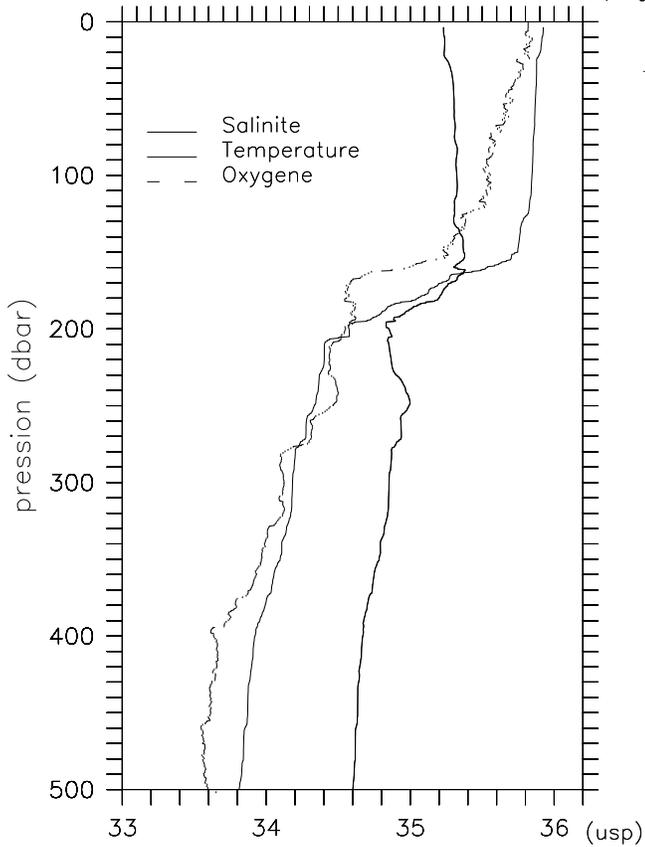
Frontalis2 Station 50

DATE: 18/04/2004 01:00:23 LATITUDE: 0 39.87 N LONGITUDE : 173 59.94 E



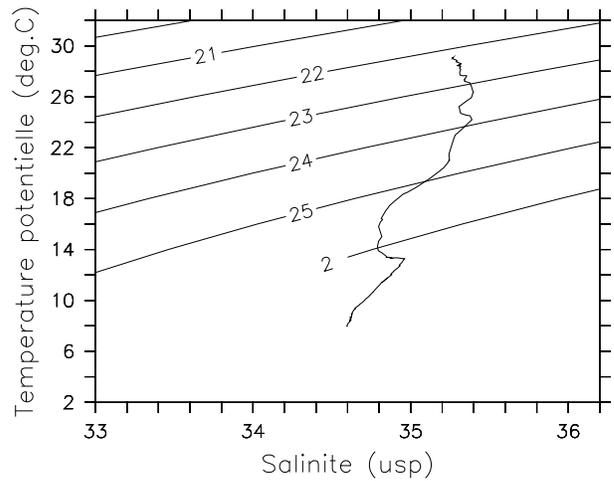
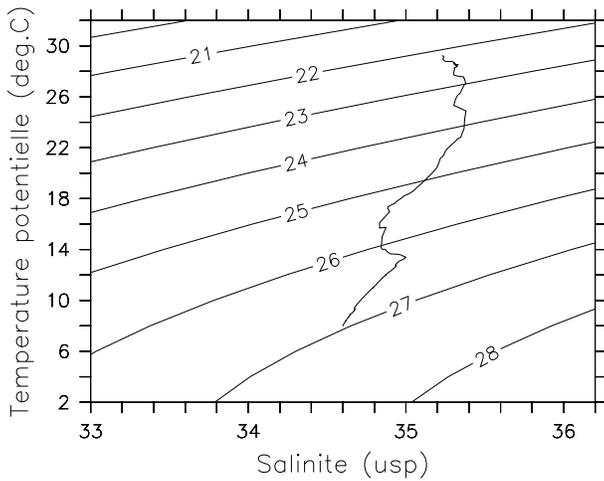
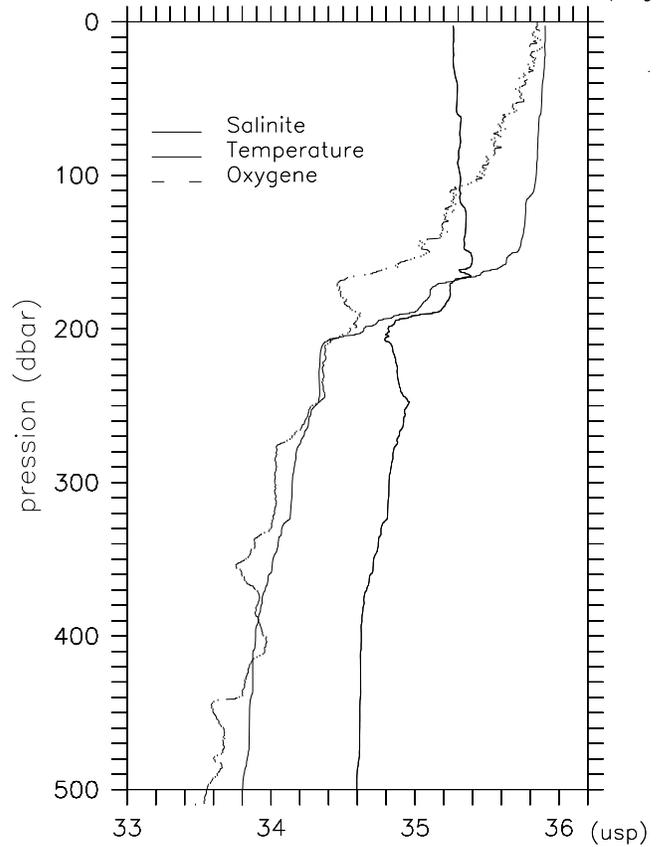
Frontalis2 Station 51

DATE: 18/04/2004 06:50:41 LATITUDE: 1 20.18 N LONGITUDE : 174 0.02 E
60 100 140 180 220 (umol/kg)
0 10 20 30 (deg.C)



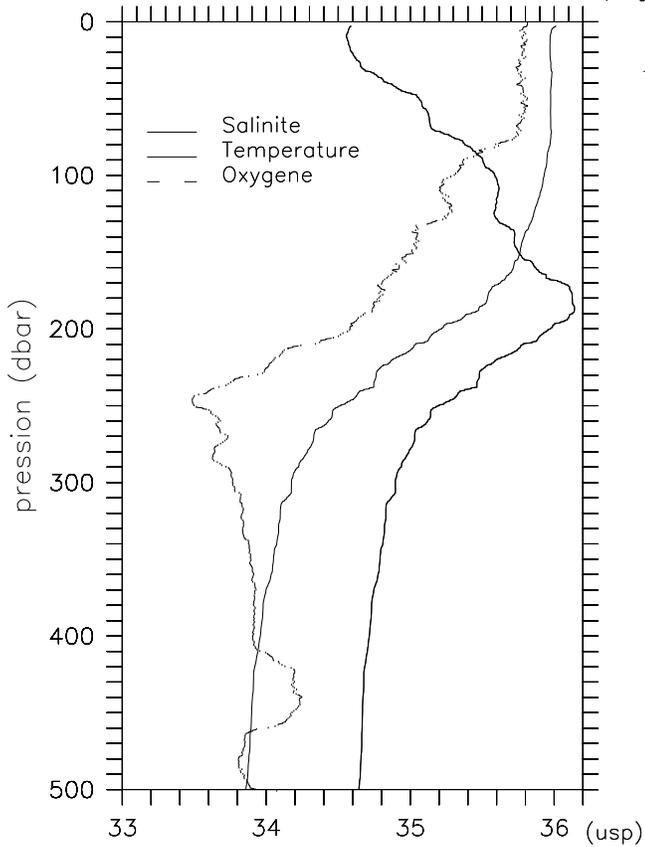
Frontalis2 Station 52

DATE: 18/04/2004 09:31:05 LATITUDE: 1 39.82 N LONGITUDE : 173 59.88 E
60 100 140 180 220 (umol/kg)
0 10 20 30 (deg.C)



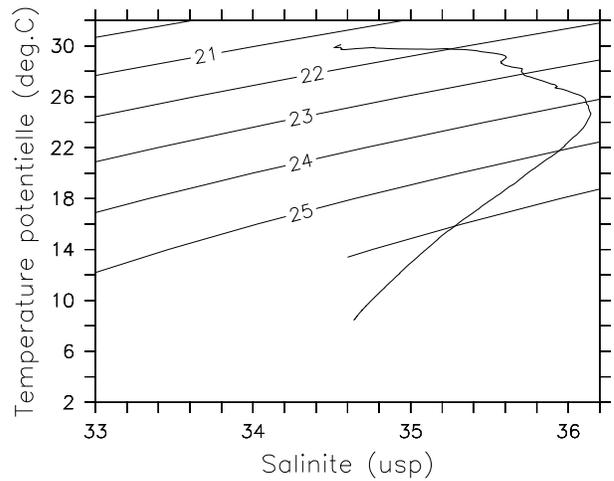
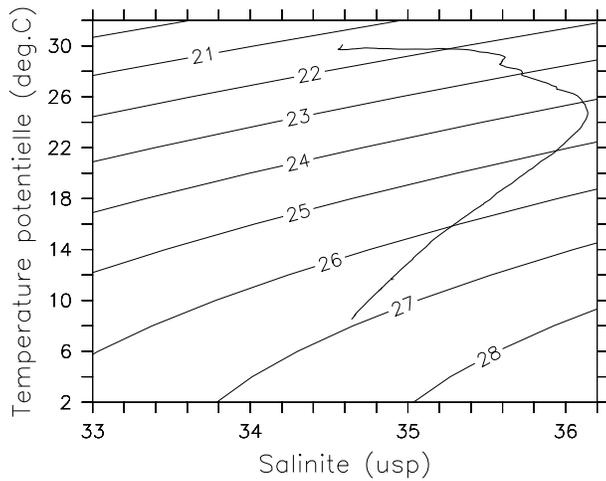
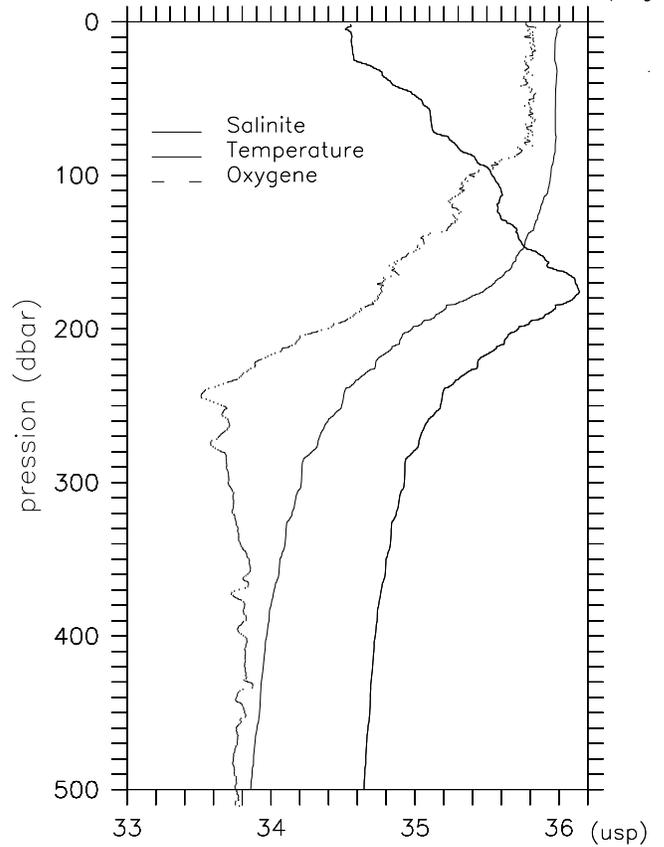
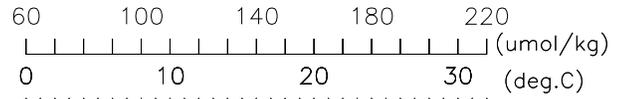
Frontalis2 Station 53

DATE: 23/04/2004 08:48:01 LATITUDE: 5 0.21 S LONGITUDE : 164 59.63 E



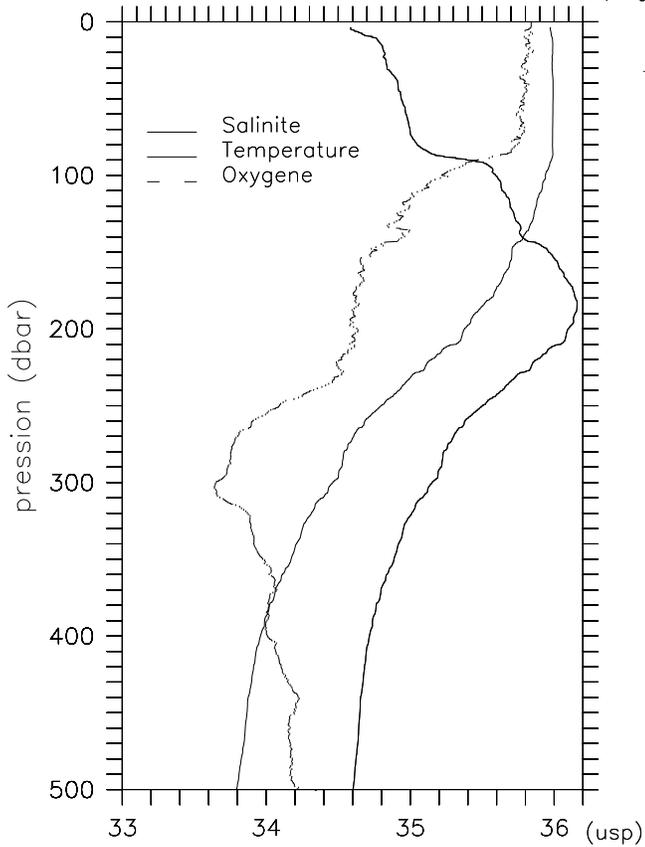
Frontalis2 Station 54

DATE: 23/04/2004 09:44:20 LATITUDE: 5 3.52 S LONGITUDE : 164 59.90 E



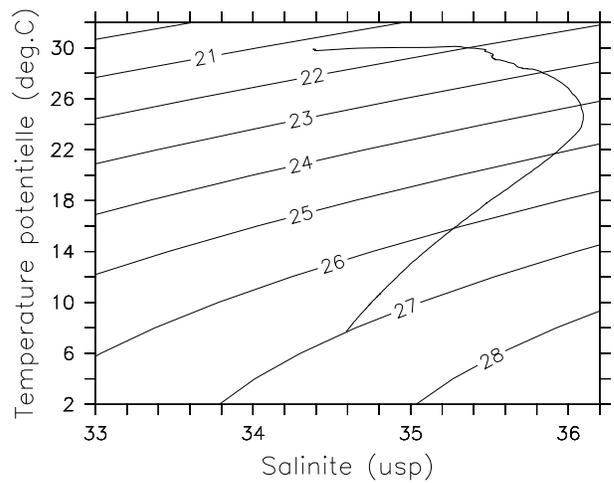
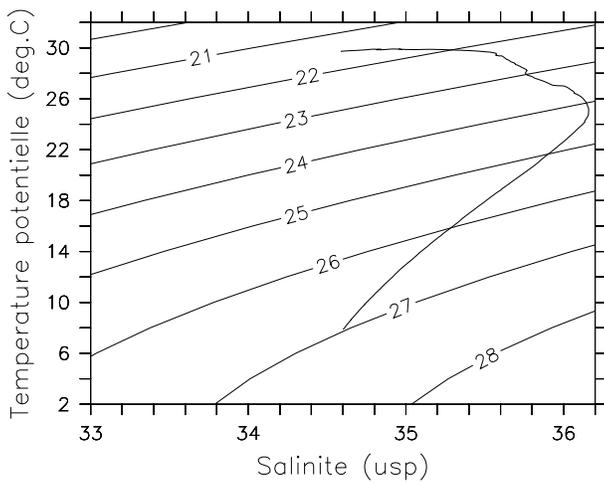
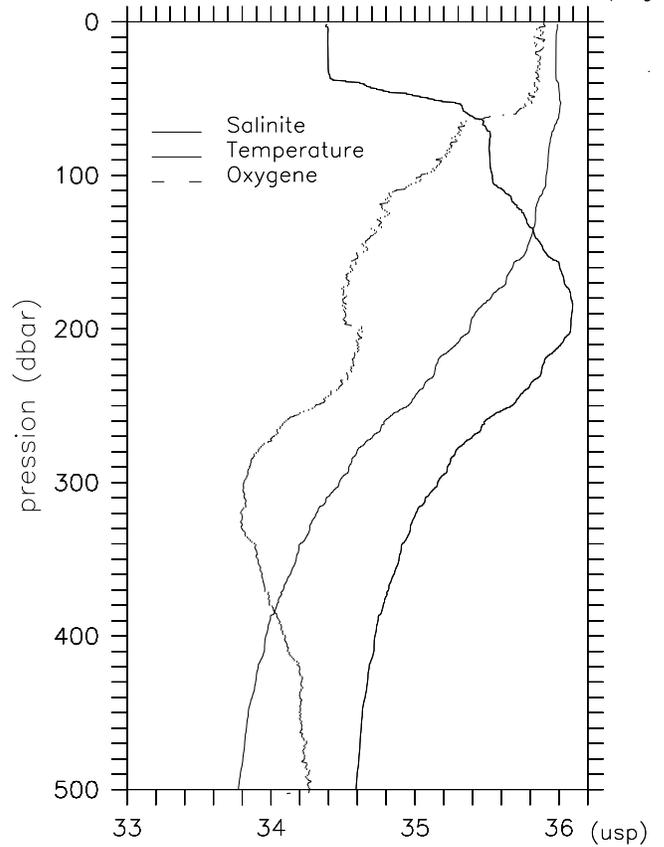
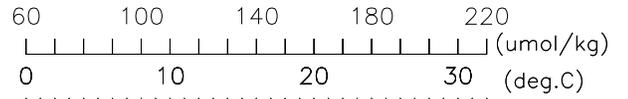
Frontalis2 Station 55

DATE: 23/04/2004 17:09:09 LATITUDE: 6 0.04 S LONGITUDE : 164 59.71 E



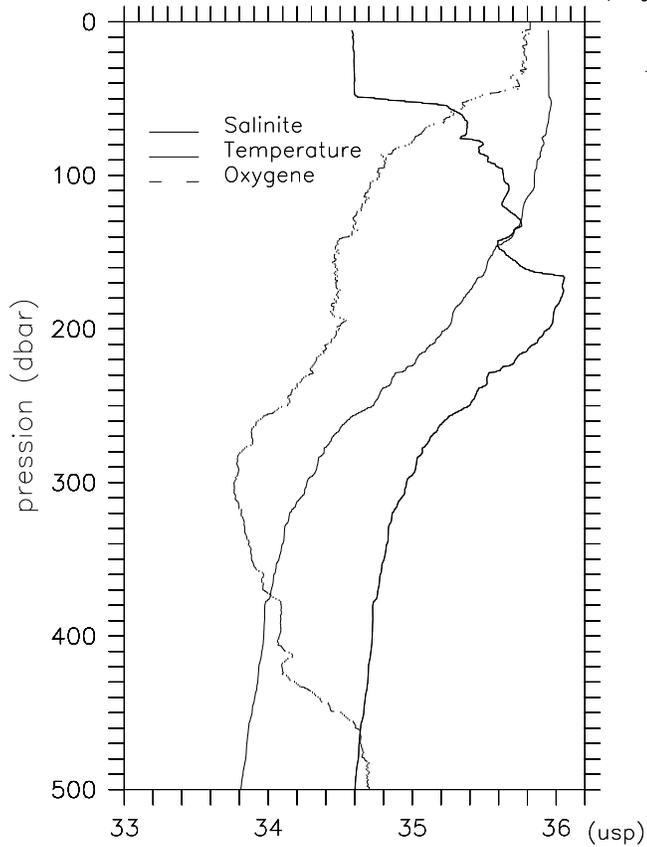
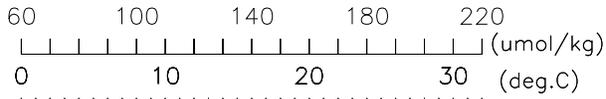
Frontalis2 Station 56

DATE: 24/04/2004 01:14:06 LATITUDE: 7 1.06 S LONGITUDE : 165 0.37 E



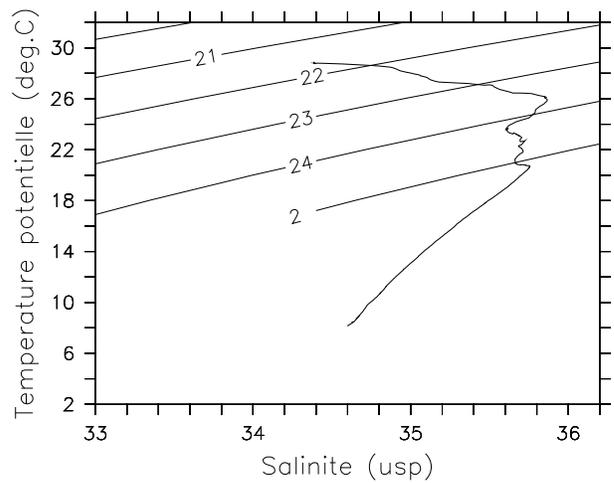
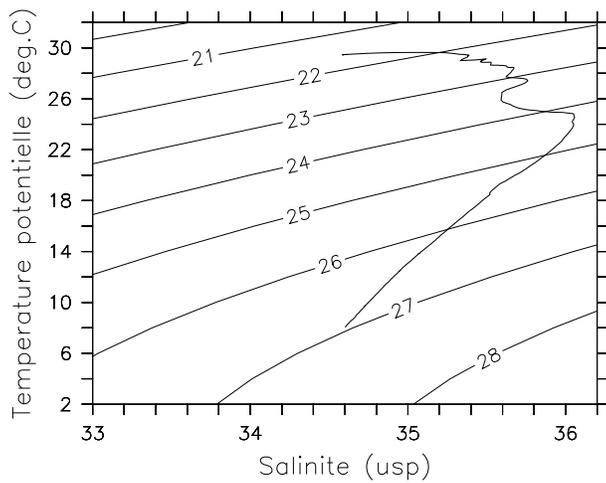
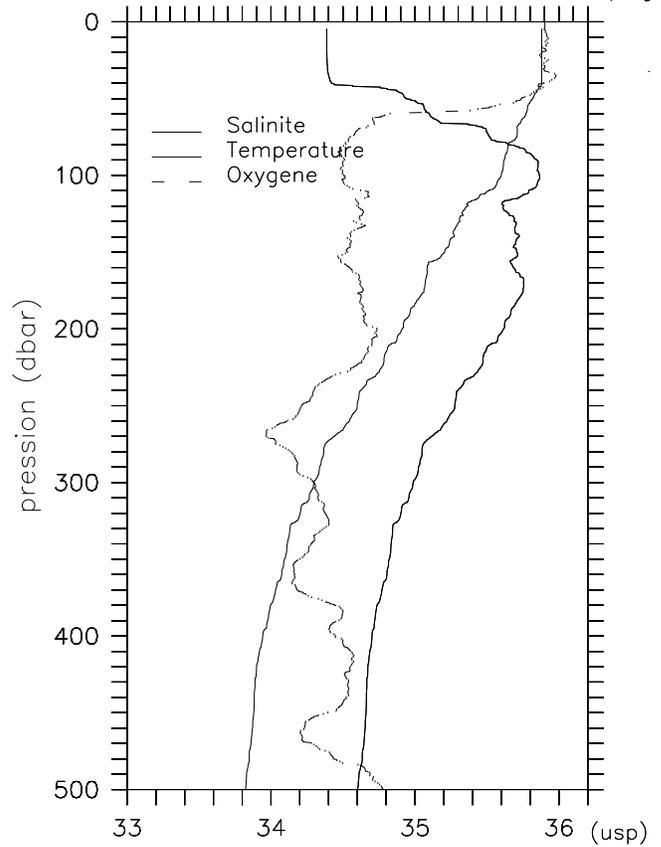
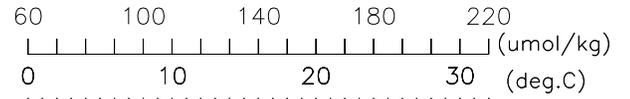
Frontalis2 Station 58

DATE: 24/04/2004 17:32:26 LATITUDE: 8 59.51 S LONGITUDE : 165 0.52 E



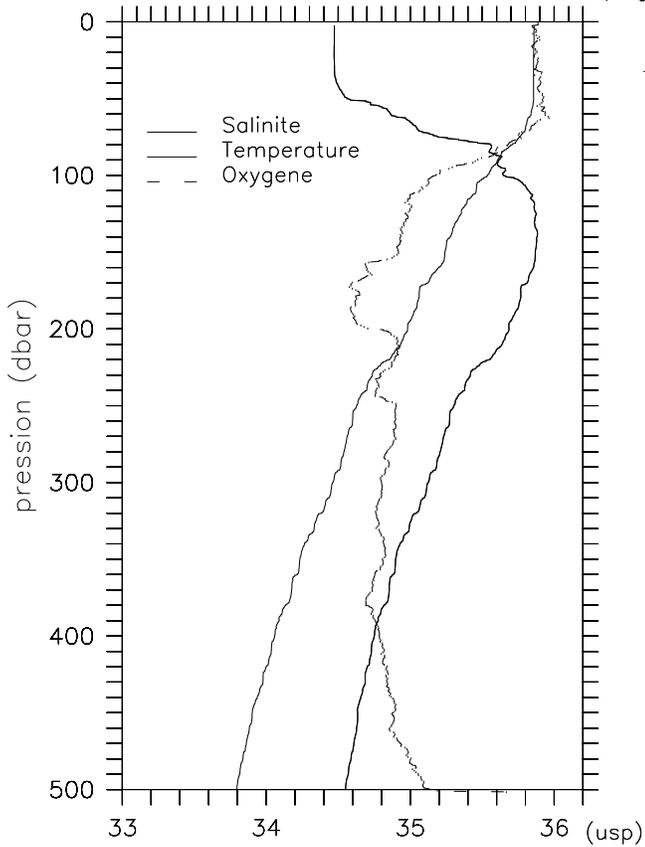
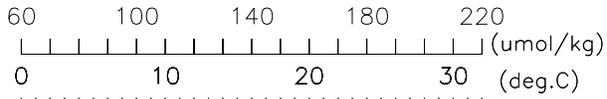
Frontalis2 Station 59

DATE: 25/04/2004 01:43:42 LATITUDE: 10 0.12 S LONGITUDE : 165 0.56 E



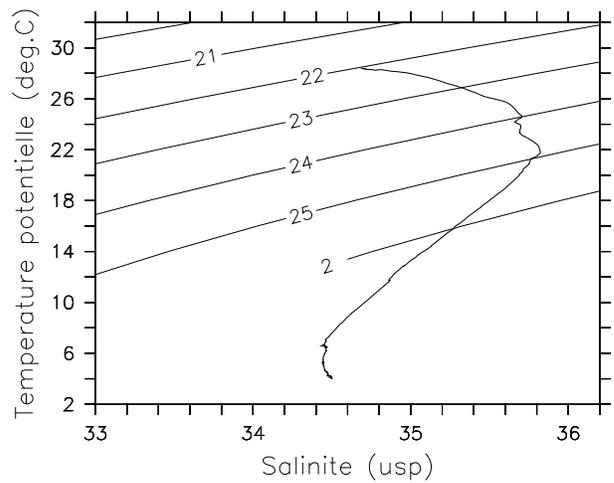
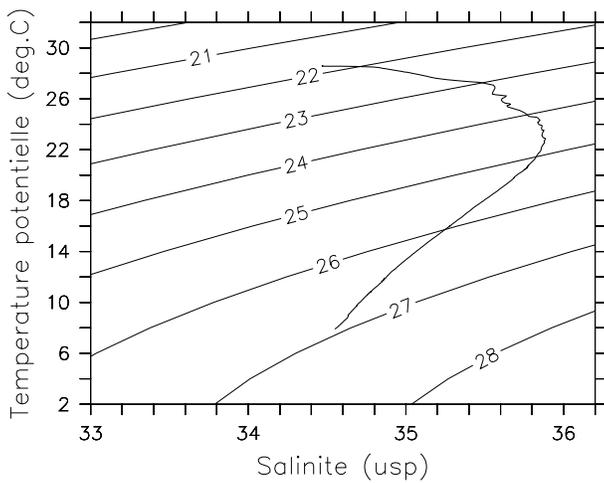
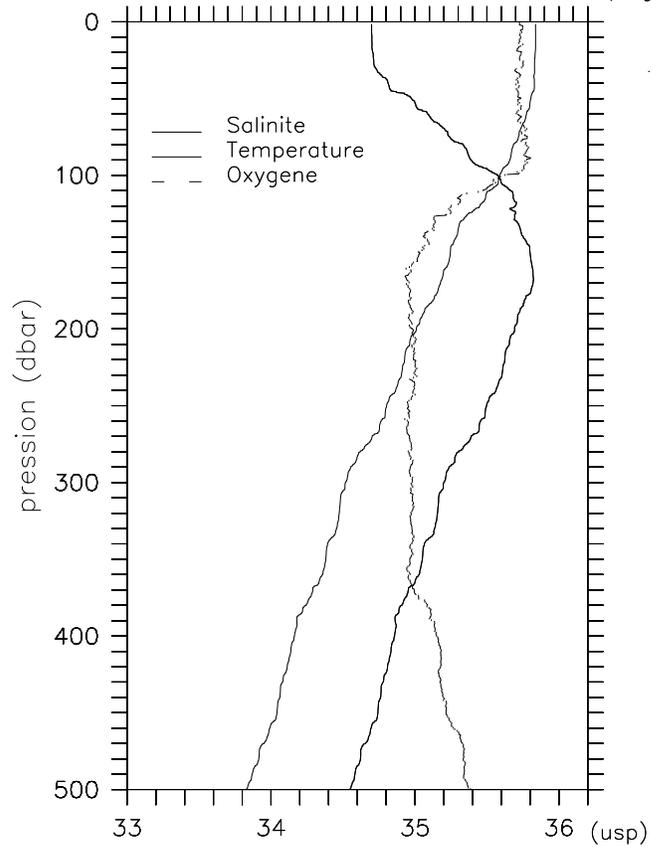
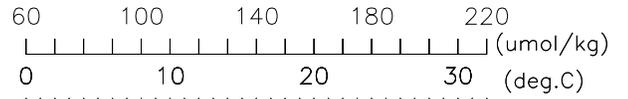
Frontalis2 Station 61

DATE: 26/04/2004 00:22:26 LATITUDE: 13 0.74 S LONGITUDE : 164 59.76 E



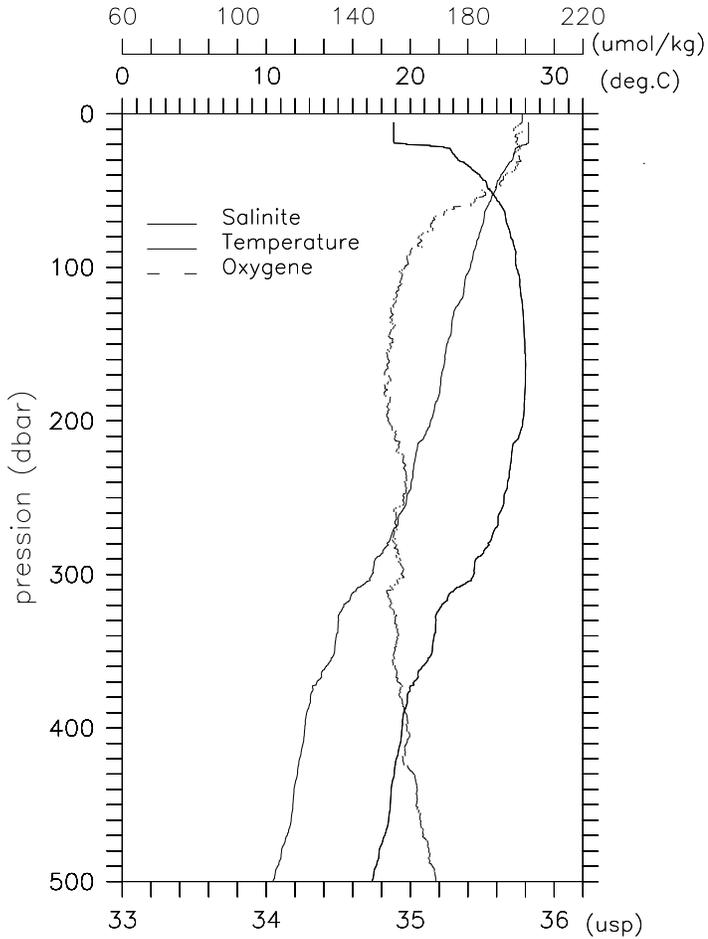
Frontalis2 Station 62

DATE: 26/04/2004 08:23:45 LATITUDE: 14 1.15 S LONGITUDE : 165 0.07 E



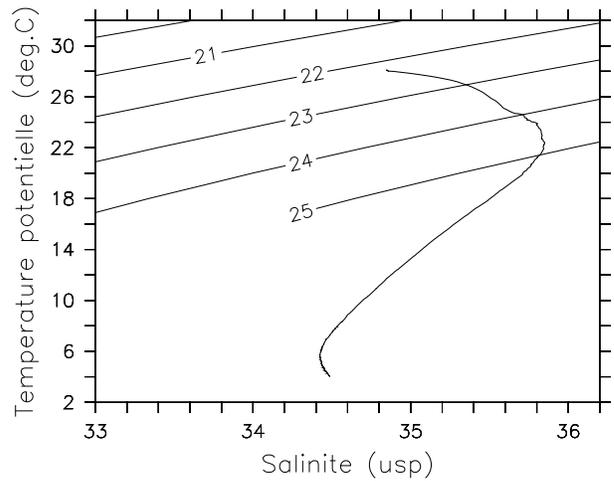
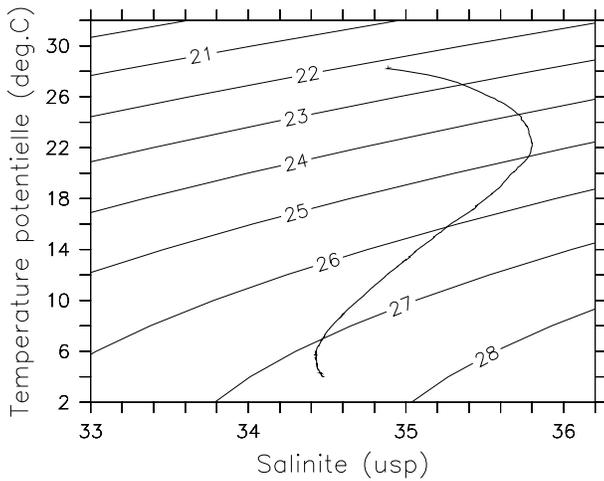
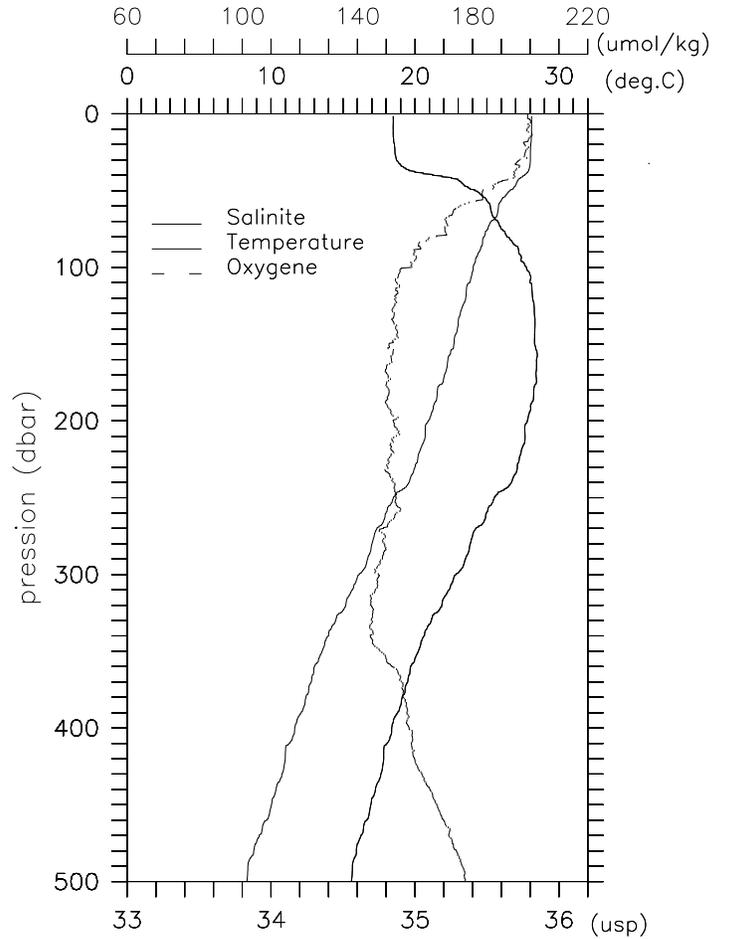
Frontalis2 Station 63

DATE: 26/04/2004 17:18:57 LATITUDE: 14 59.66 S LONGITUDE : 165 0.22 E



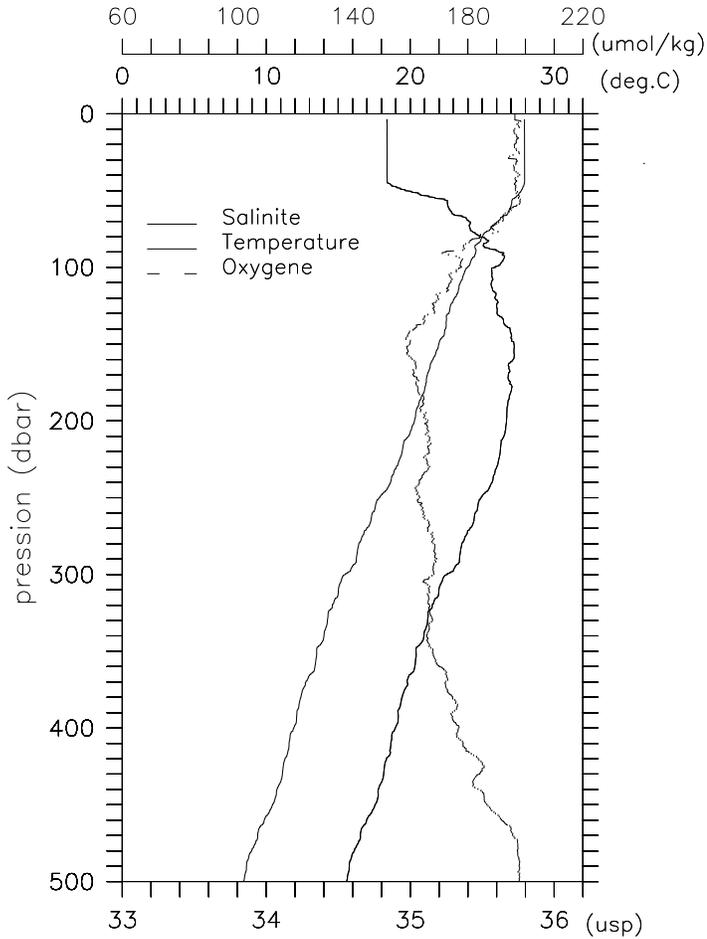
Frontalis2 Station 64

DATE: 27/04/2004 01:59:43 LATITUDE: 16 0.24 S LONGITUDE : 165 0.07 E



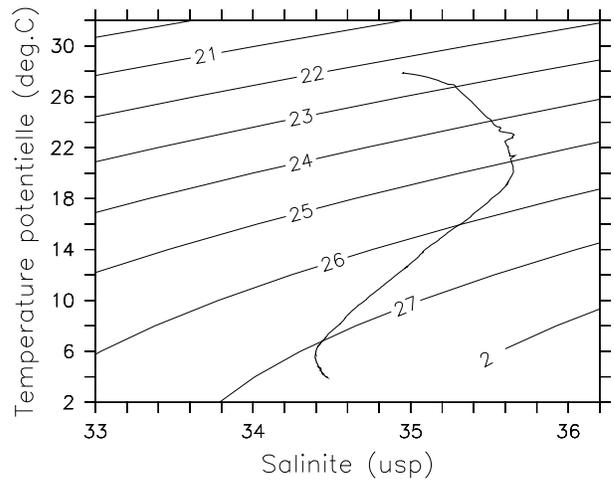
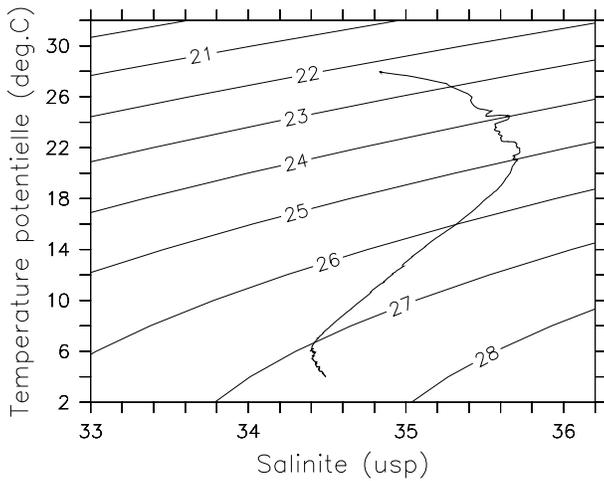
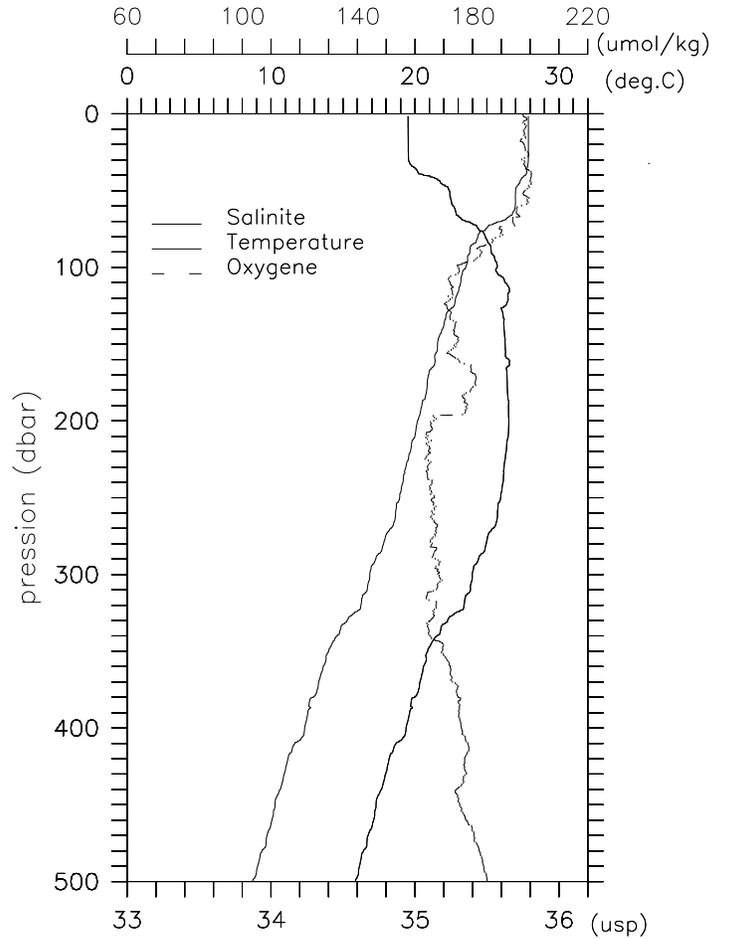
Frontalis2 Station 65

DATE: 27/04/2004 09:43:21 LATITUDE: 17 0.36 S LONGITUDE : 165 0.10 E



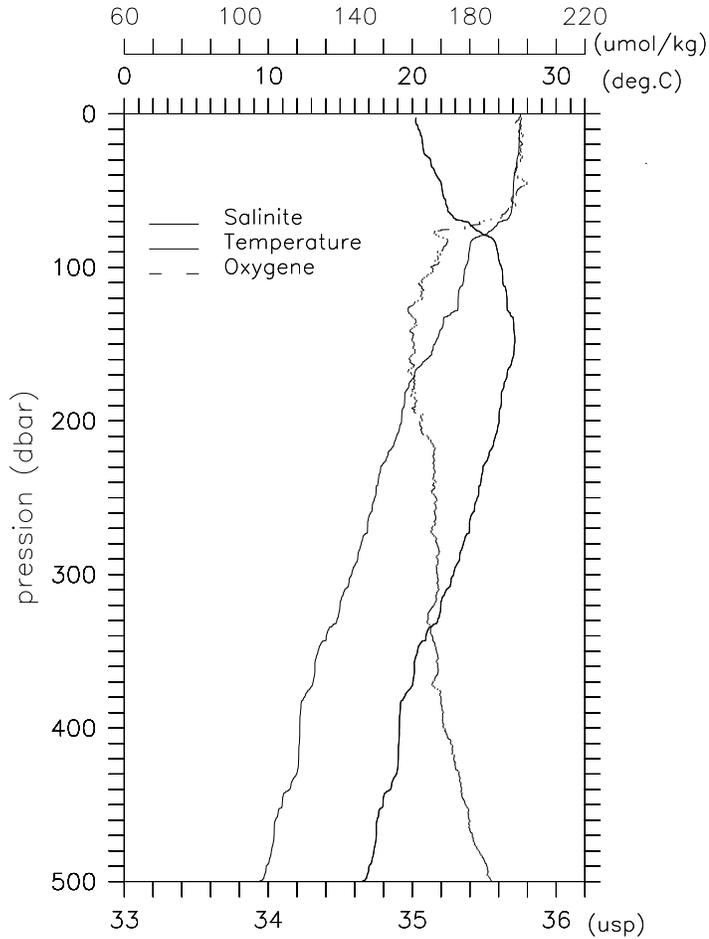
Frontalis2 Station 66

DATE: 27/04/2004 17:20:20 LATITUDE: 18 0.24 S LONGITUDE : 165 0.32 E



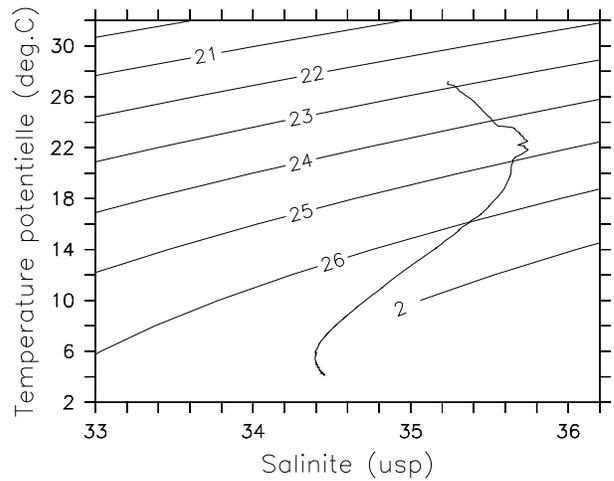
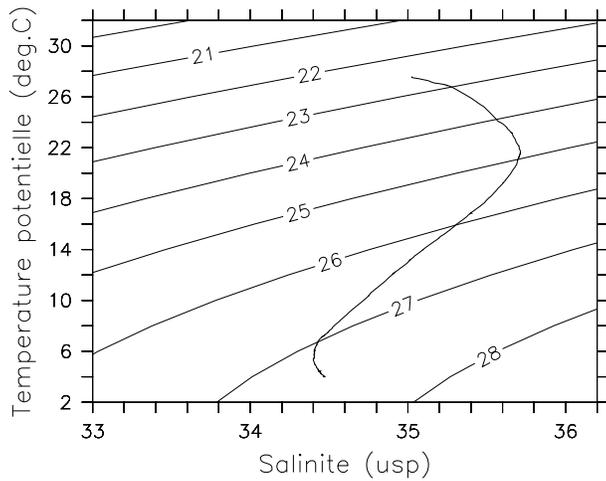
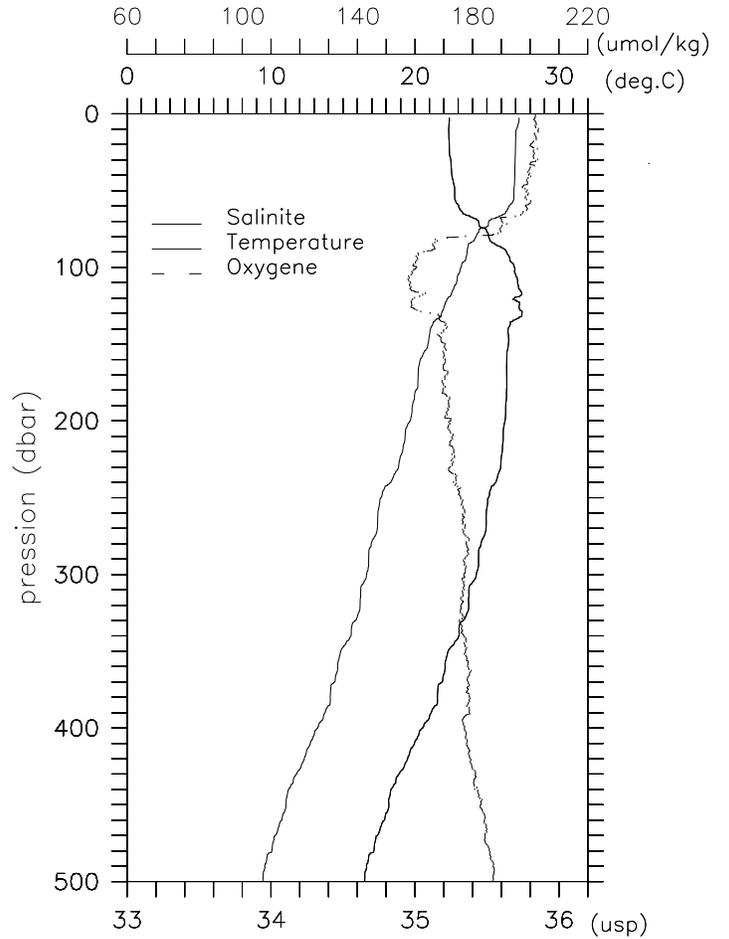
Frontalis2 Station 67

DATE: 28/04/2004 00:13:34 LATITUDE: 18 33.15 S LONGITUDE : 164 17.87 E



Frontalis2 Station 68

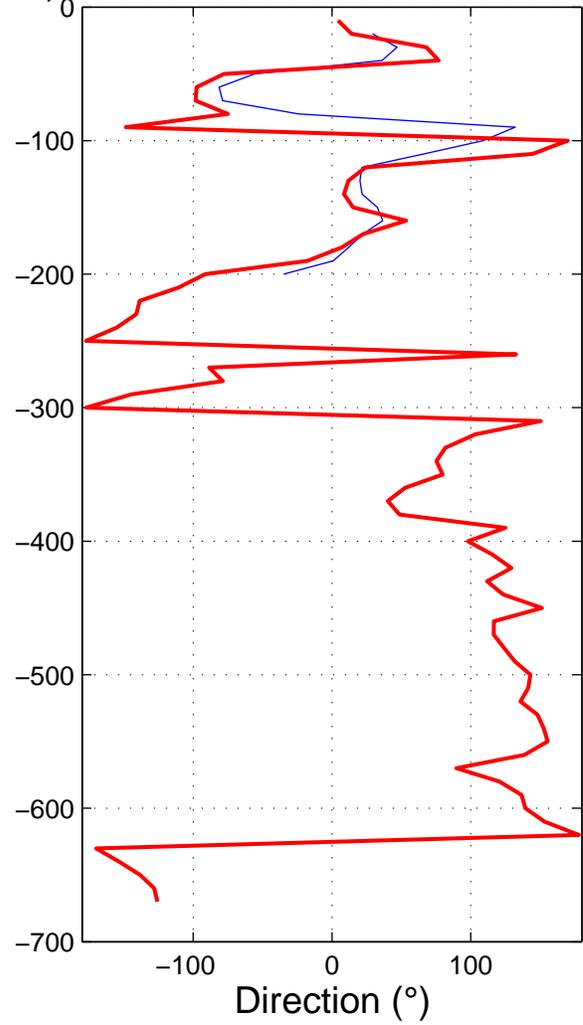
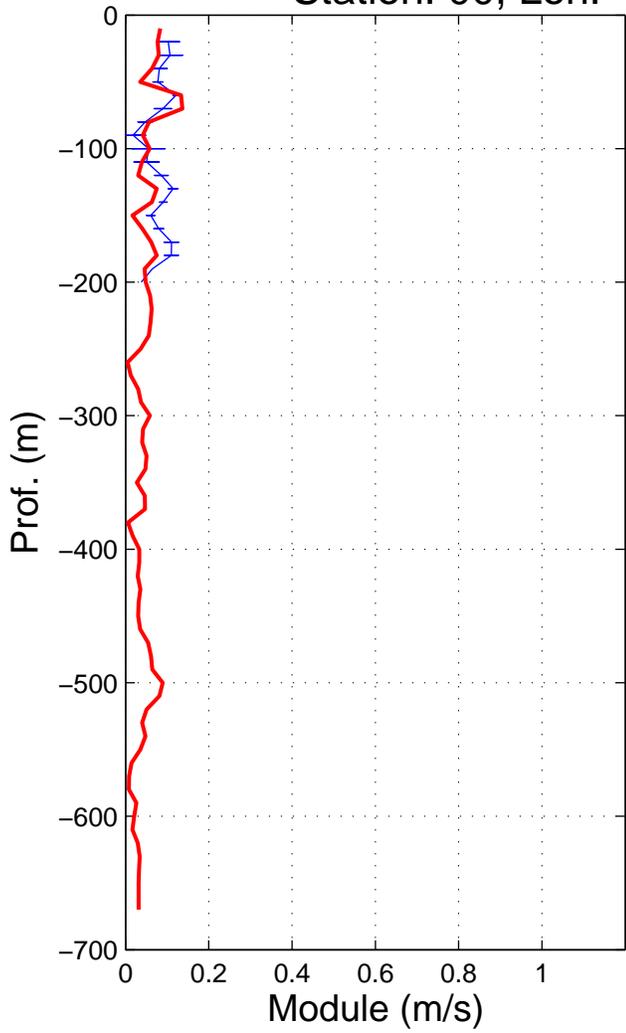
DATE: 28/04/2004 05:16:30 LATITUDE: 18 47.04 S LONGITUDE : 163 34.88 E



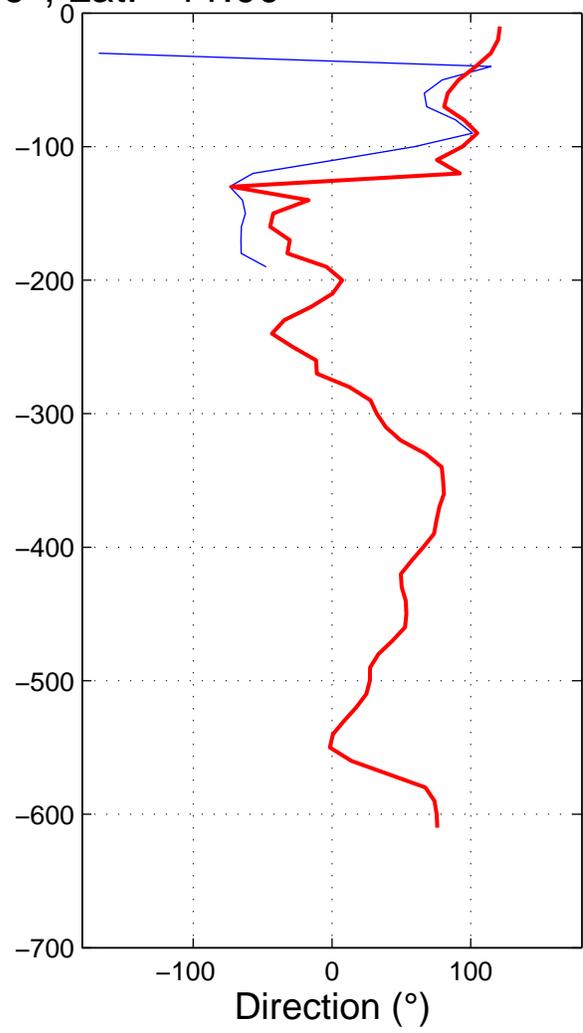
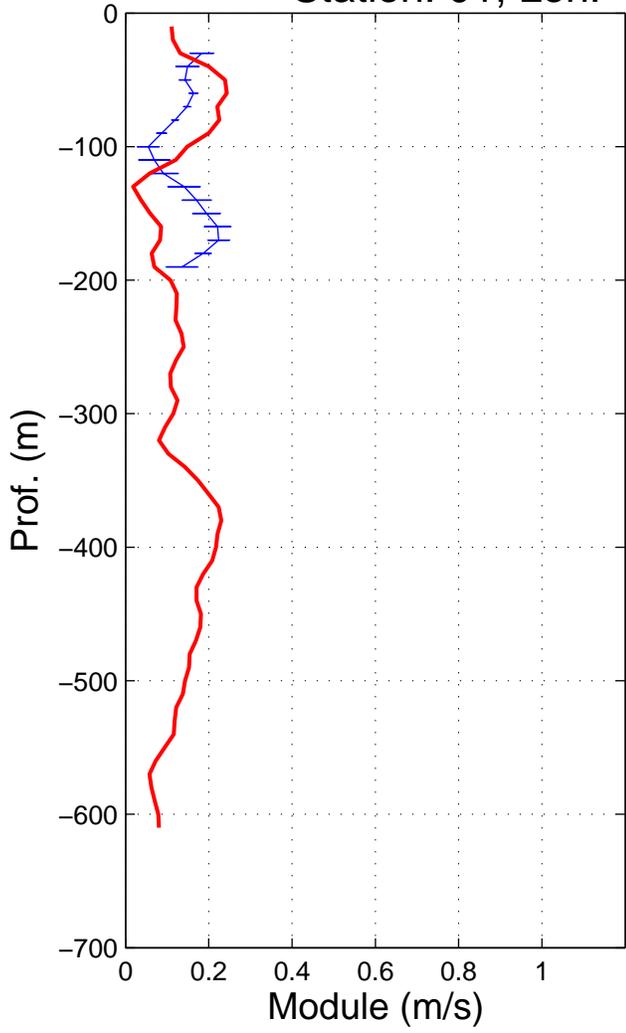
16.2 Courantométrie ADCP de sonde (LADCP) et de surface (SADCP) par station

Les figures suivantes donnent le module et la direction du courant en fonction de la profondeur pour chaque station LADCP valide (trait gras). Moyenne du courant VM-ADCP correspondant et écart type du module (trait fin). Les profils des stations 16 et 46 n'ont pu être obtenus.

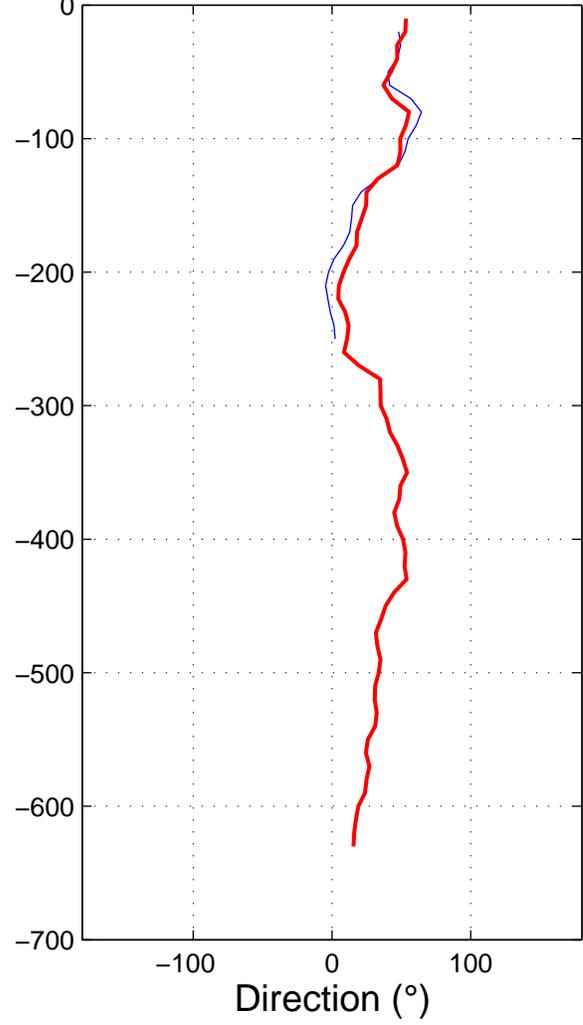
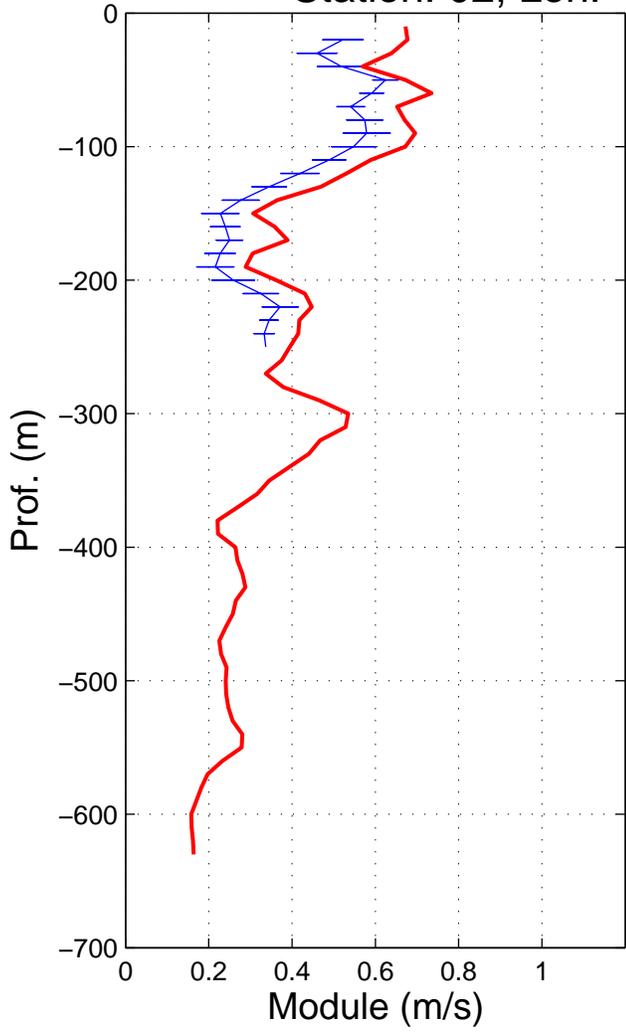
Station: 00, Lon: 167.05°, Lat: -20.86°



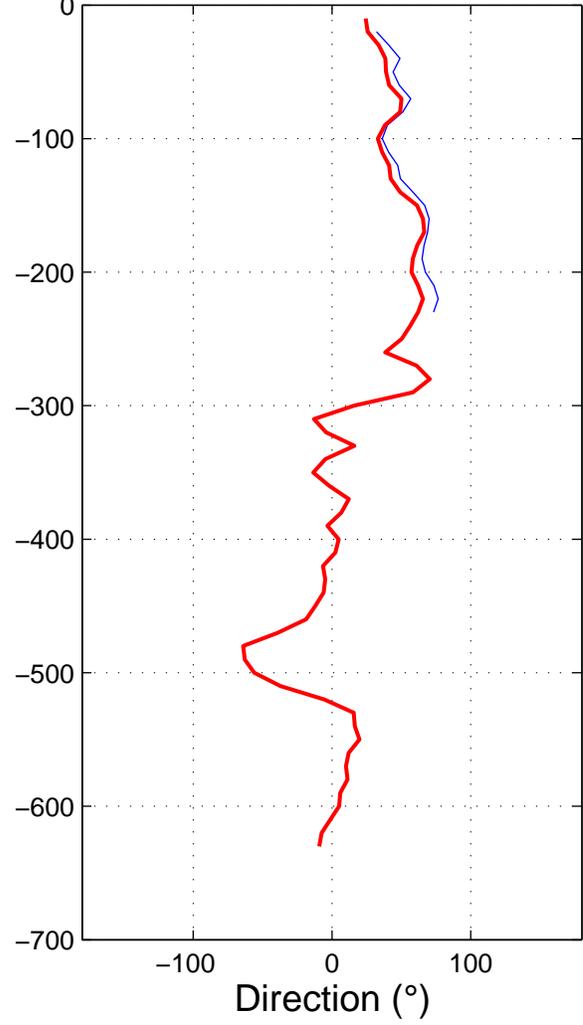
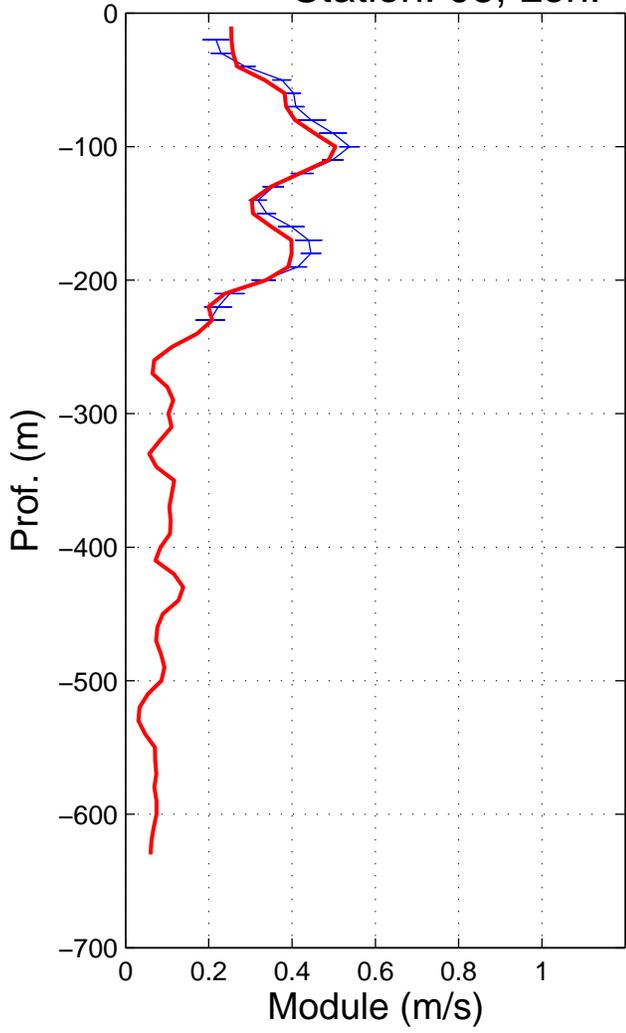
Station: 01, Lon: 164.99°, Lat: -11.00°



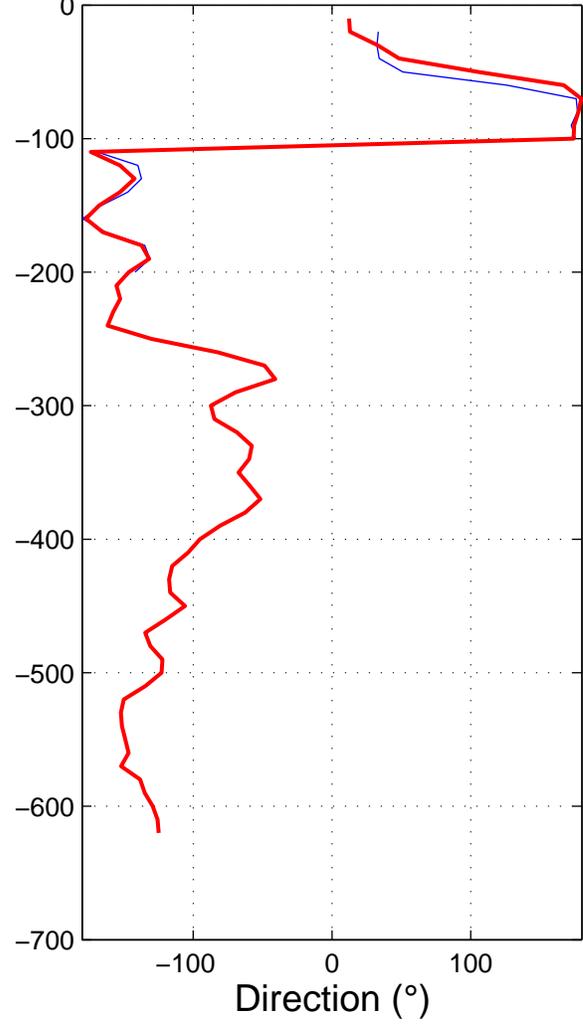
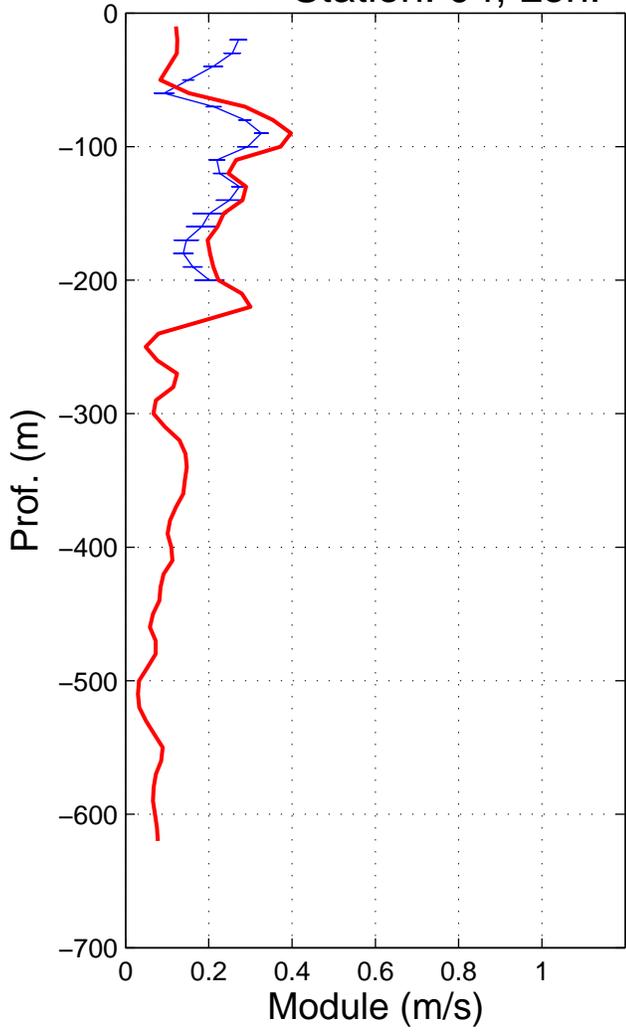
Station: 02, Lon: 165.03°, Lat: -9.99°



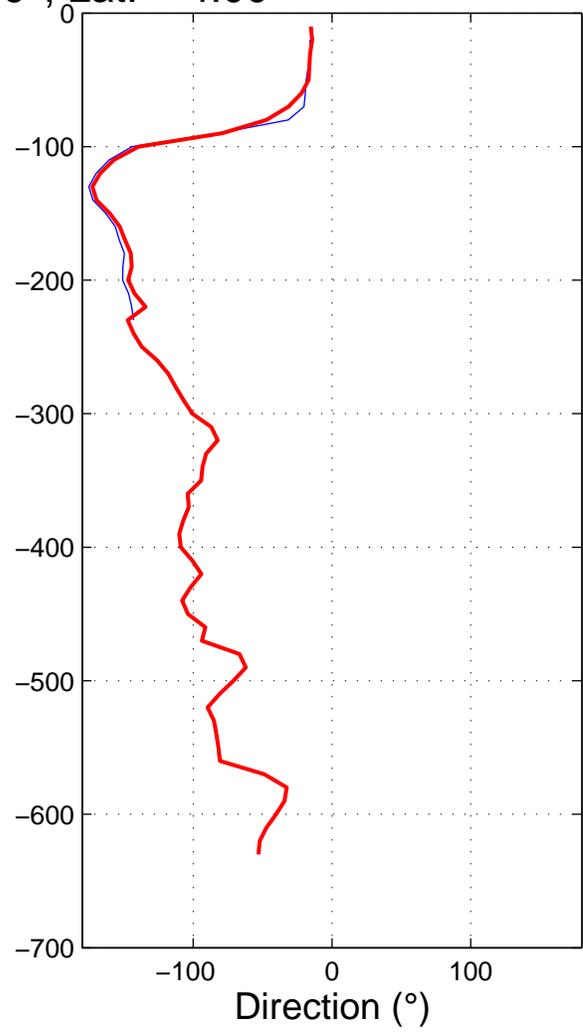
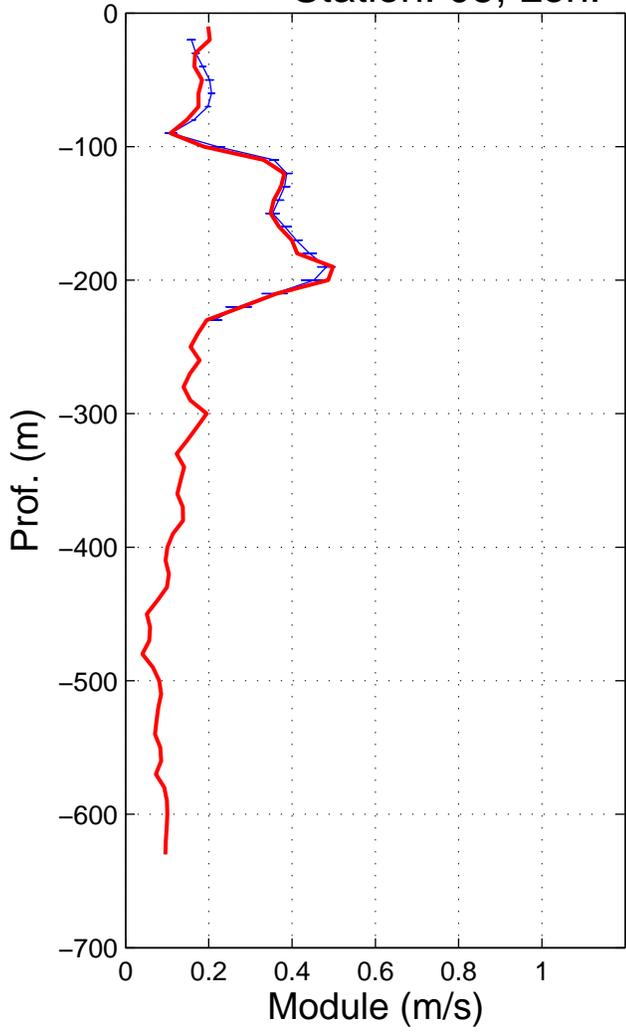
Station: 03, Lon: 165.01°, Lat: -8.99°



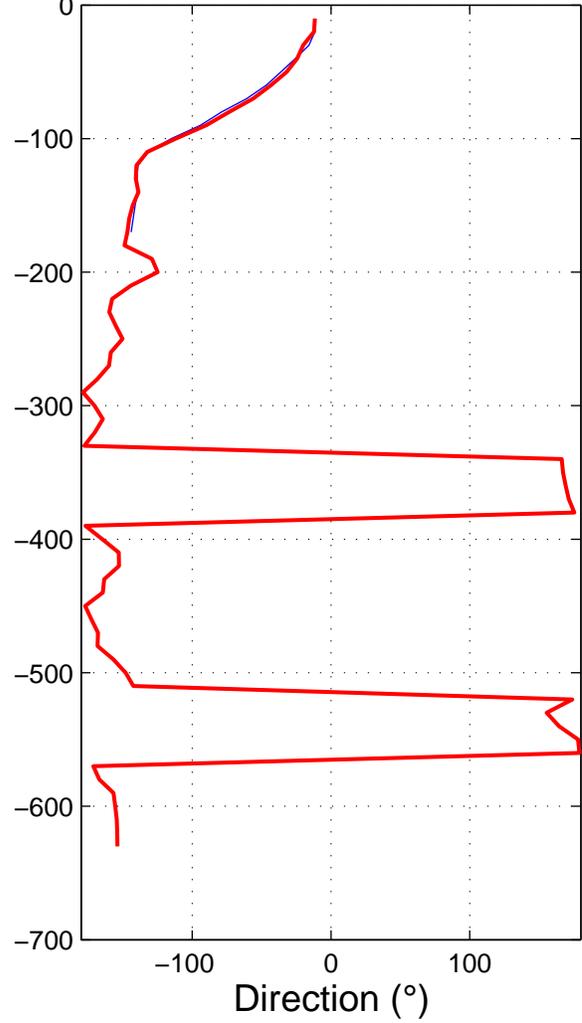
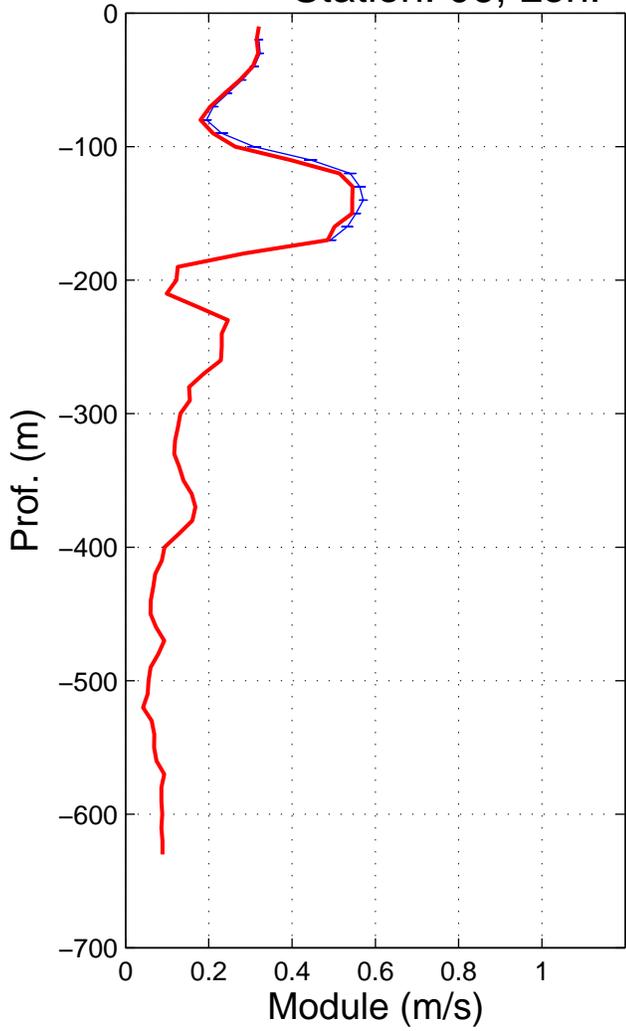
Station: 04, Lon: 164.99°, Lat: -4.99°



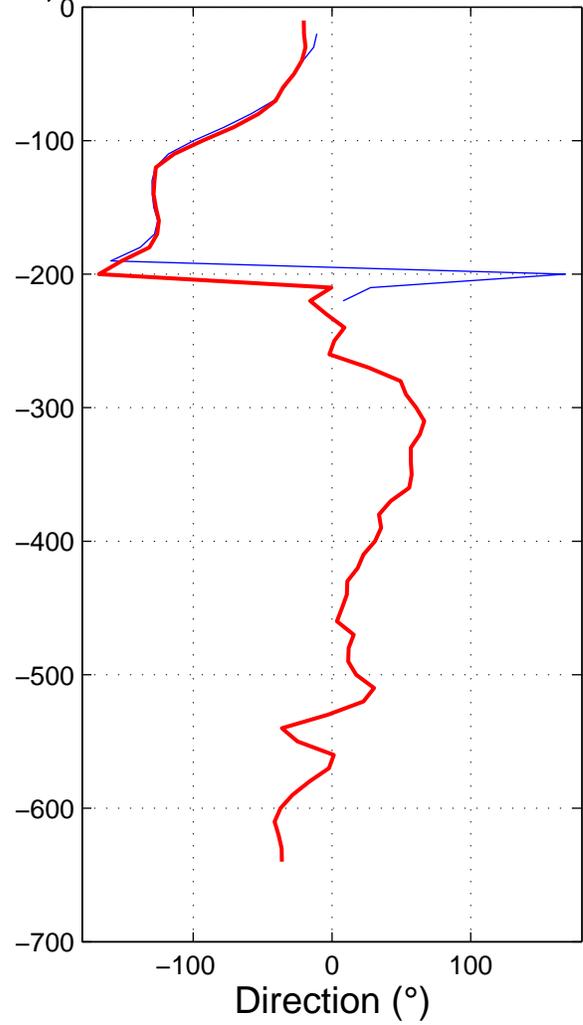
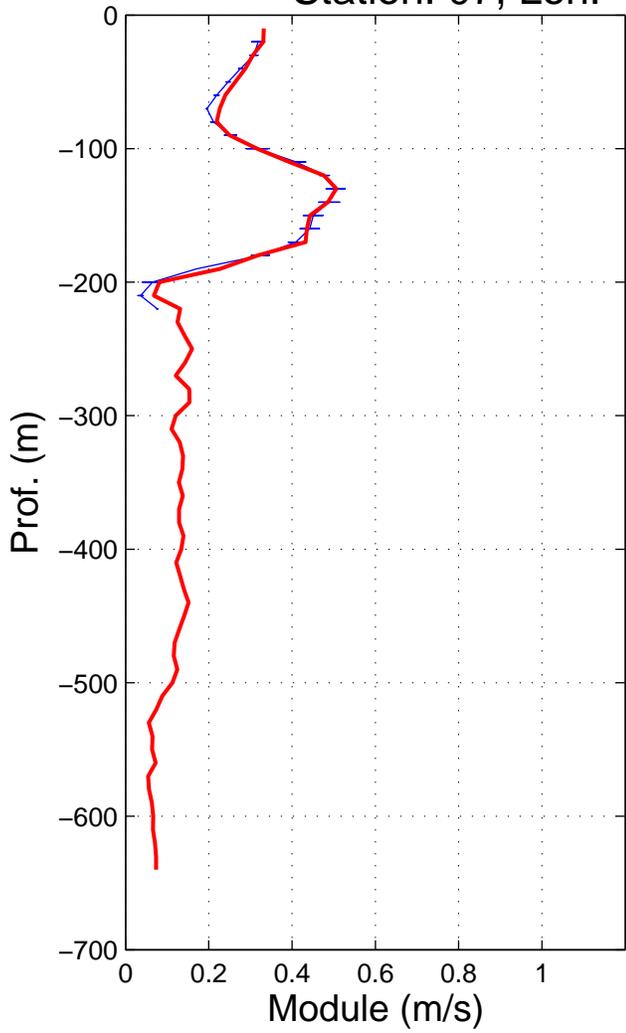
Station: 05, Lon: 164.99°, Lat: -4.00°



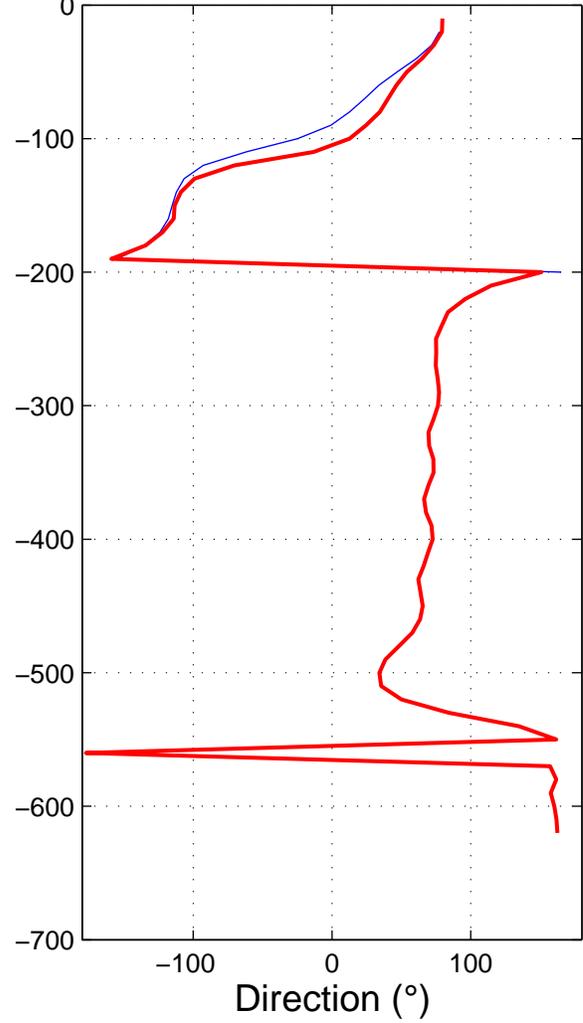
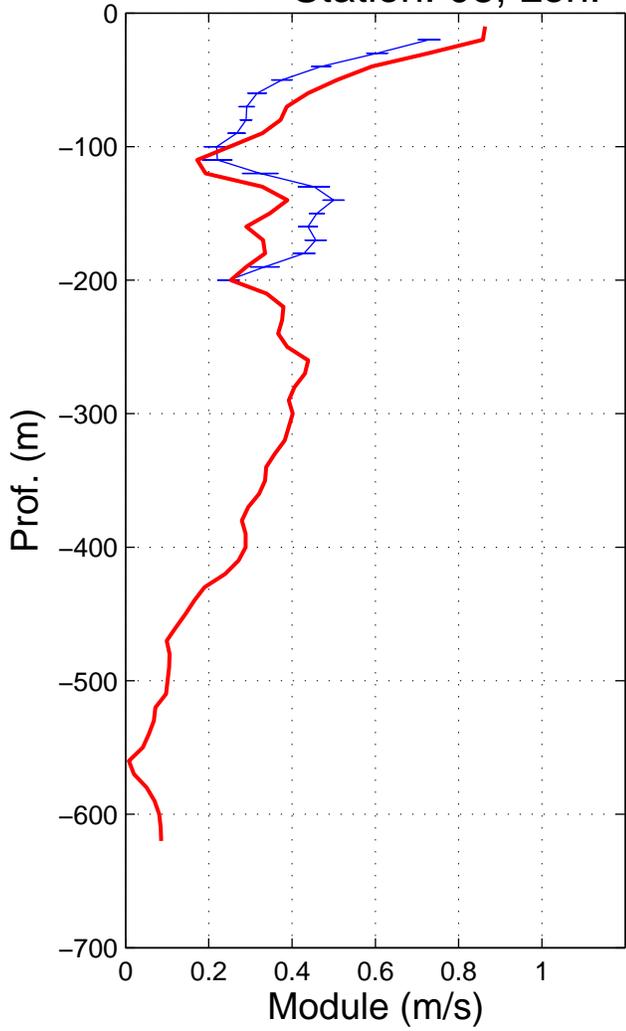
Station: 06, Lon: 165.00°, Lat: -3.49°



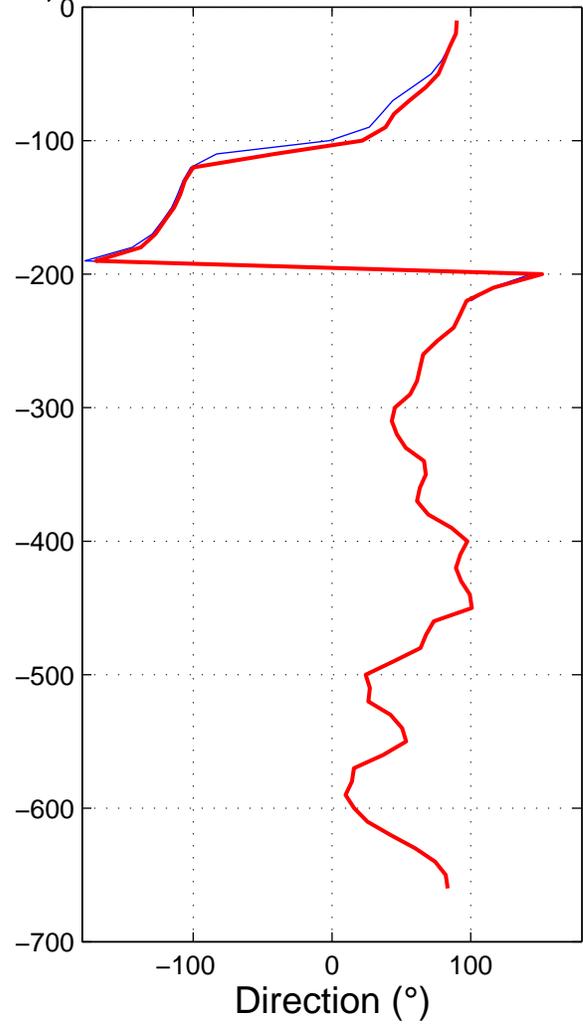
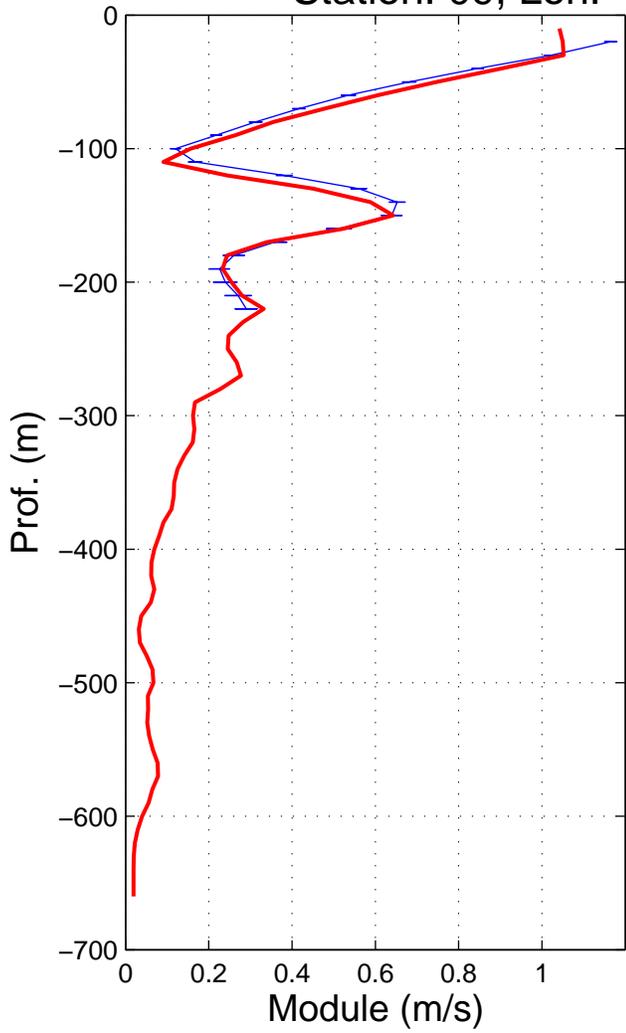
Station: 07, Lon: 165.01°, Lat: -2.99°



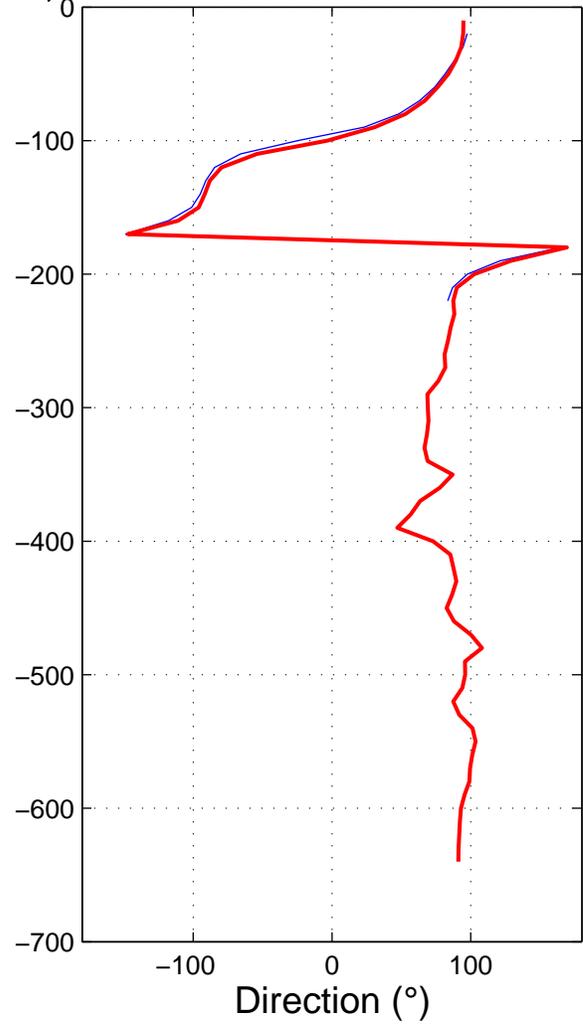
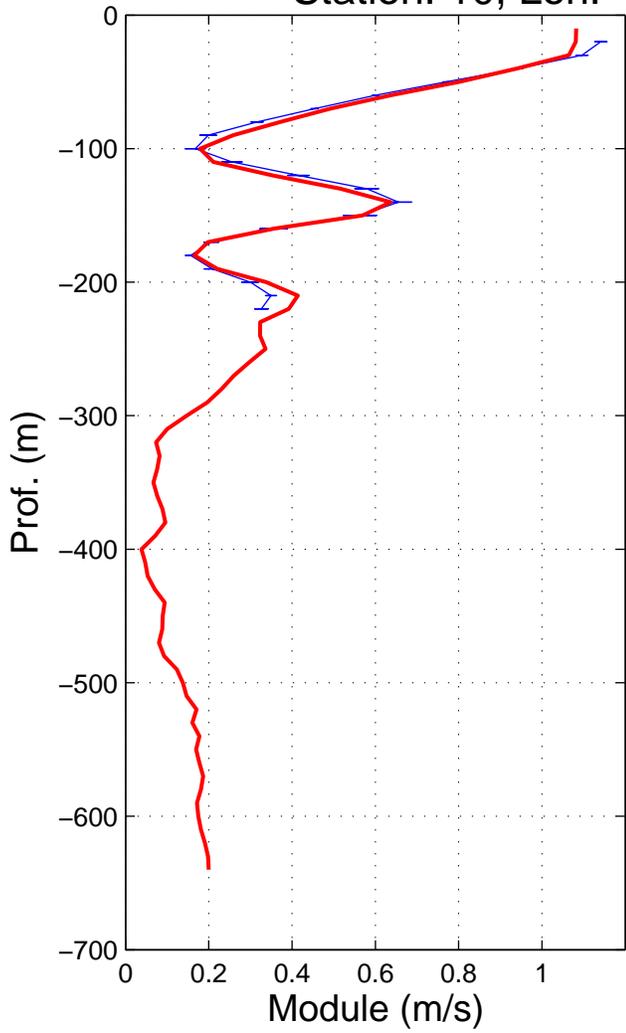
Station: 08, Lon: 165.02°, Lat: -2.50°



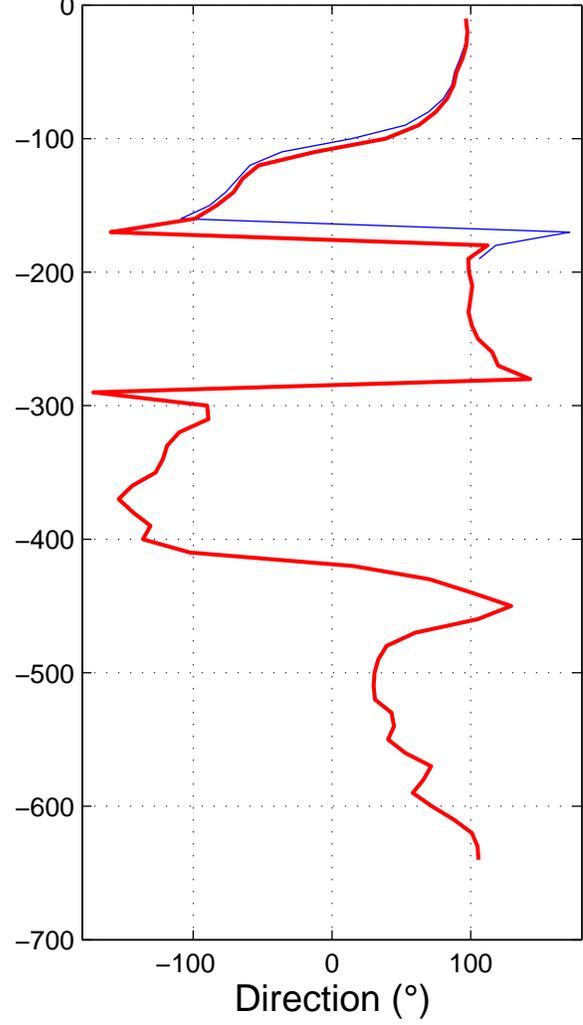
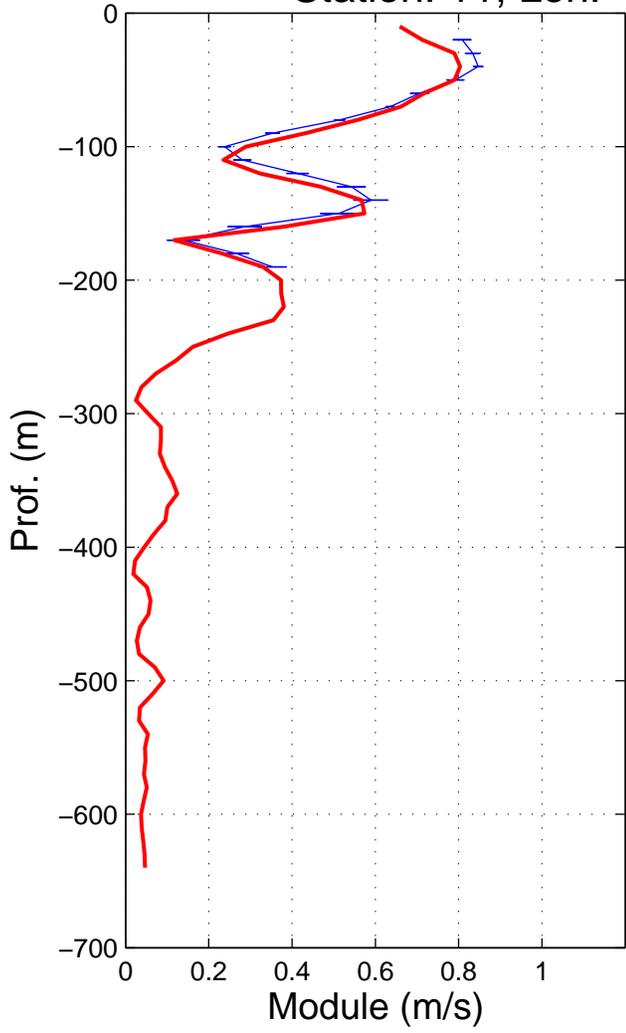
Station: 09, Lon: 165.03°, Lat: -2.01°



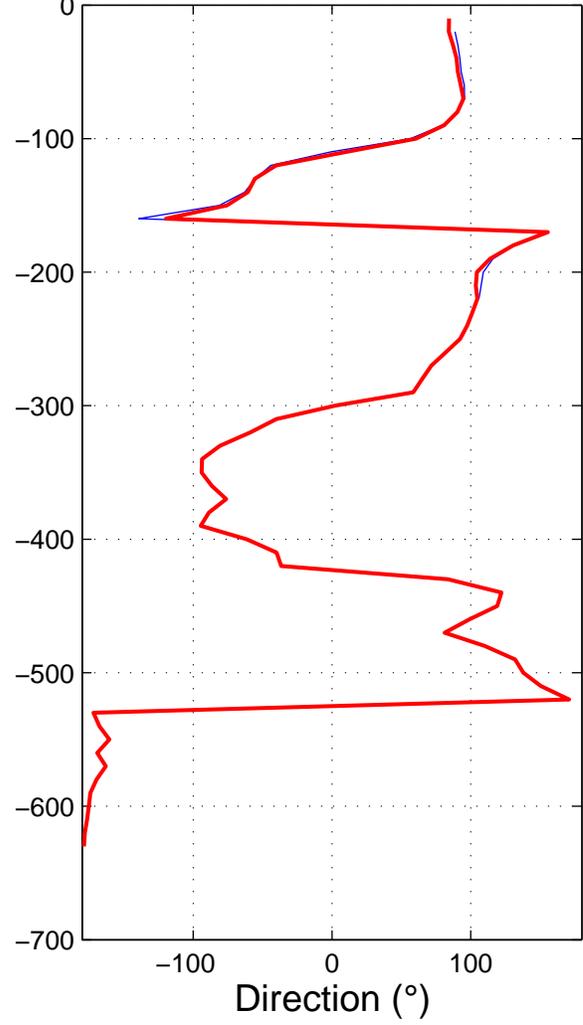
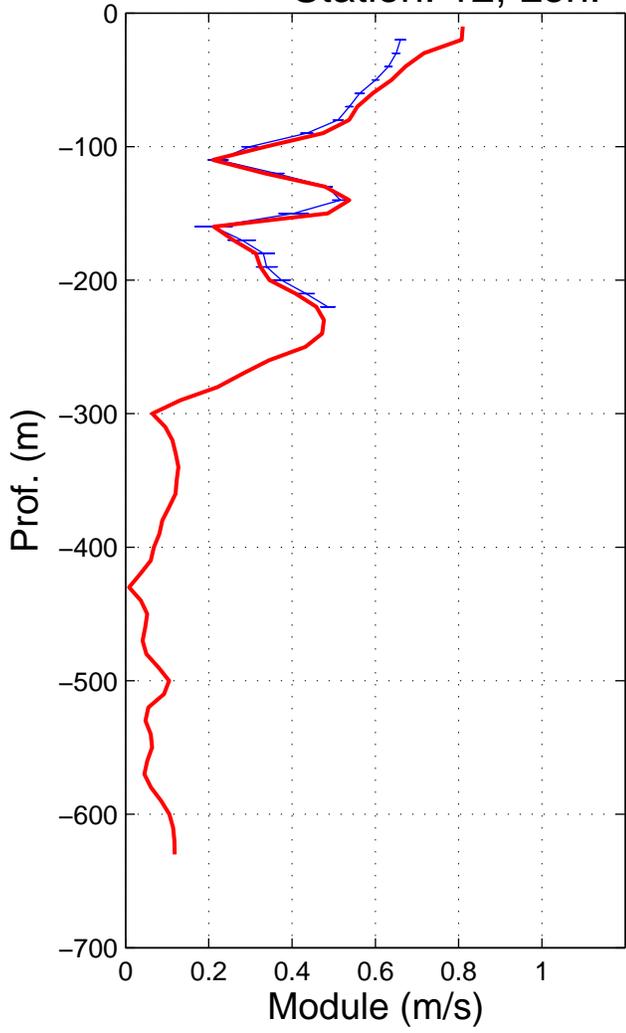
Station: 10, Lon: 165.02°, Lat: -1.51°



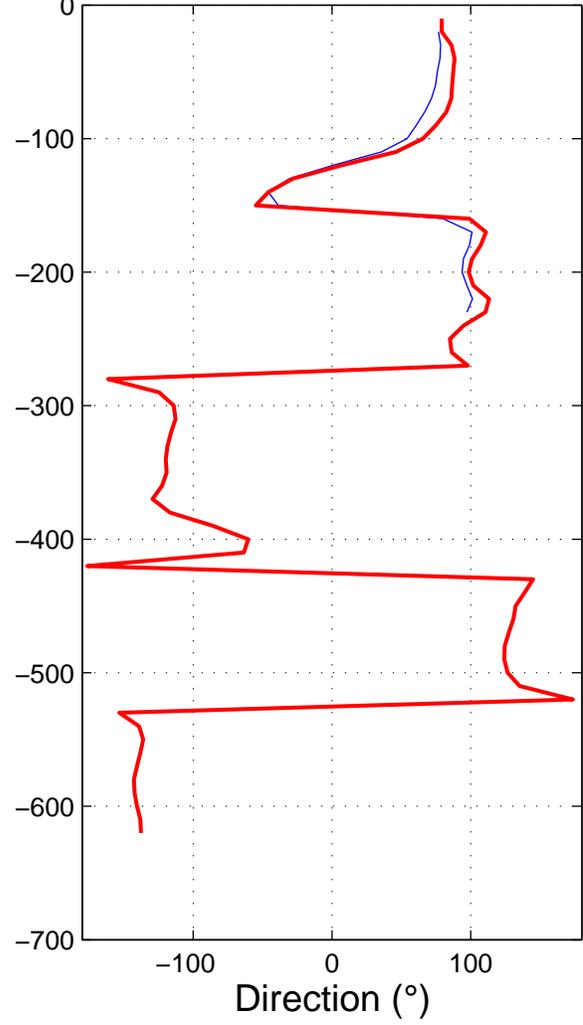
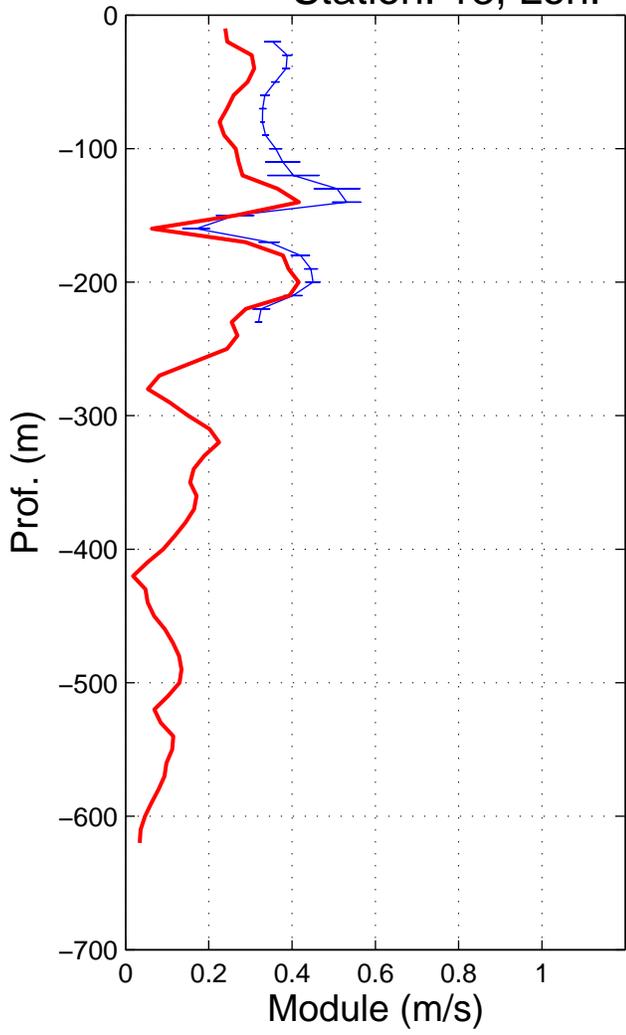
Station: 11, Lon: 165.00°, Lat: -1.01°



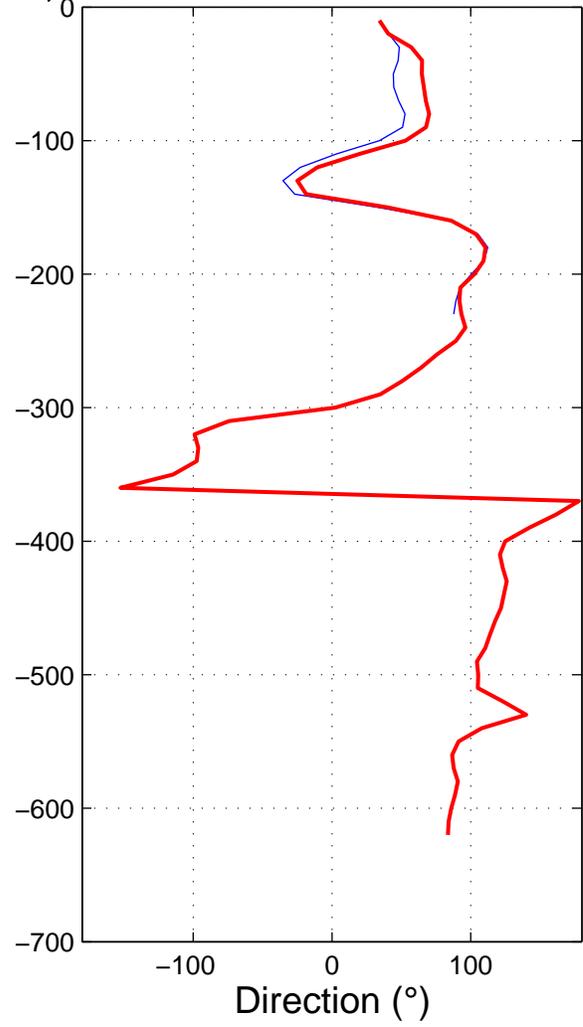
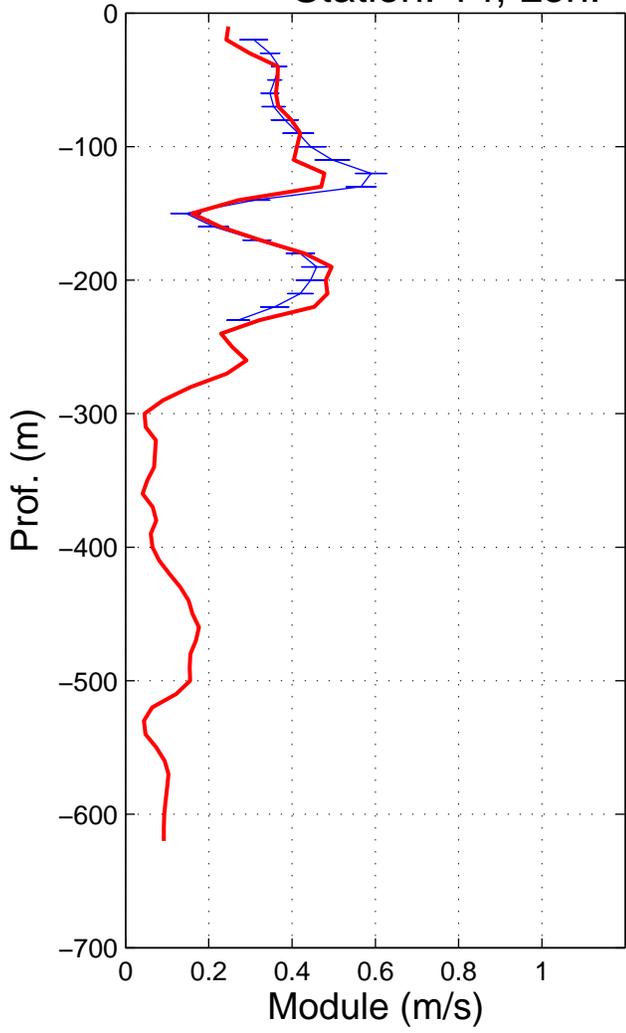
Station: 12, Lon: 165.01°, Lat: -0.50°



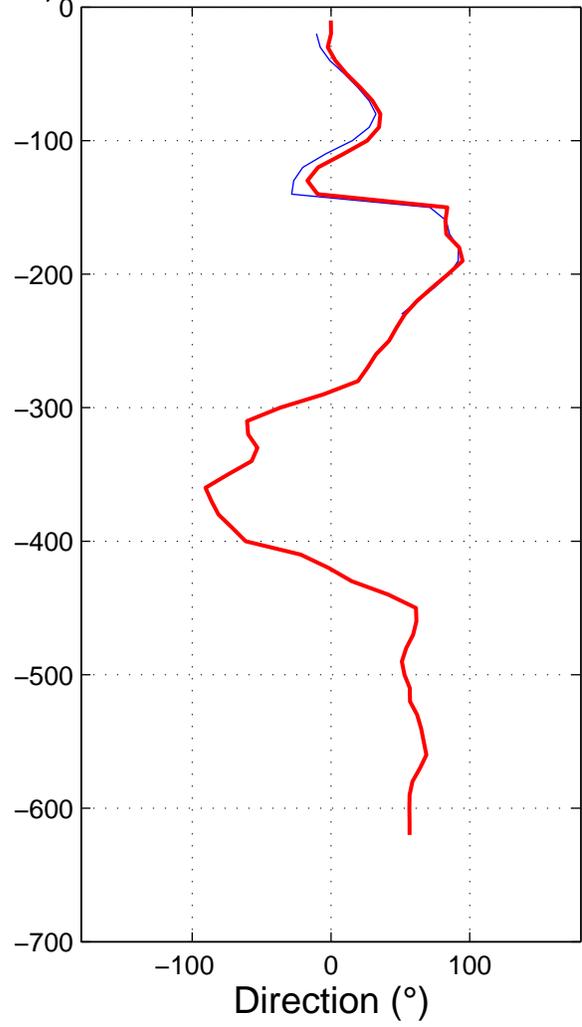
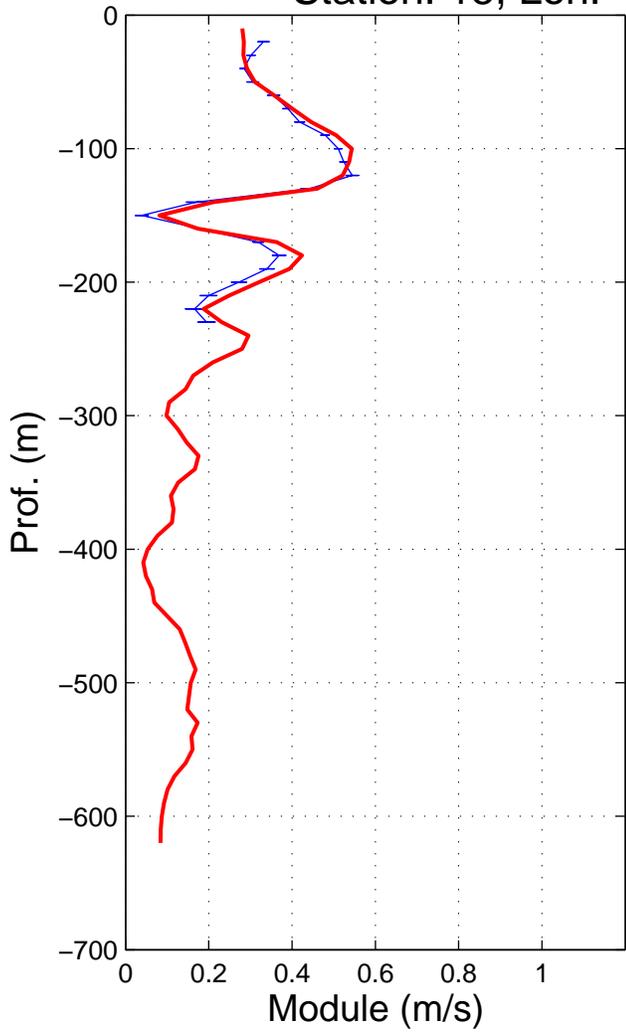
Station: 13, Lon: 165.02°, Lat: 0.05°



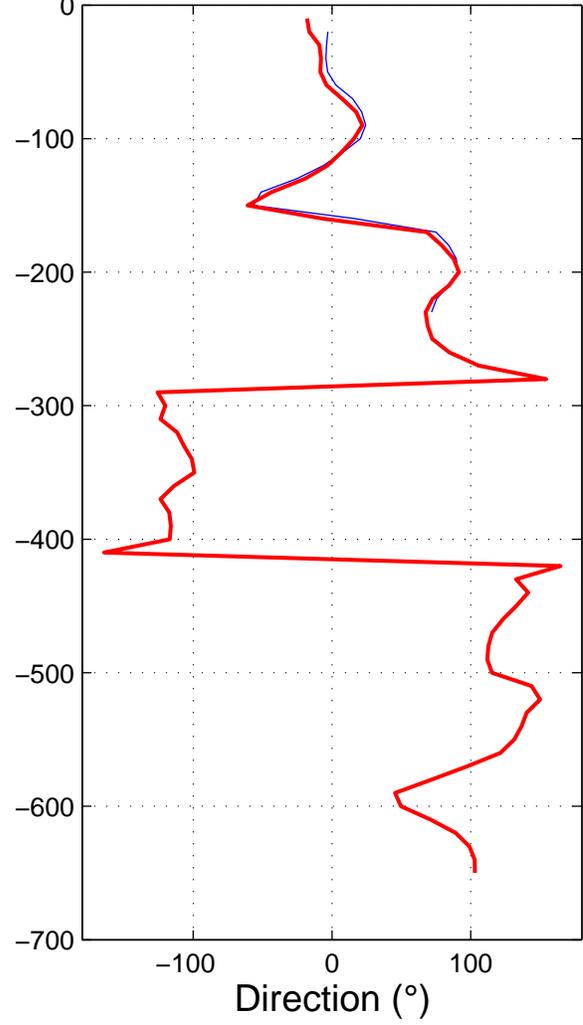
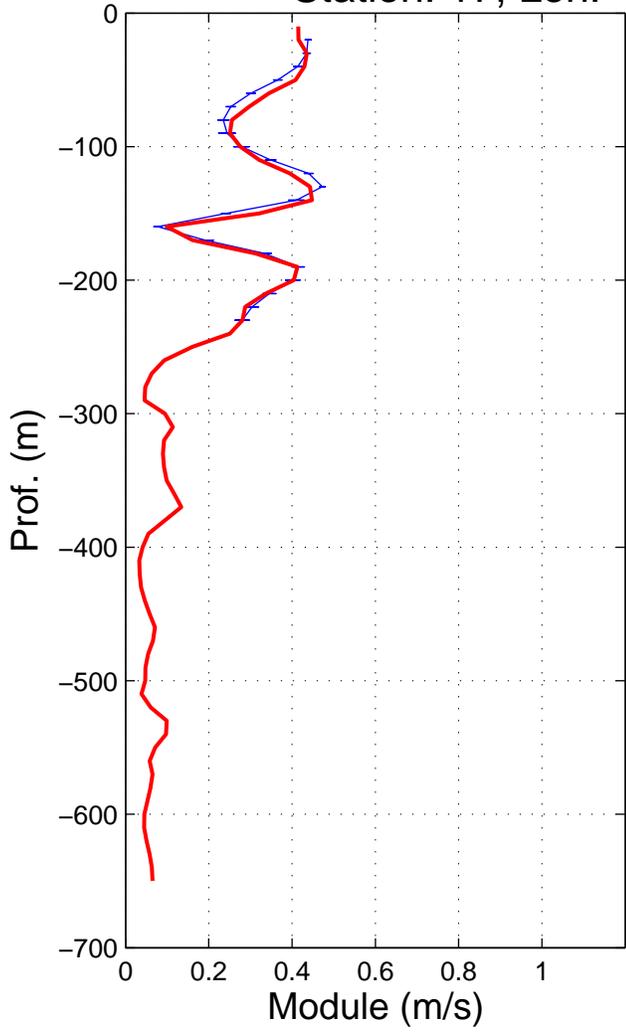
Station: 14, Lon: 164.99°, Lat: 0.51°



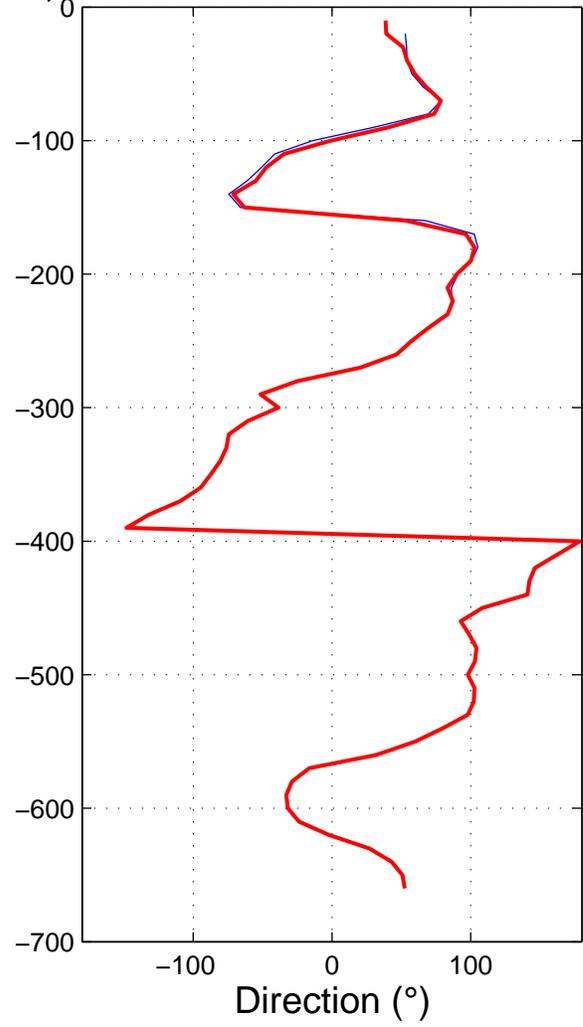
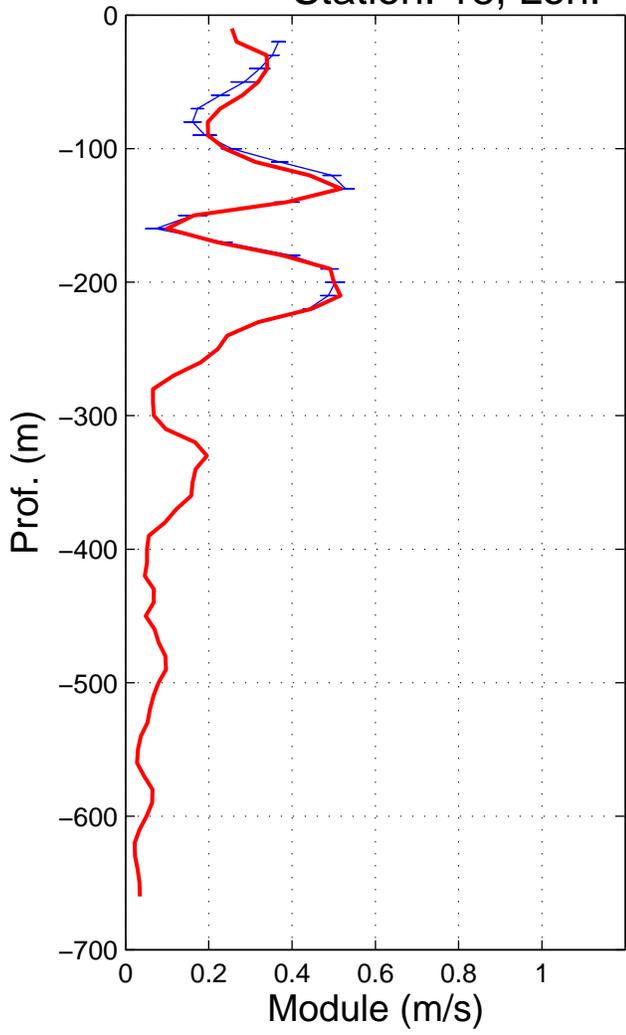
Station: 15, Lon: 165.00°, Lat: 1.01°



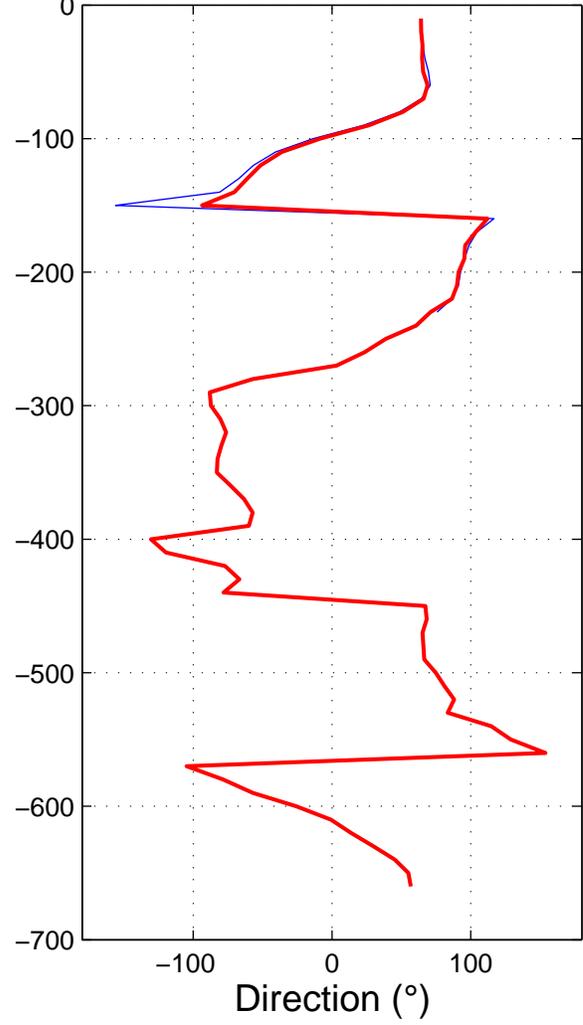
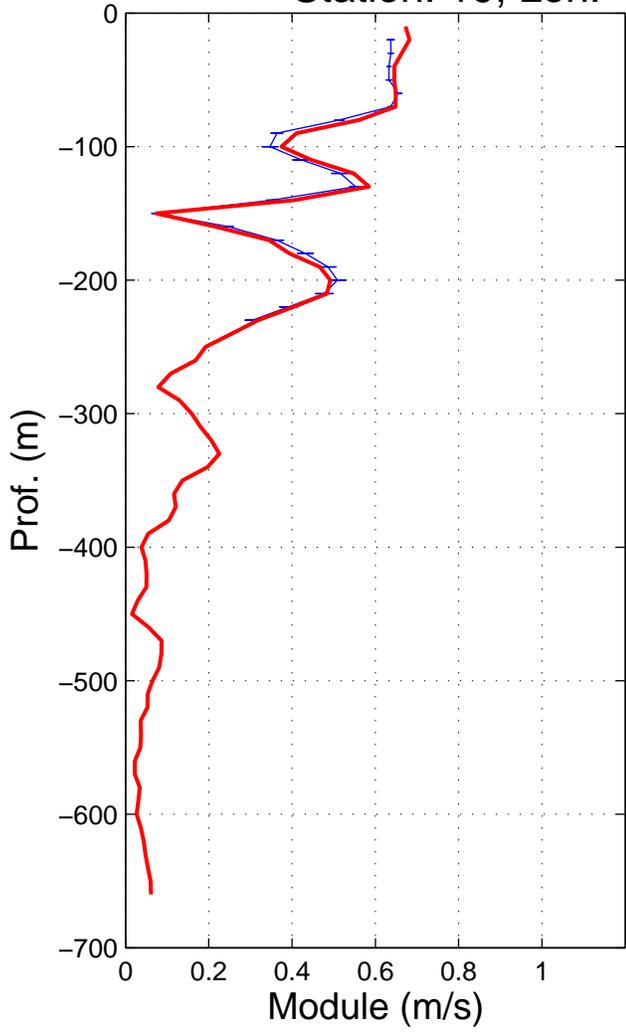
Station: 17, Lon: 165.65°, Lat: 1.00°



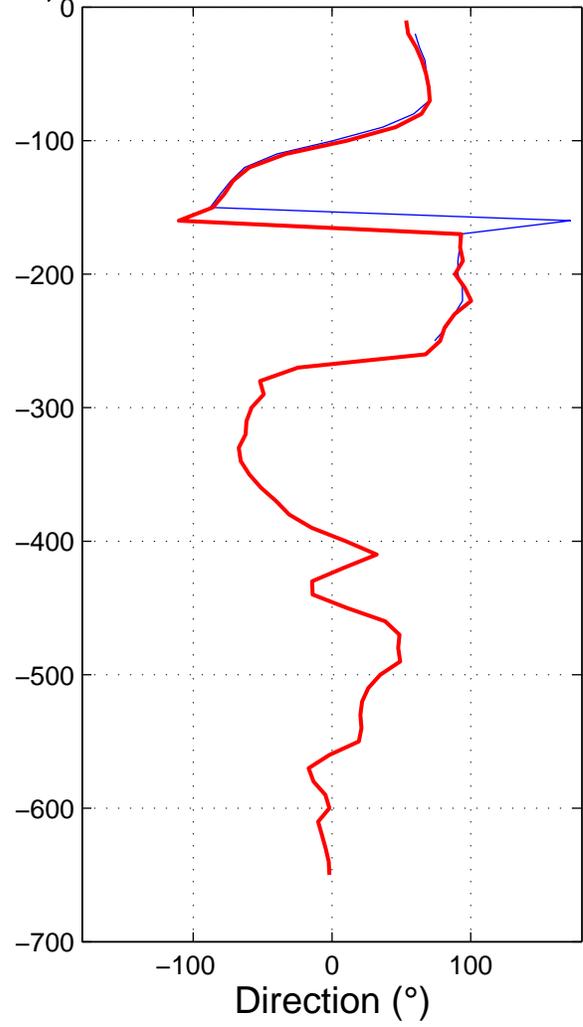
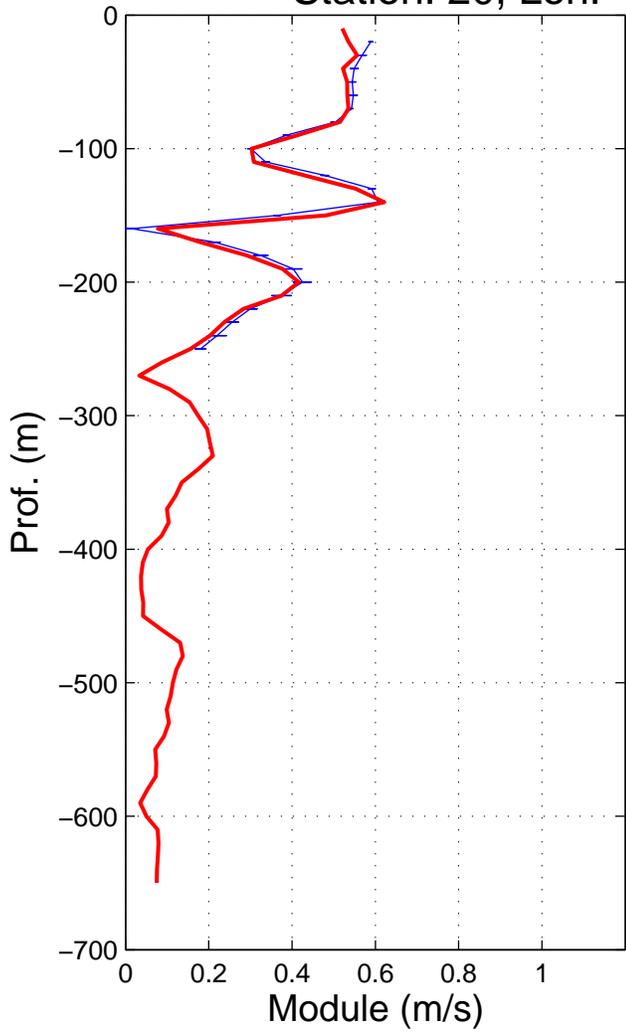
Station: 18, Lon: 166.31°, Lat: 0.51°



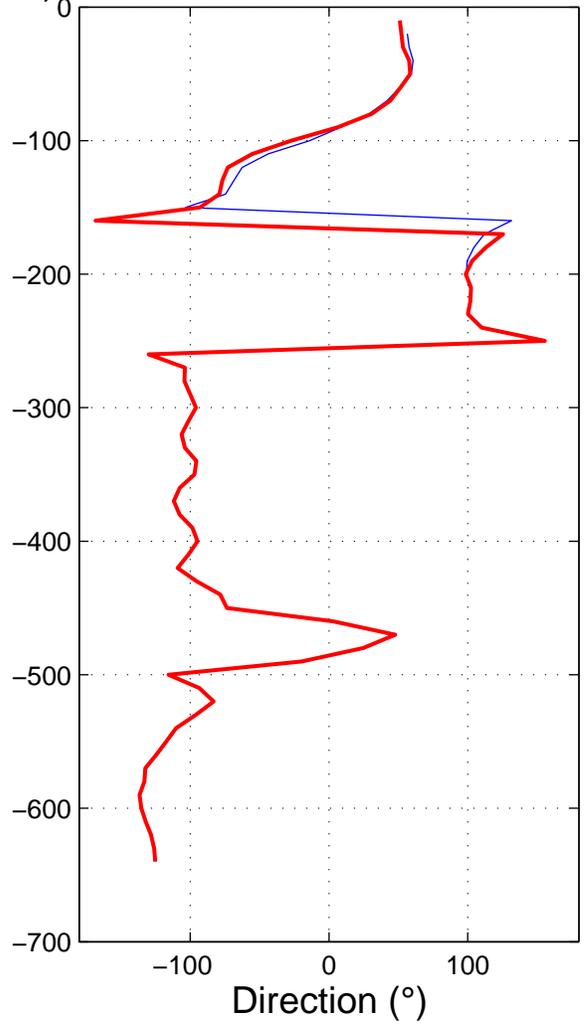
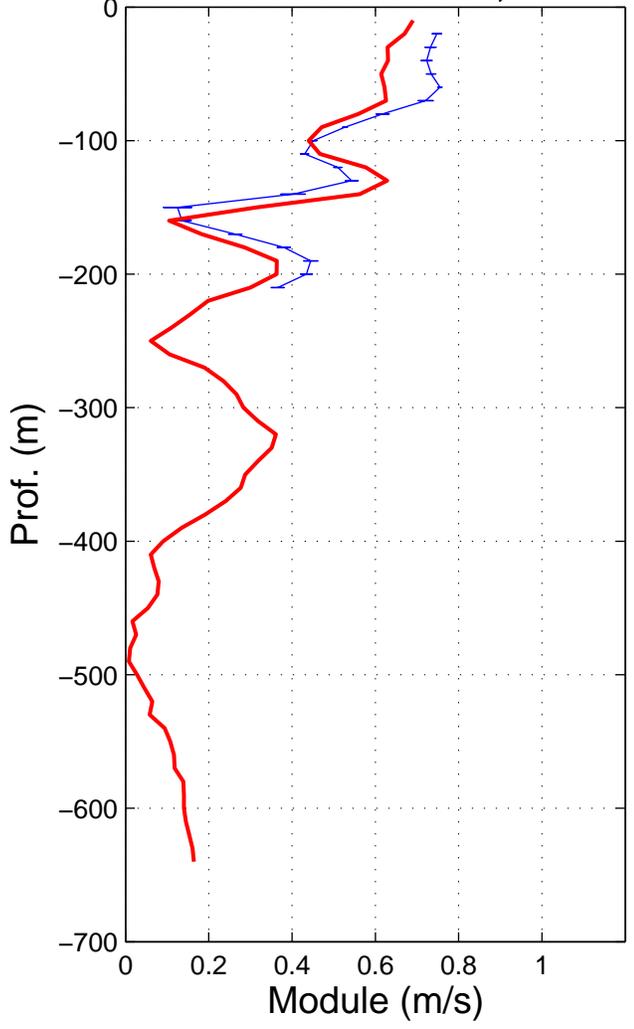
Station: 19, Lon: 167.01°, Lat: 0.00°



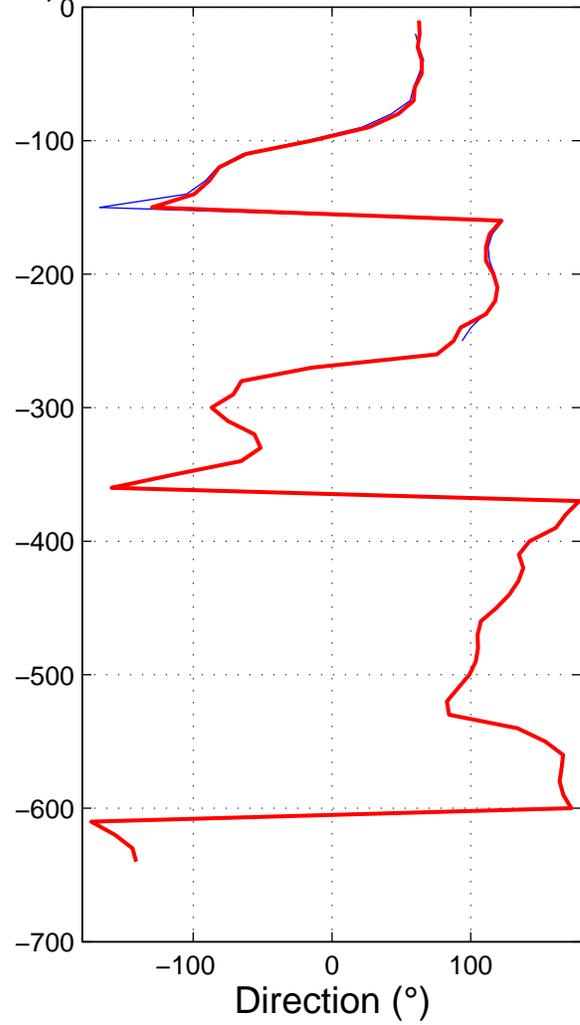
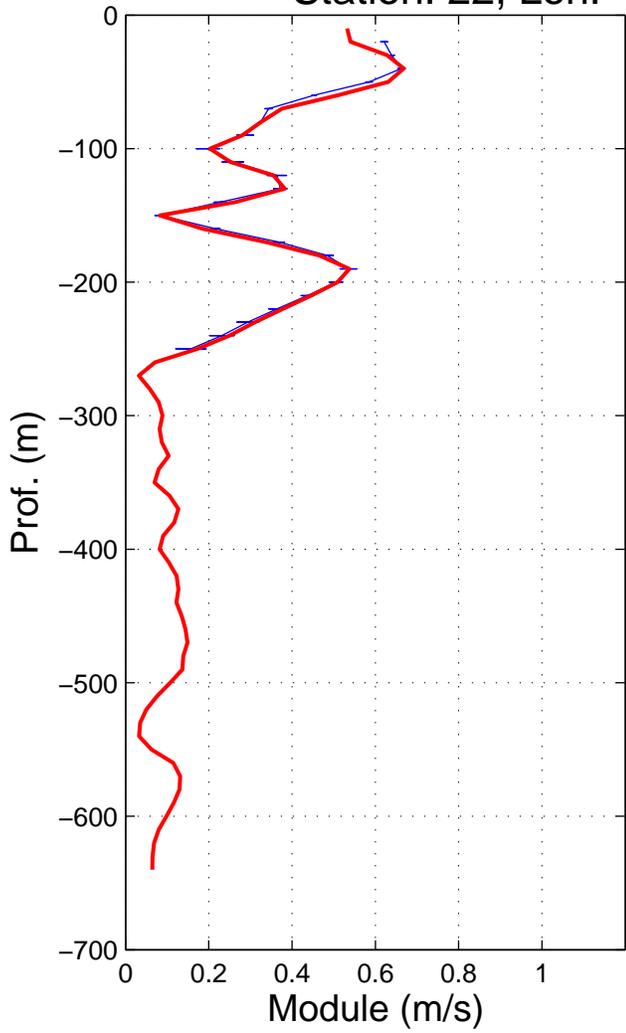
Station: 20, Lon: 168.04°, Lat: 0.00°



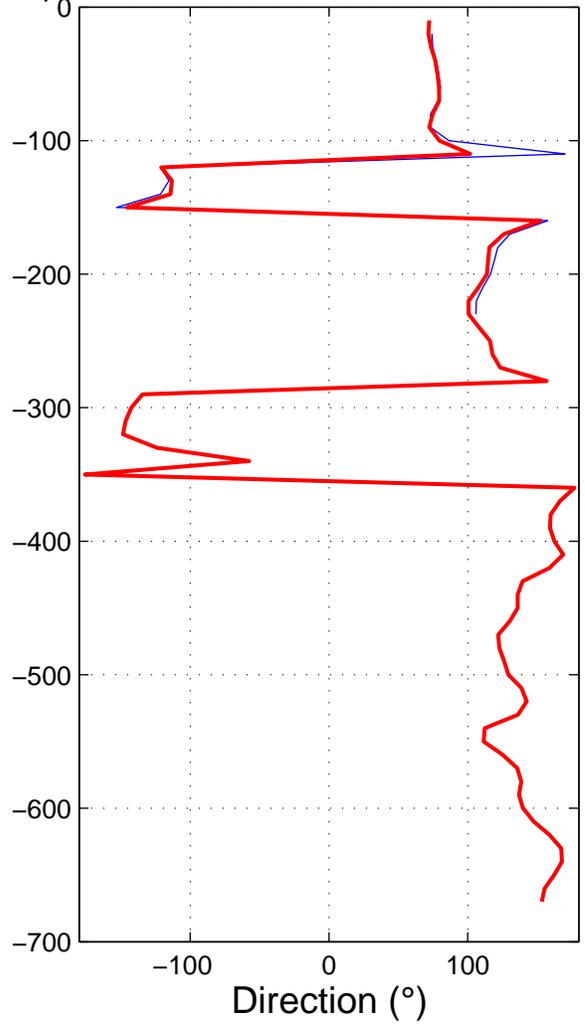
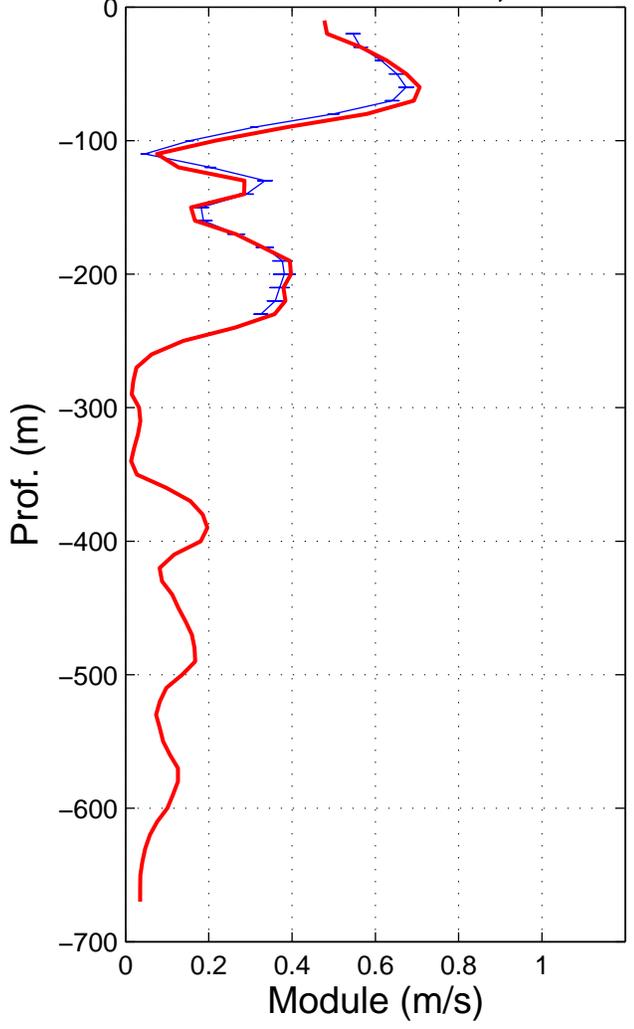
Station: 21, Lon: 169.10°, Lat: 0.01°



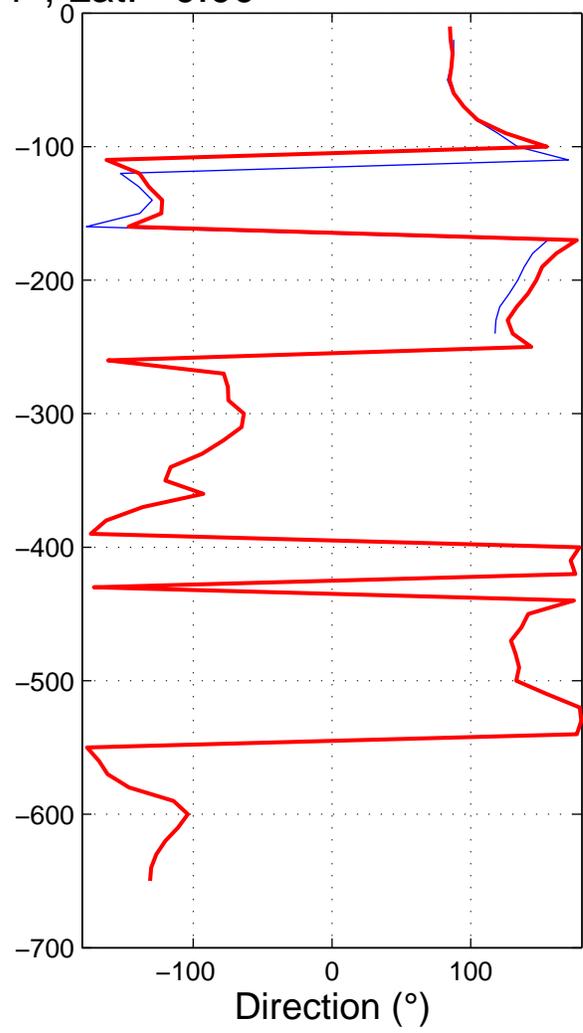
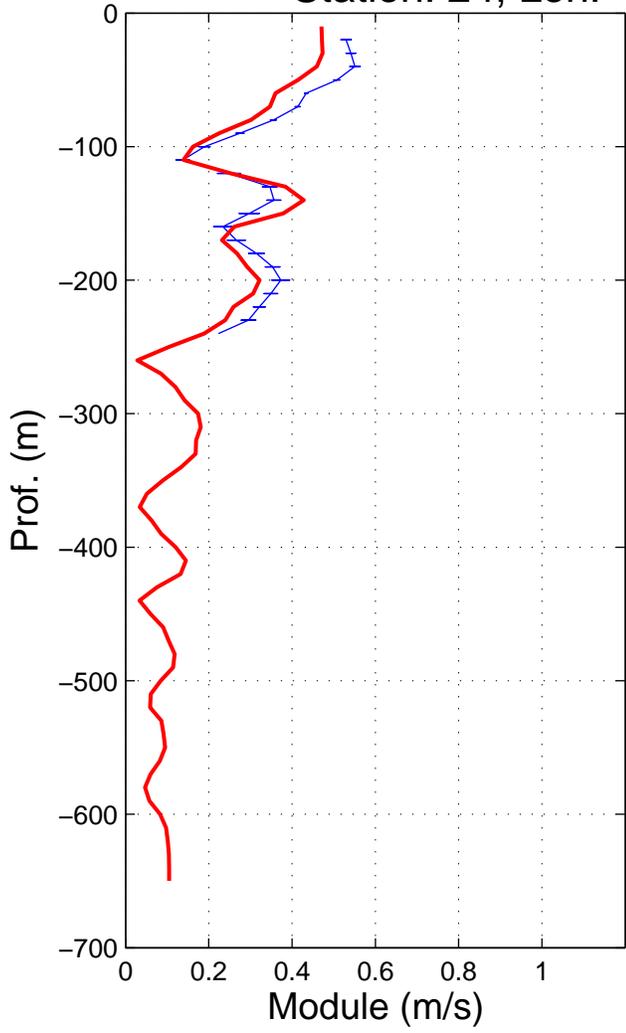
Station: 22, Lon: 170.33°, Lat: 0.01°



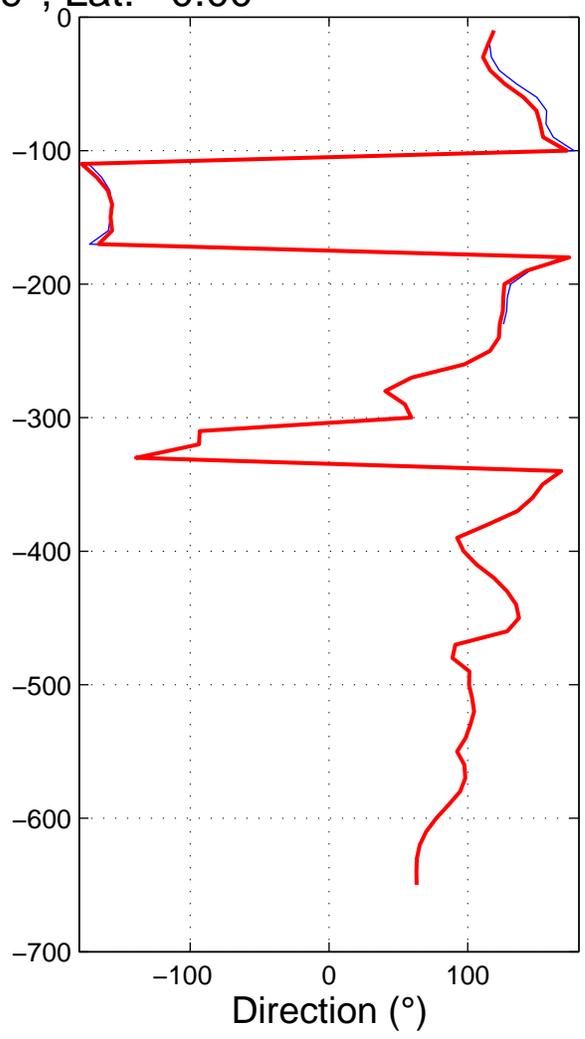
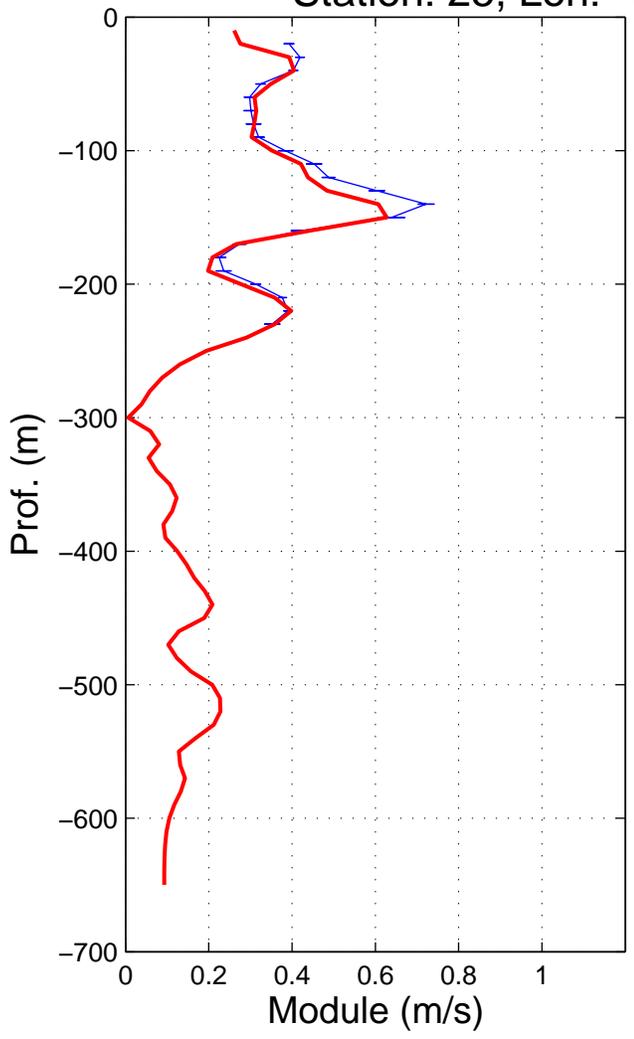
Station: 23, Lon: 171.00°, Lat: -0.00°



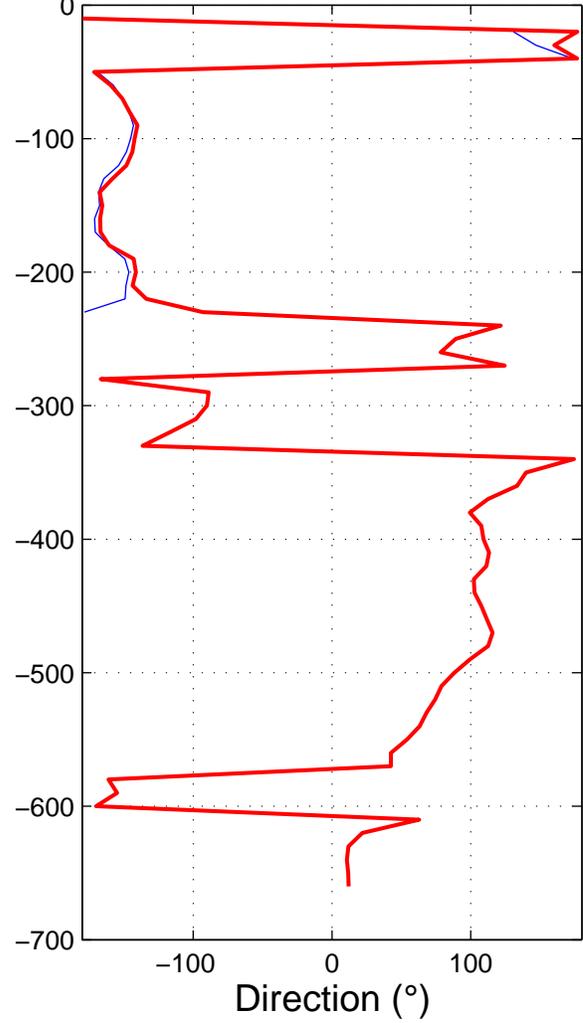
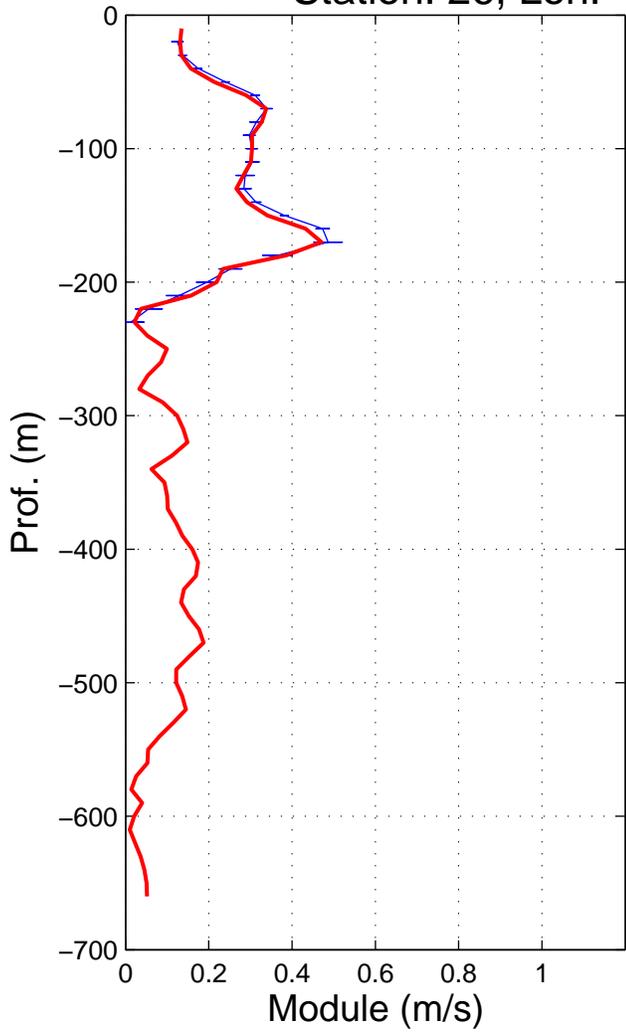
Station: 24, Lon: 172.01°, Lat: 0.00°



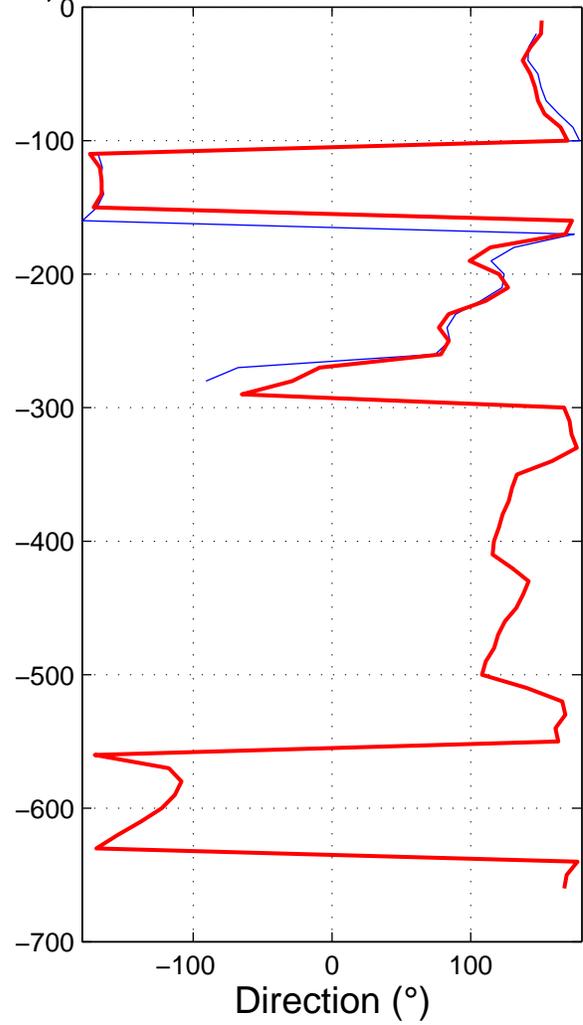
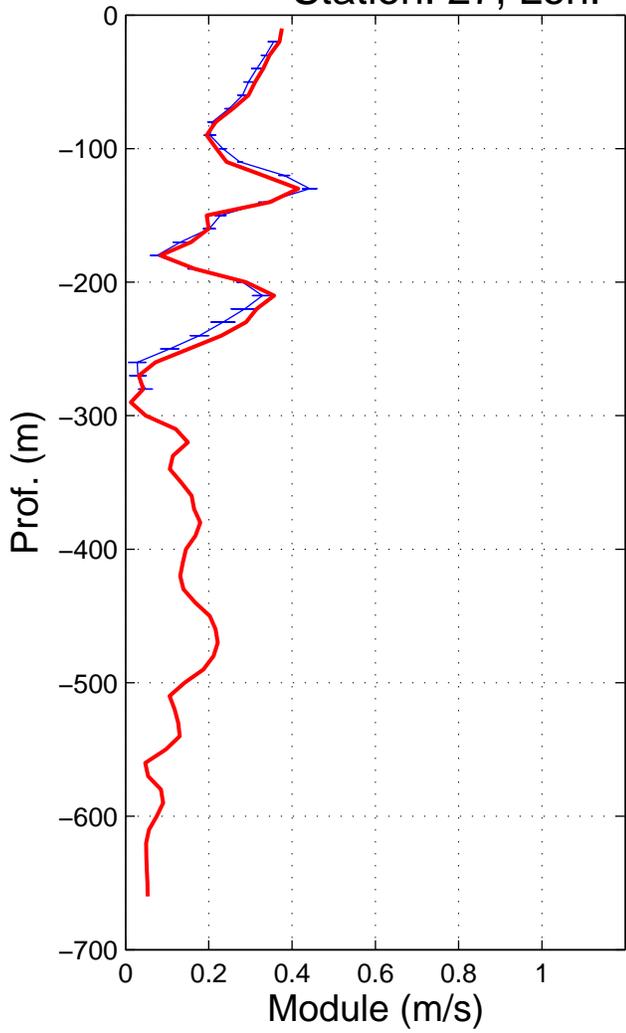
Station: 25, Lon: 172.99°, Lat: 0.00°



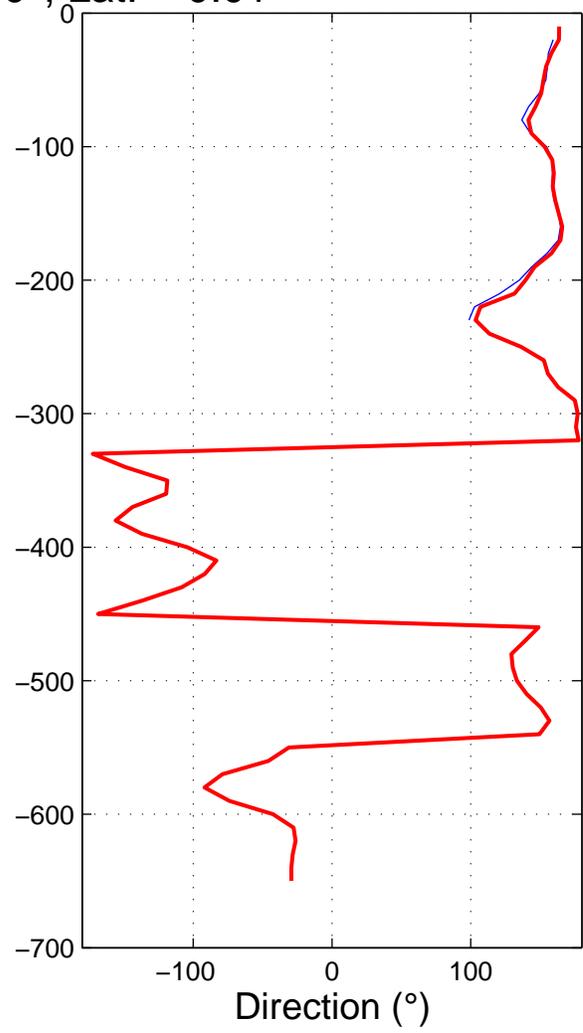
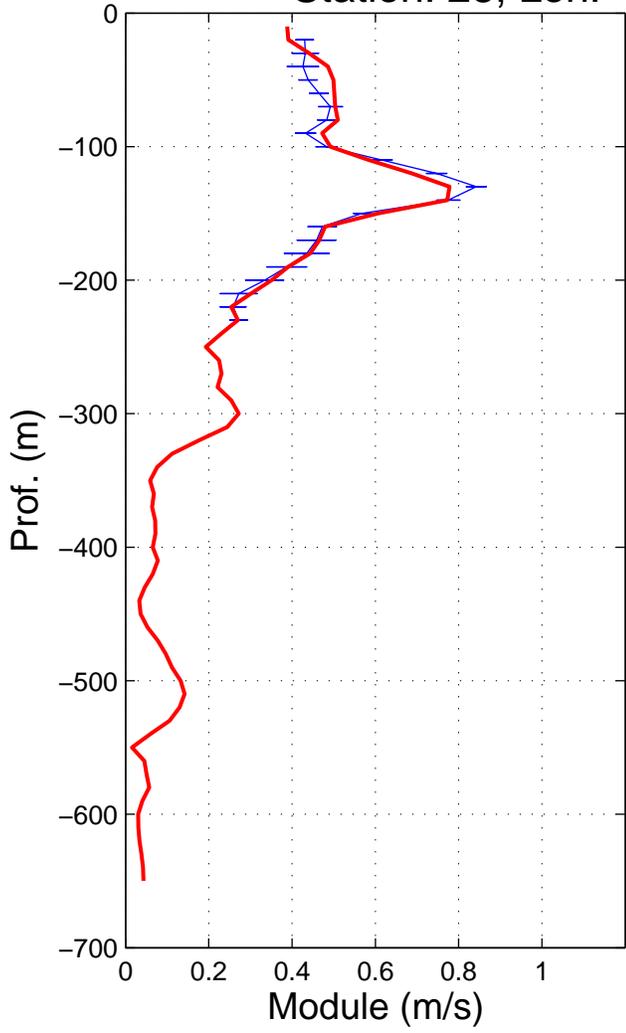
Station: 26, Lon: 174.00°, Lat: -0.00°



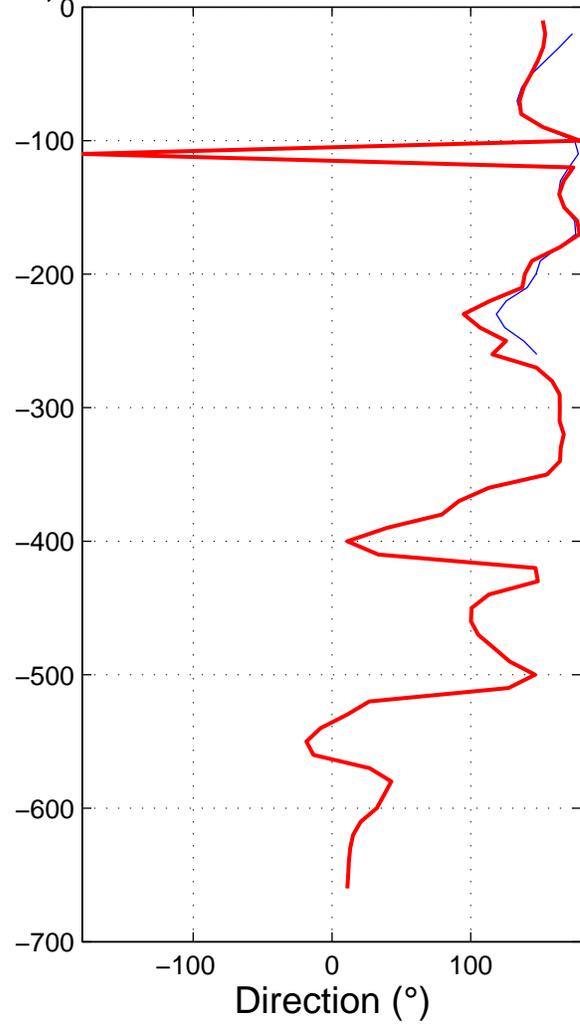
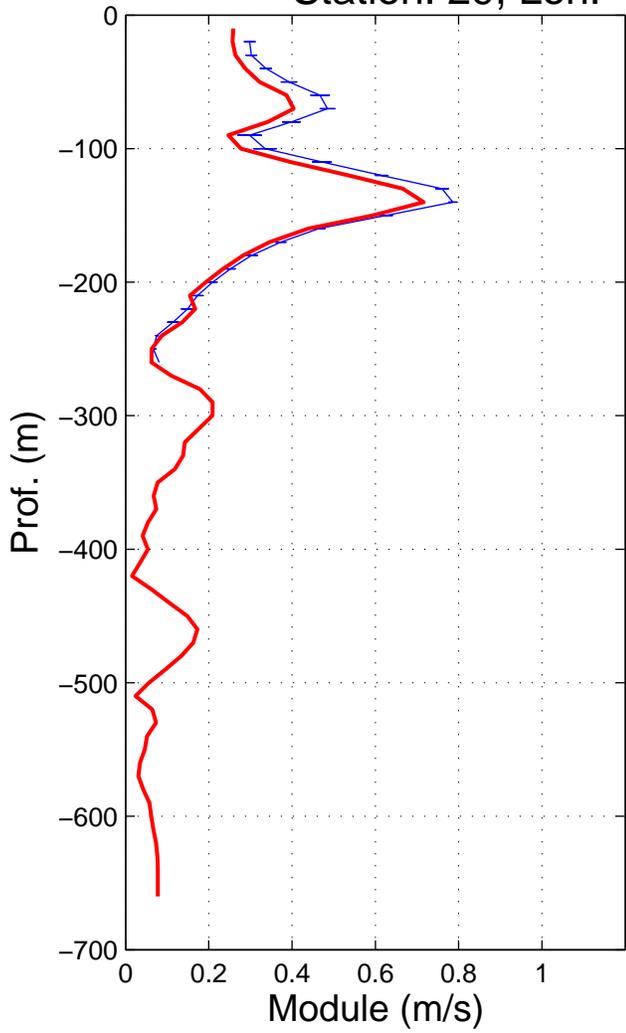
Station: 27, Lon: 175.01°, Lat: -0.01°



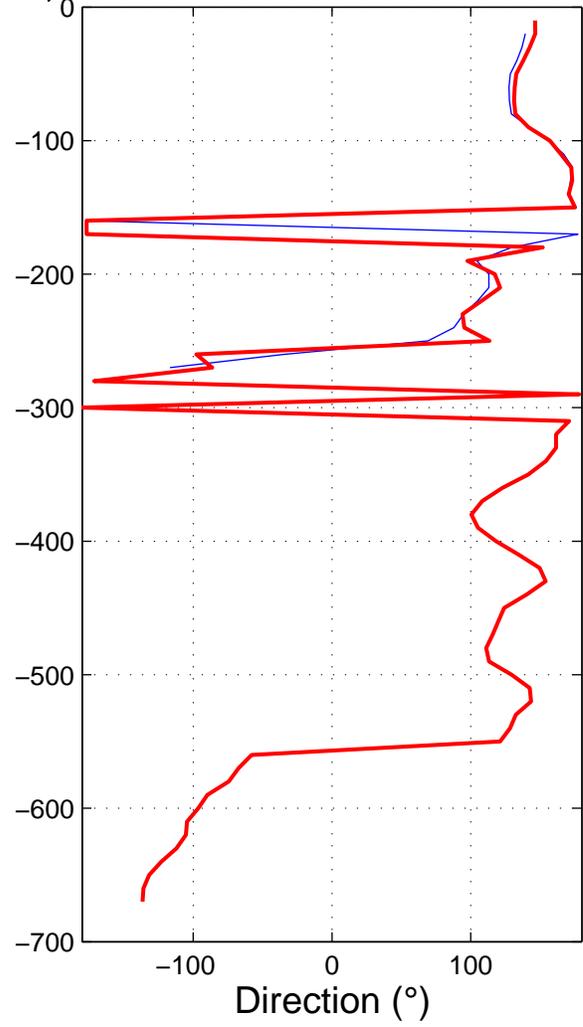
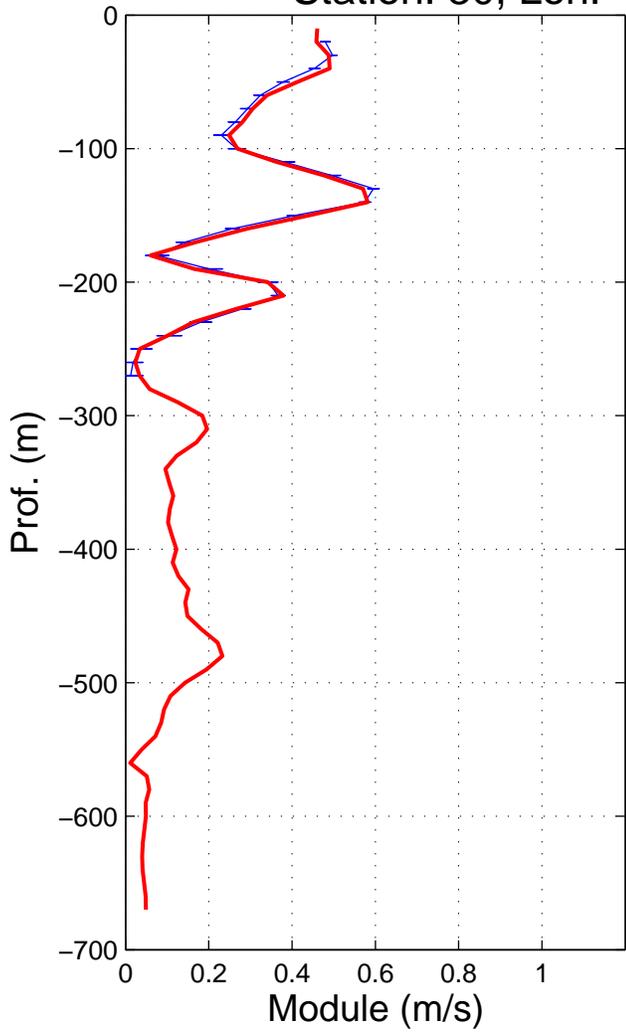
Station: 28, Lon: 176.00°, Lat: -0.01°



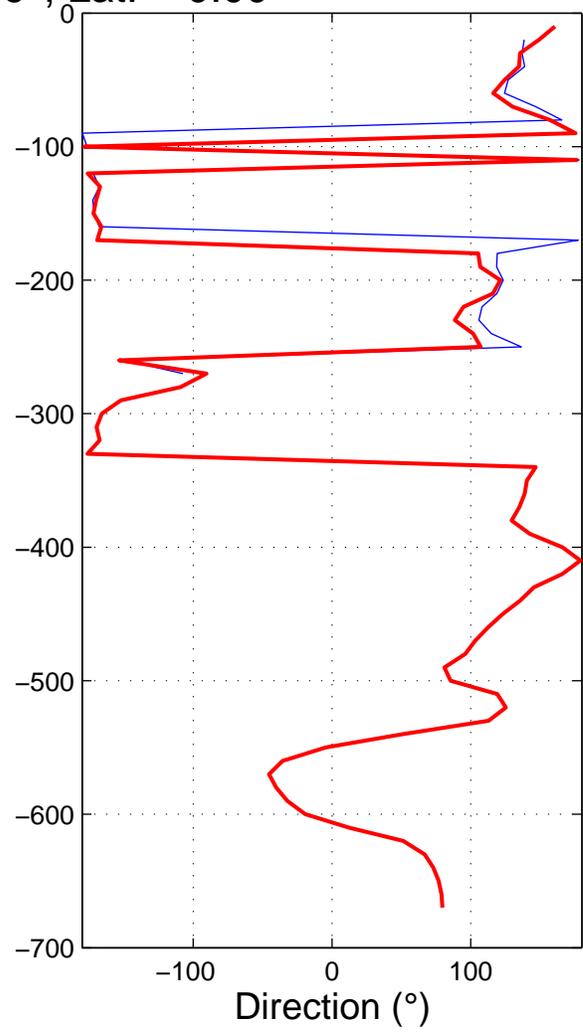
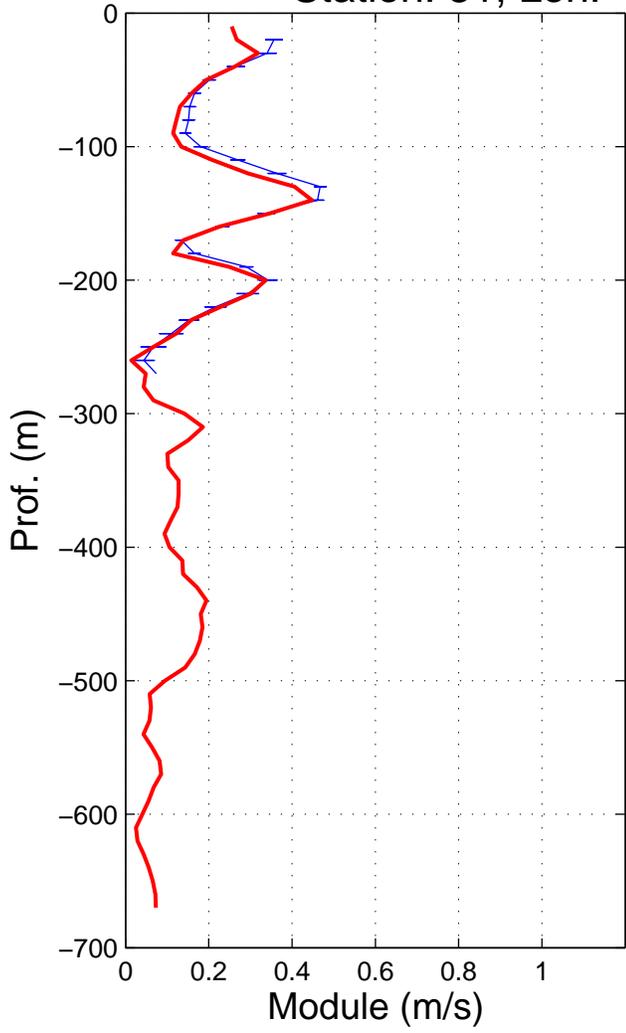
Station: 29, Lon: 175.68°, Lat: -0.01°



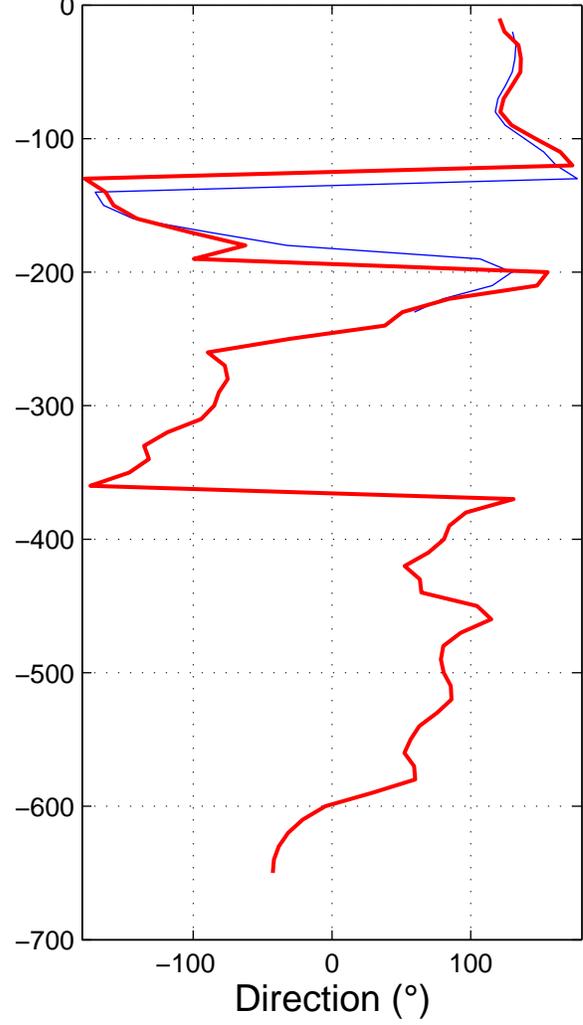
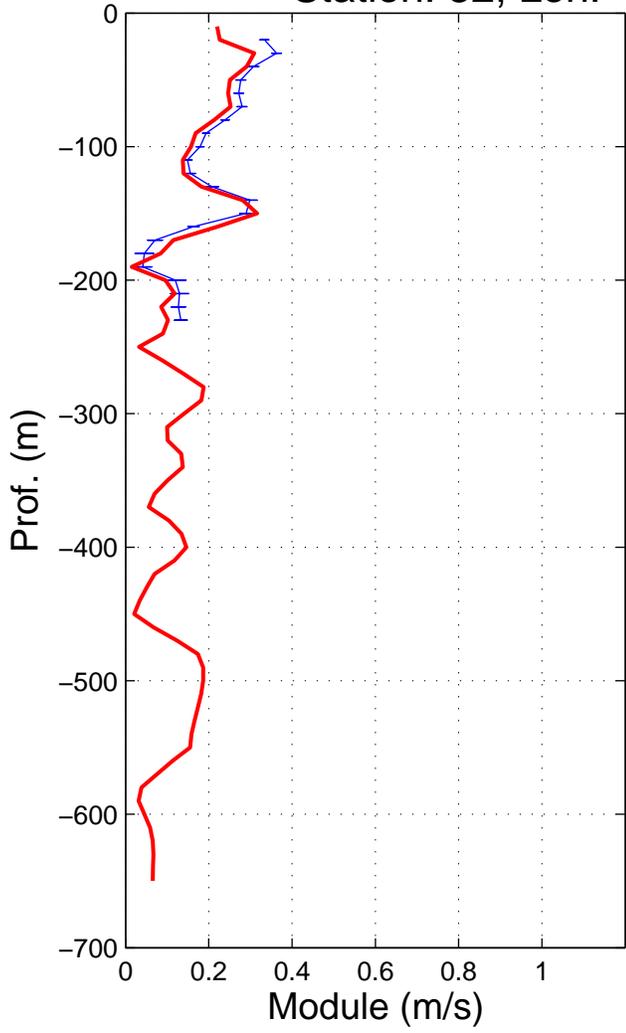
Station: 30, Lon: 175.34°, Lat: -0.01°



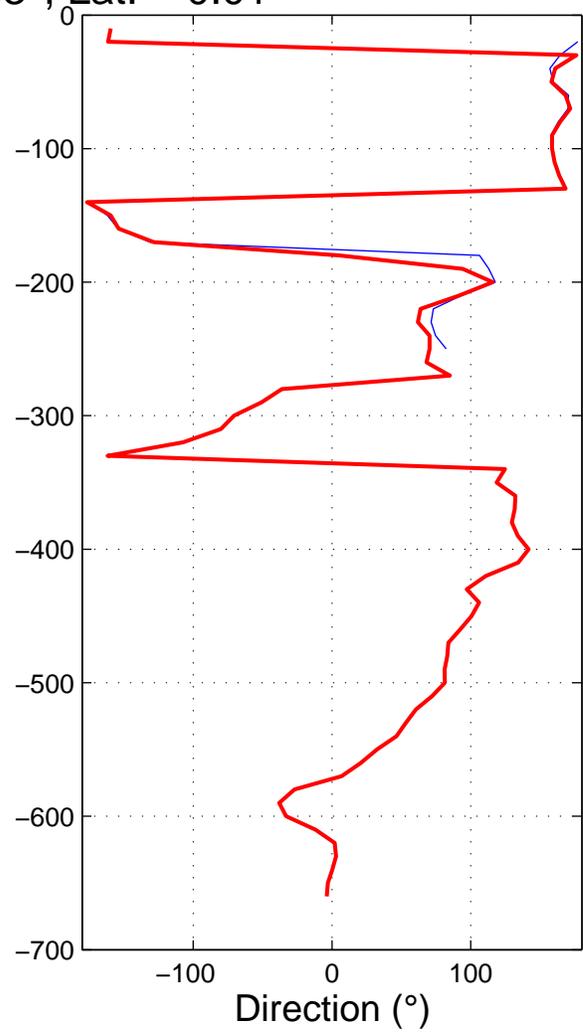
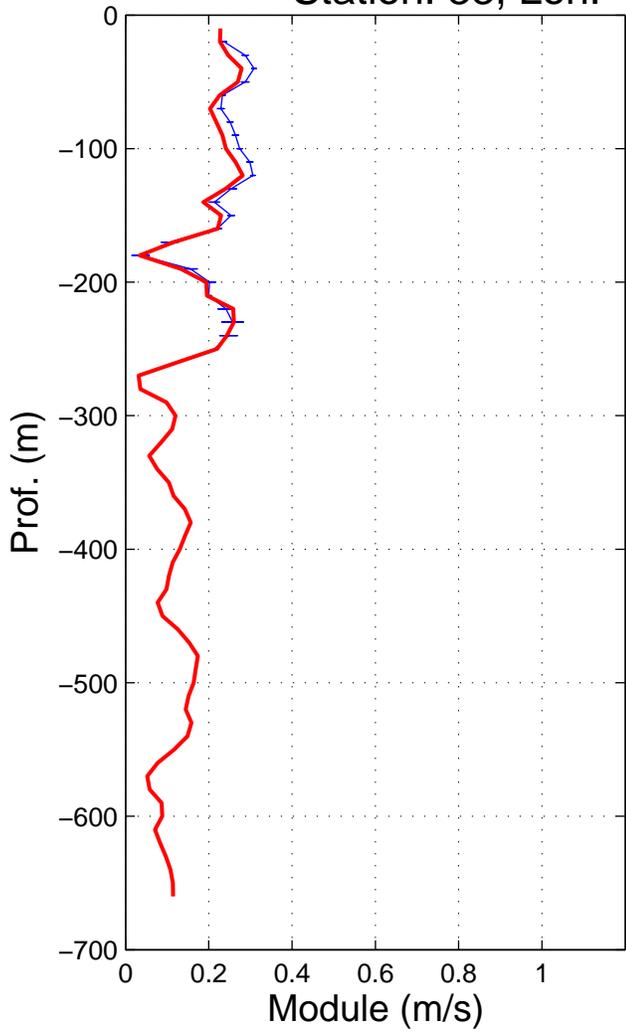
Station: 31, Lon: 174.99°, Lat: -0.00°



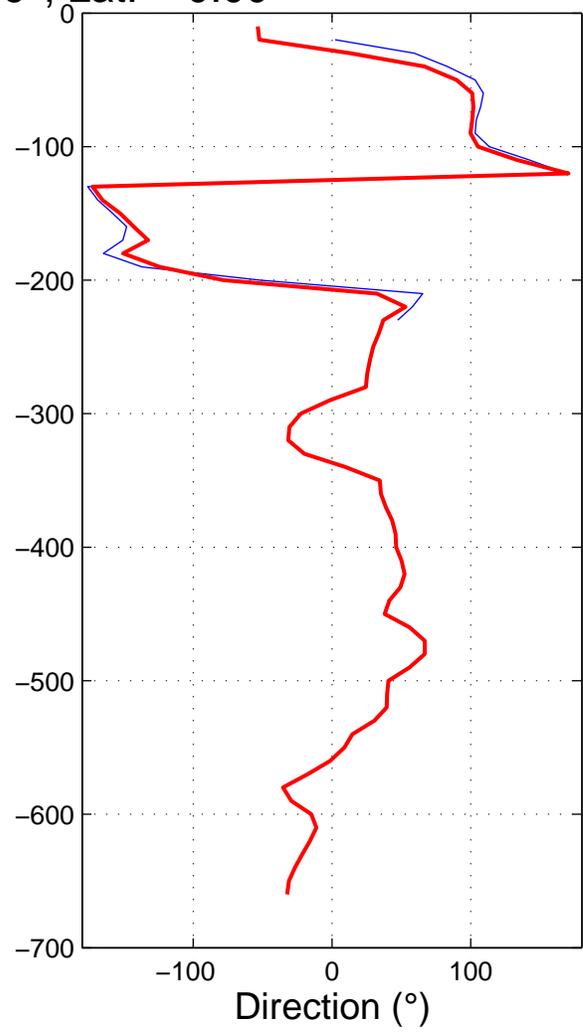
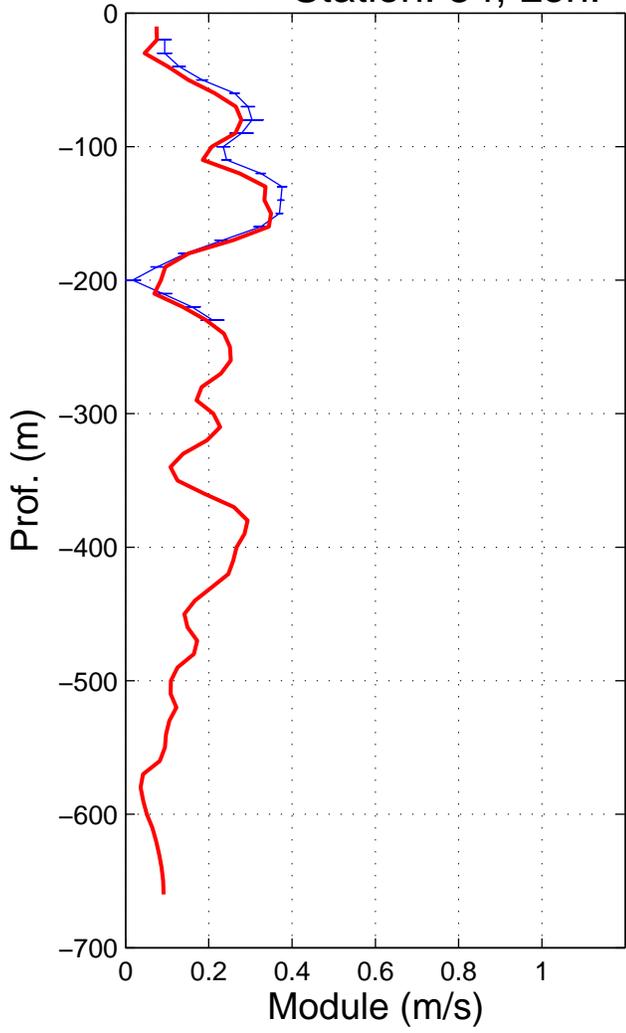
Station: 32, Lon: 174.67°, Lat: 0.00°



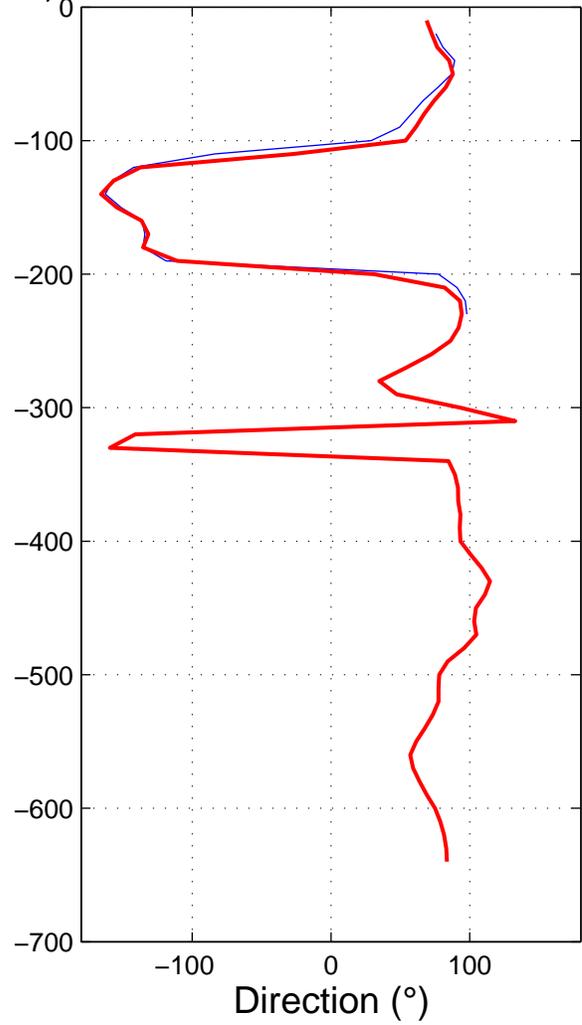
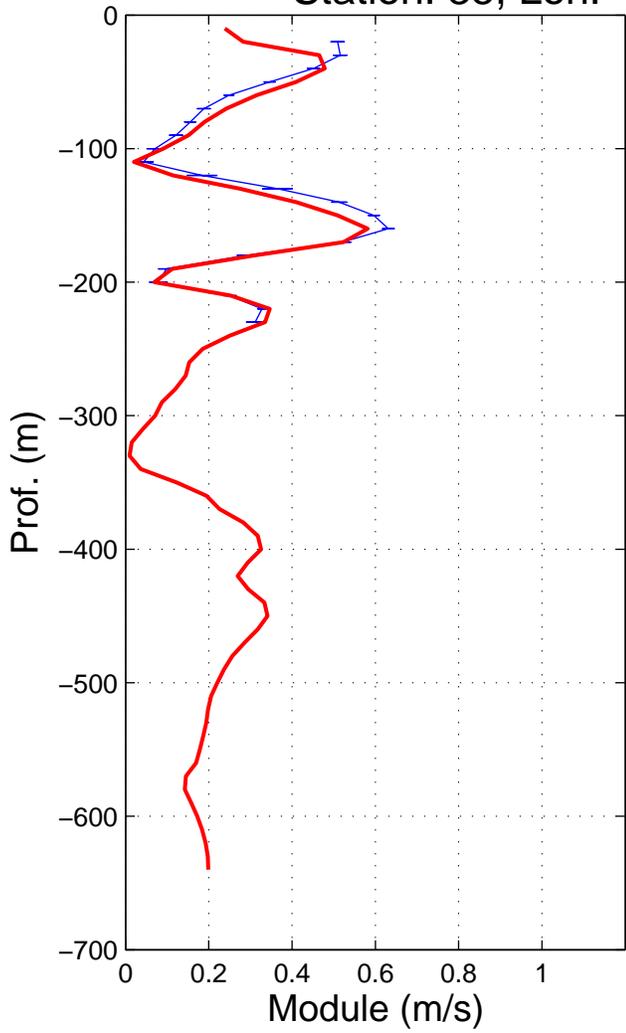
Station: 33, Lon: 174.33°, Lat: -0.01°



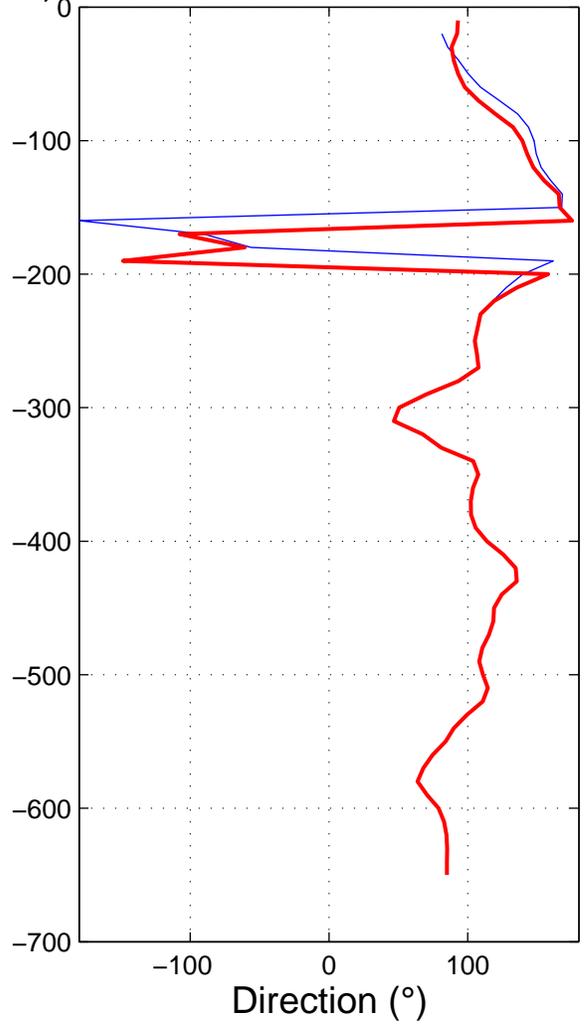
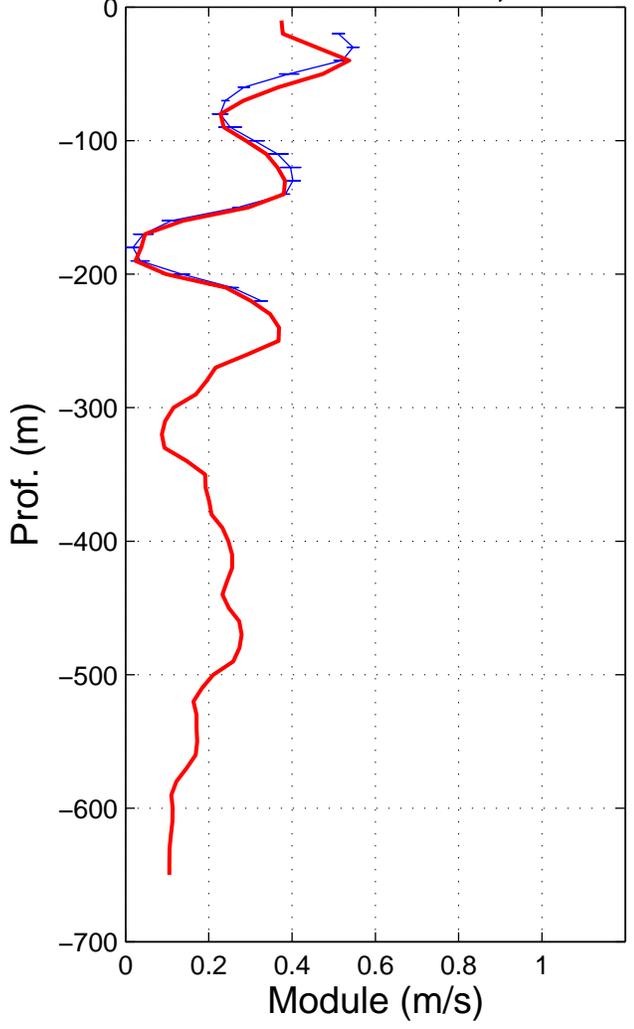
Station: 34, Lon: 173.99°, Lat: -0.00°



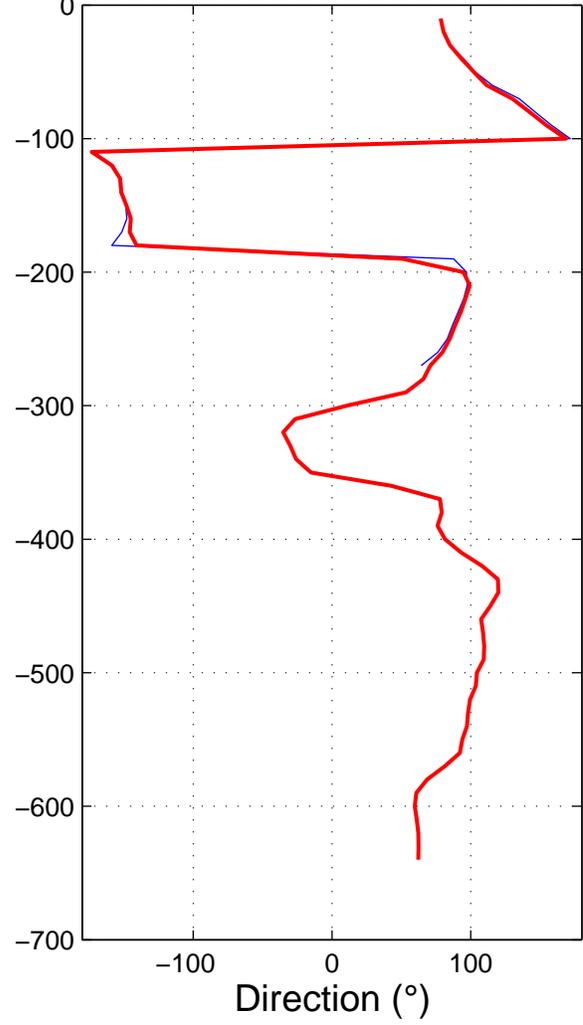
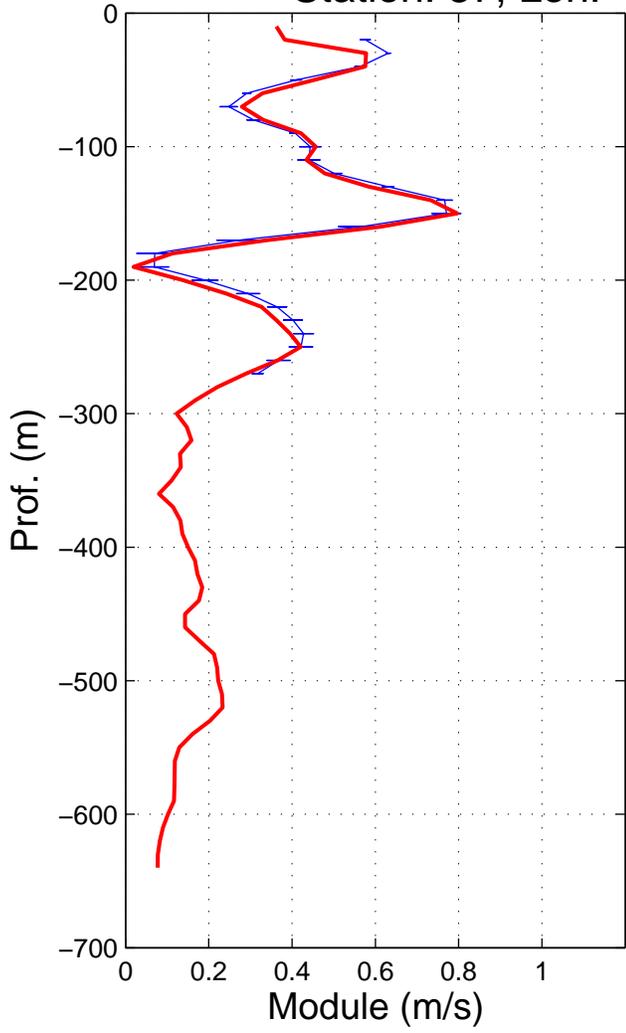
Station: 35, Lon: 173.66°, Lat: 0.00°



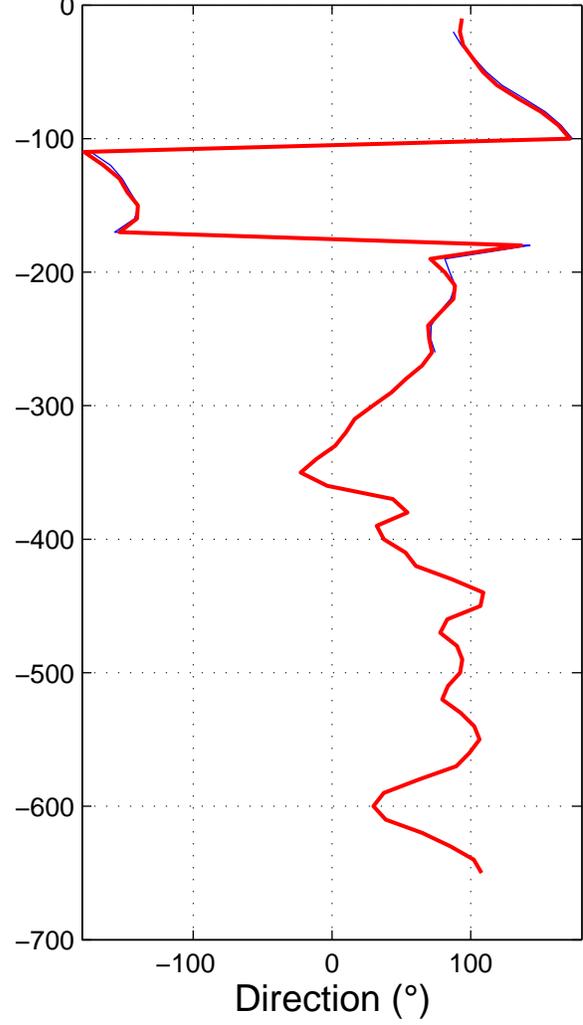
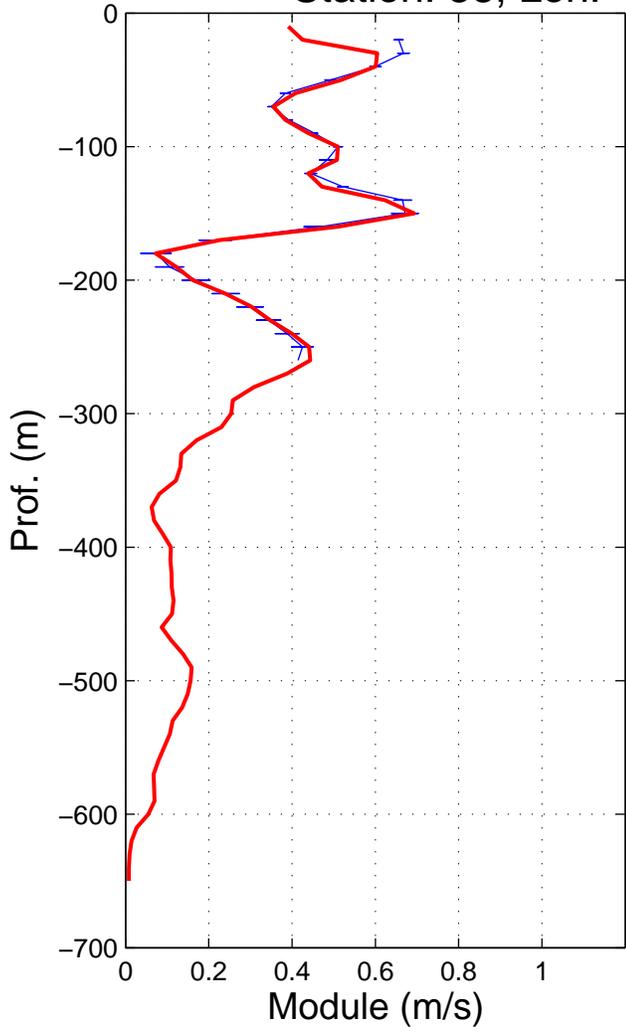
Station: 36, Lon: 173.33°, Lat: -0.00°



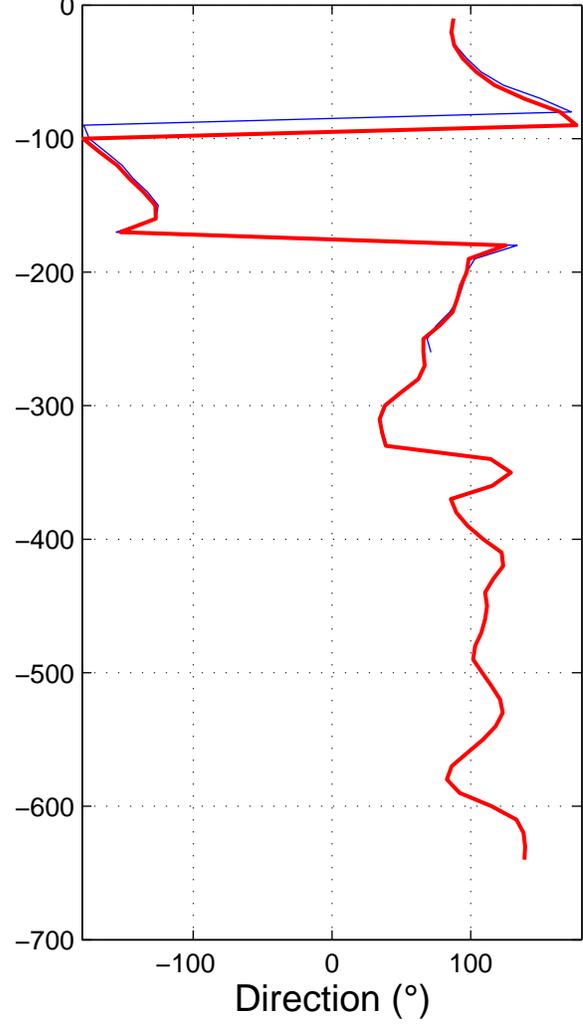
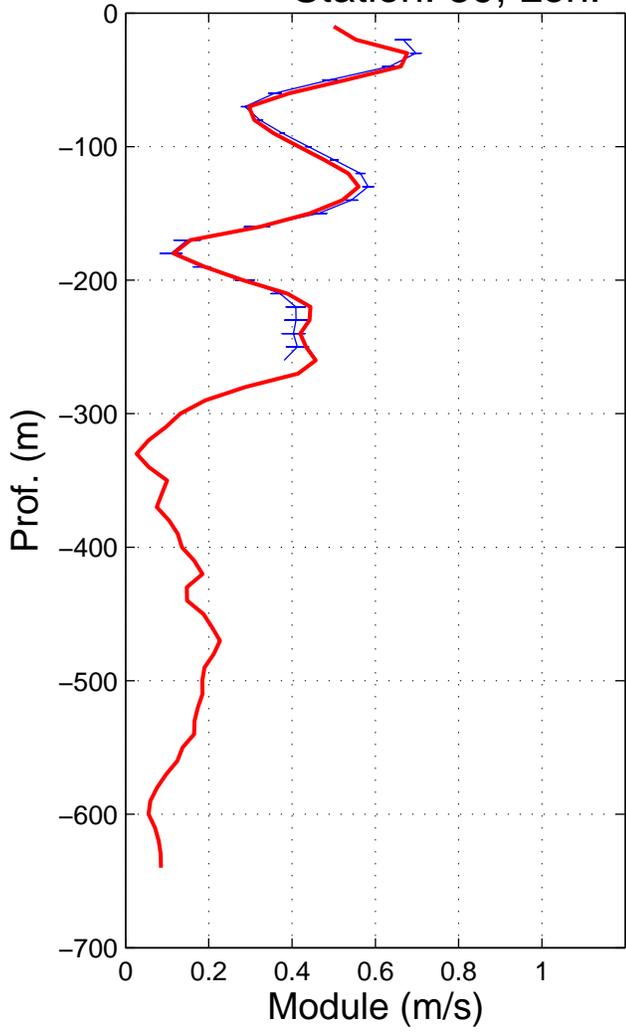
Station: 37, Lon: 173.00°, Lat: 0.00°



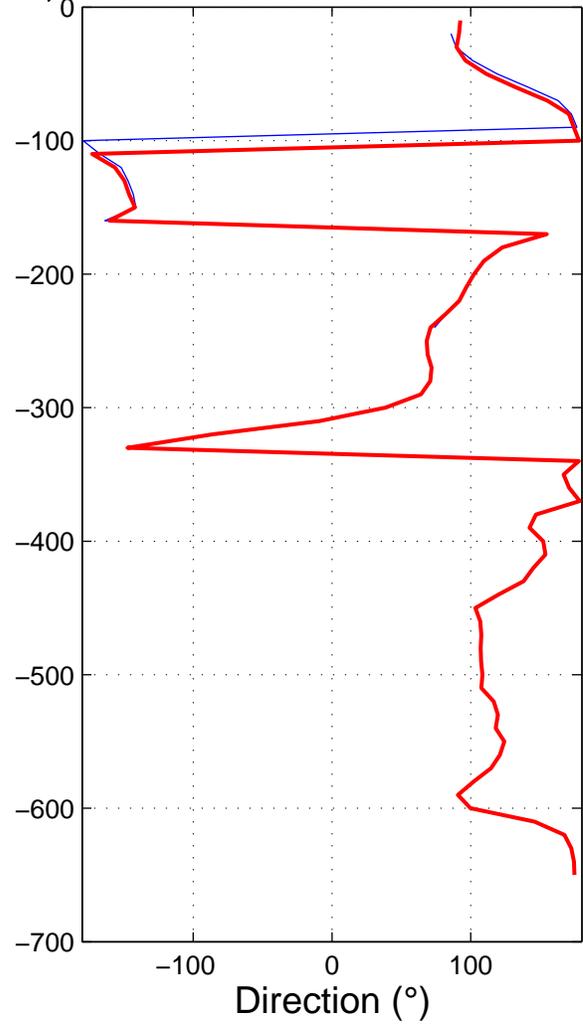
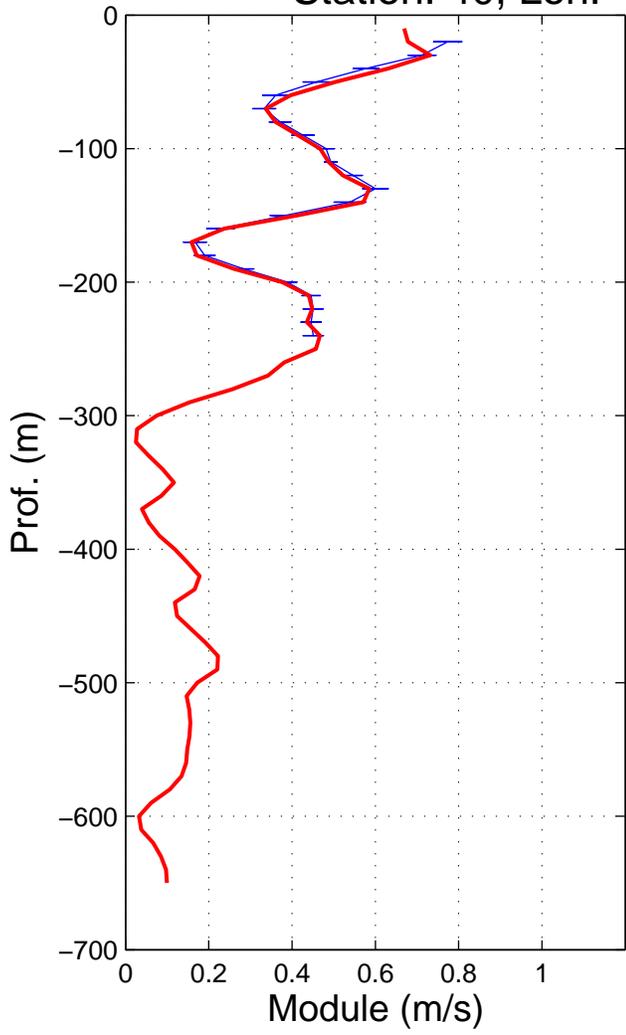
Station: 38, Lon: 172.67°, Lat: 0.00°



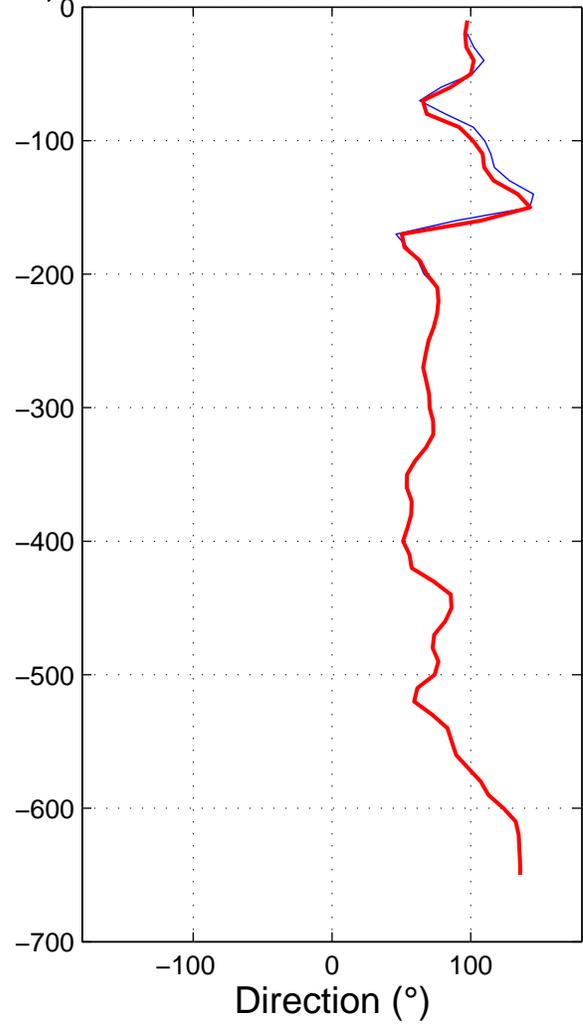
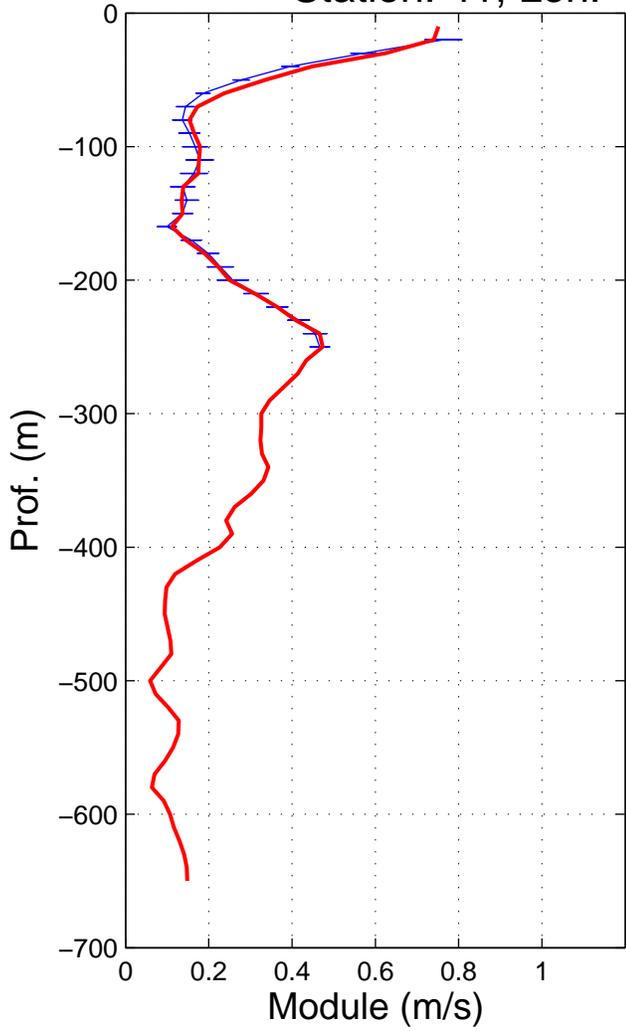
Station: 39, Lon: 172.33°, Lat: 0.00°



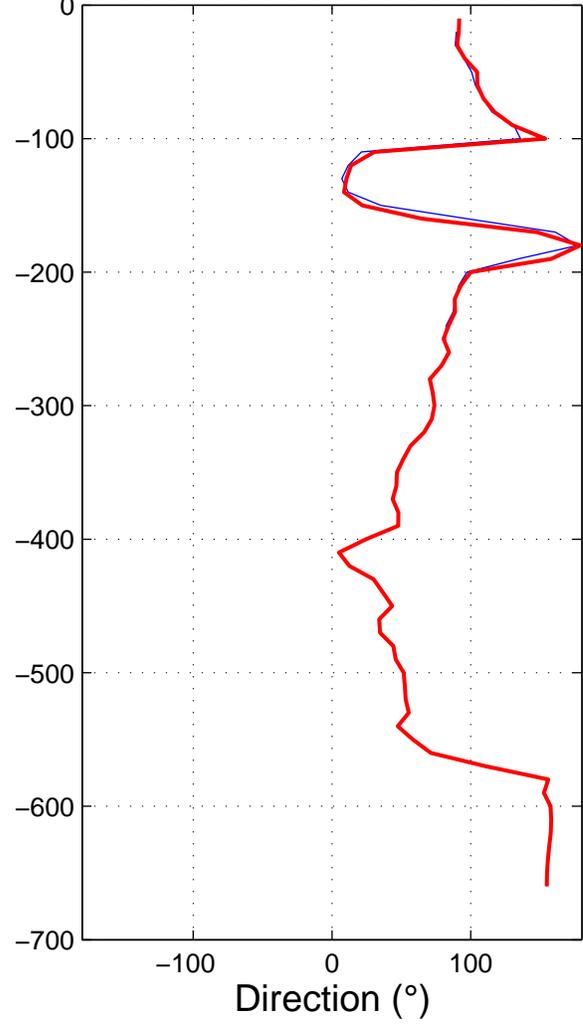
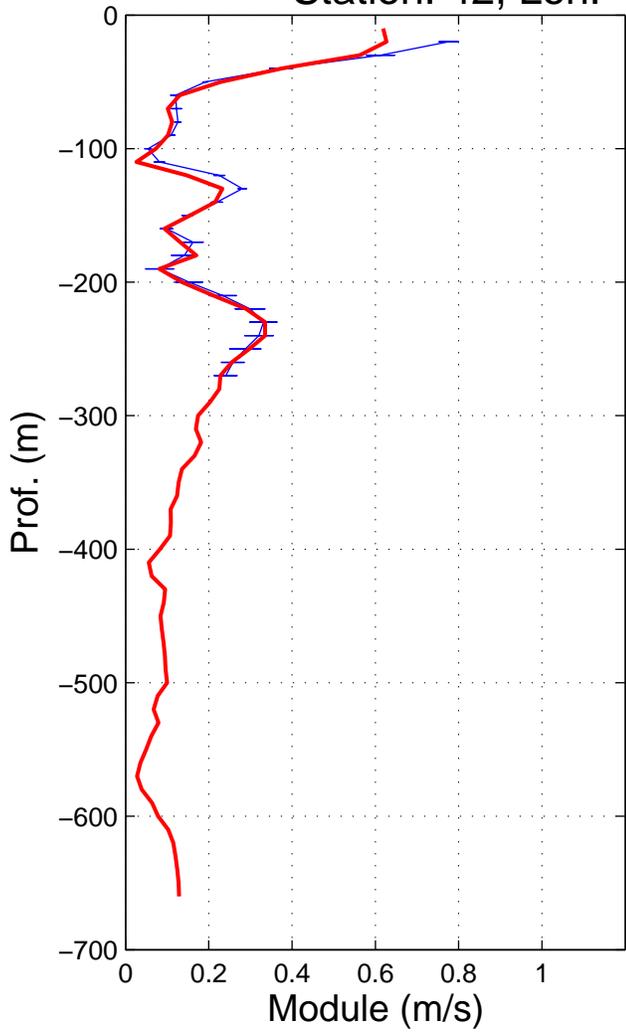
Station: 40, Lon: 172.02°, Lat: -0.00°



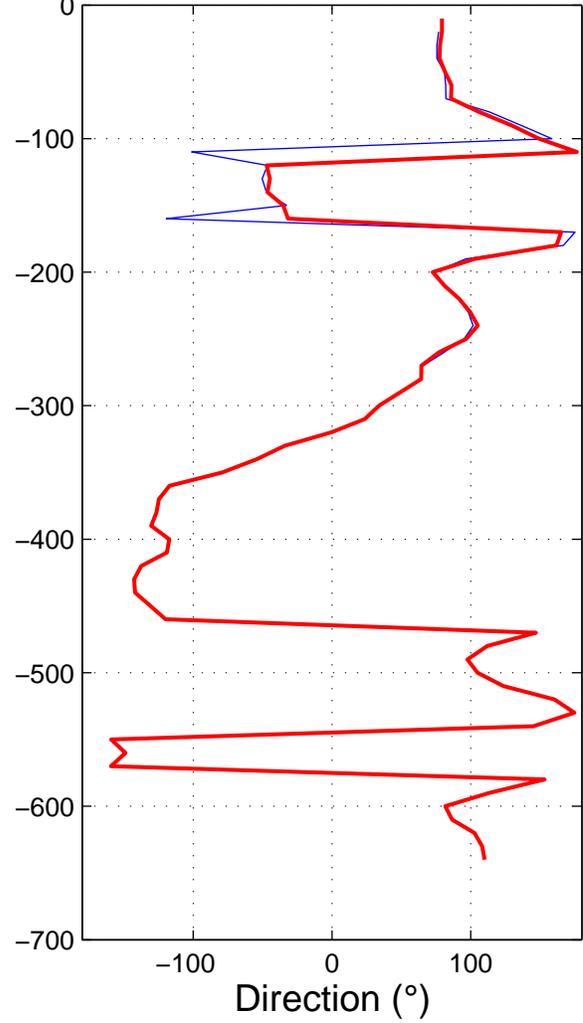
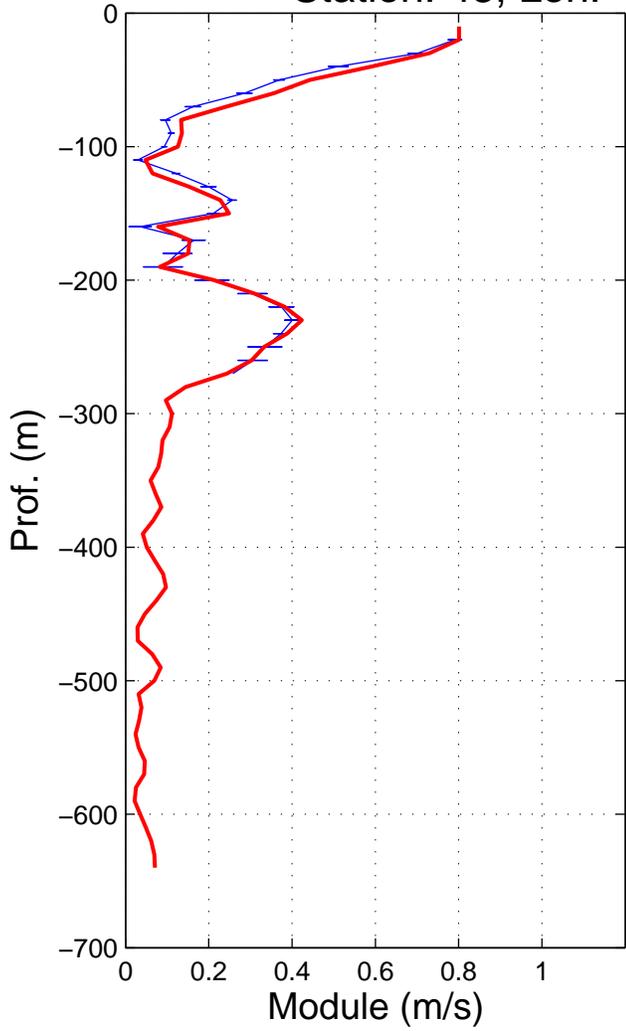
Station: 41, Lon: 174.01°, Lat: -2.00°



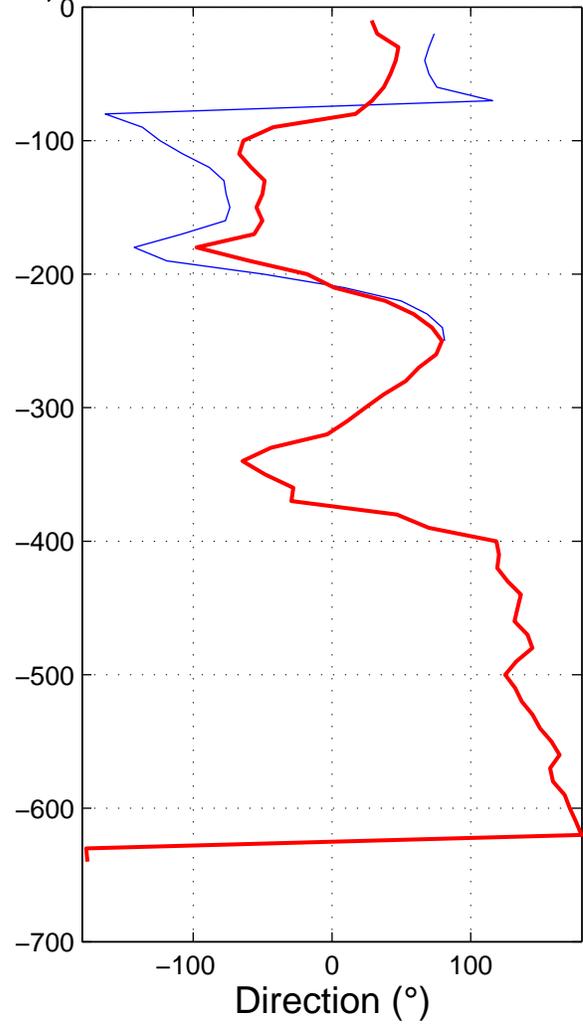
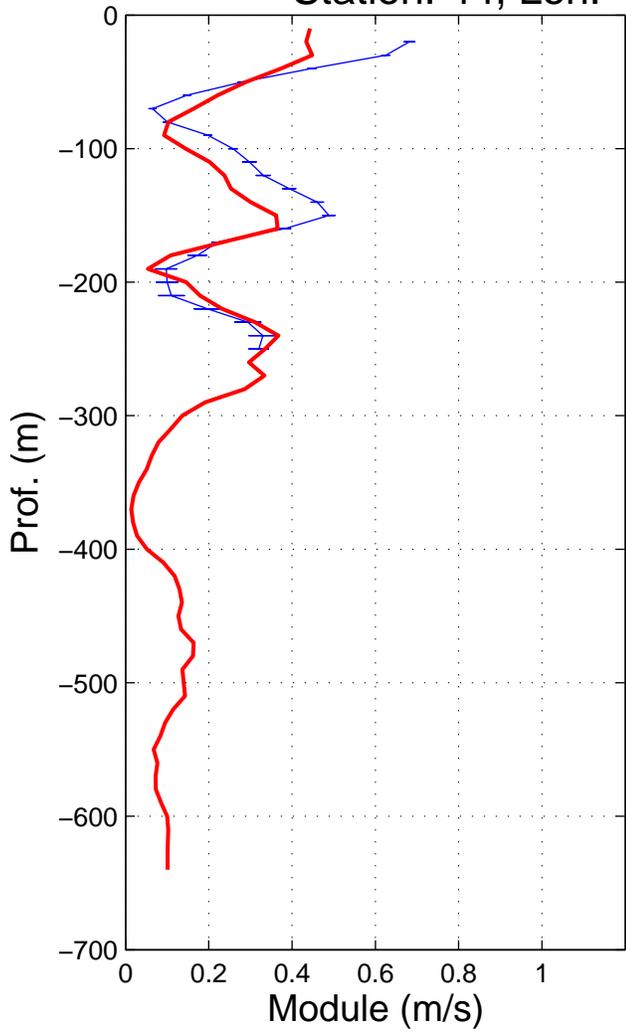
Station: 42, Lon: 174.00°, Lat: -1.66°



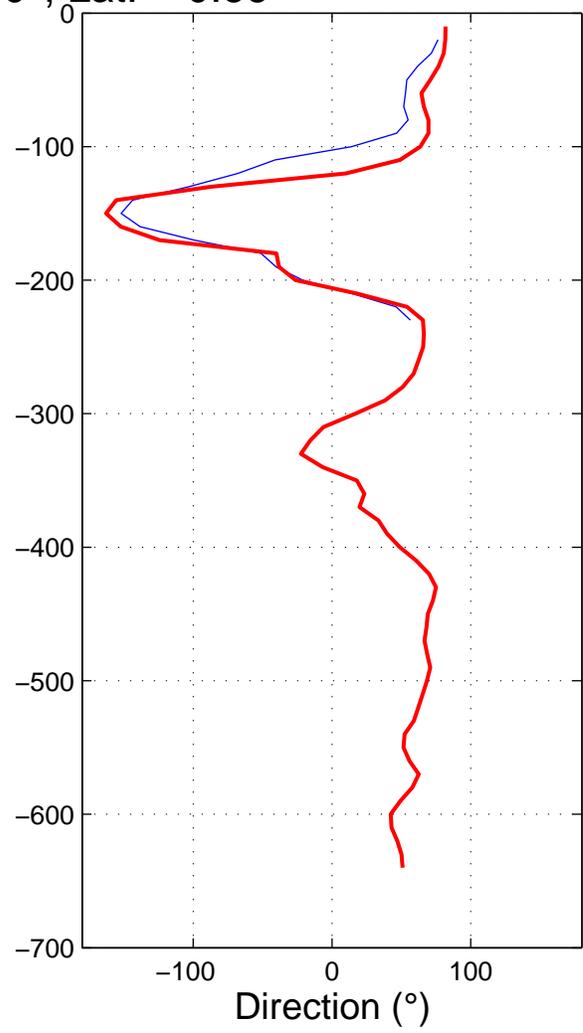
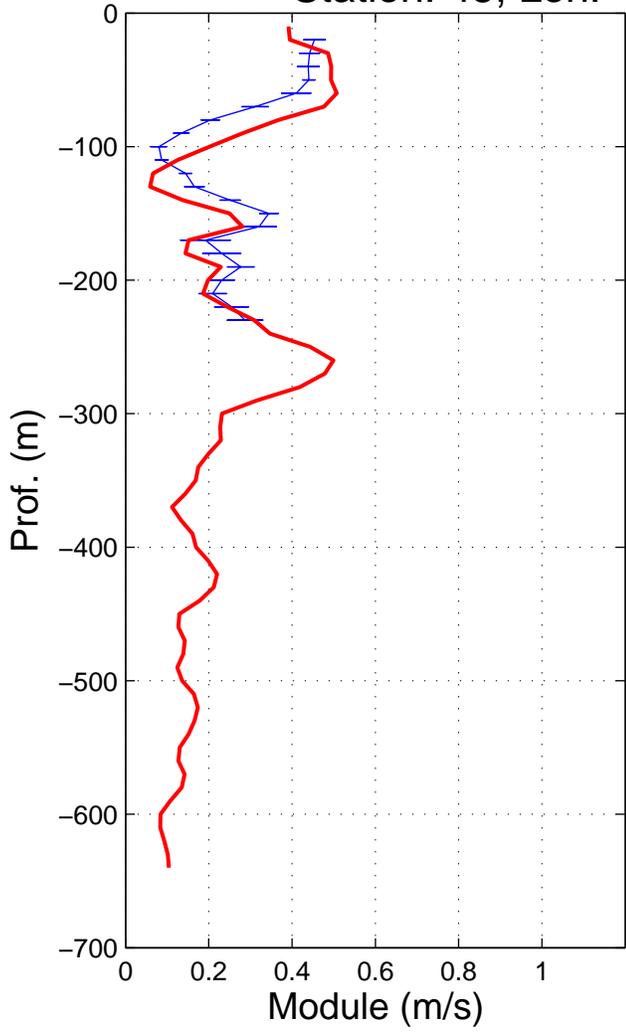
Station: 43, Lon: 174.01°, Lat: -1.32°



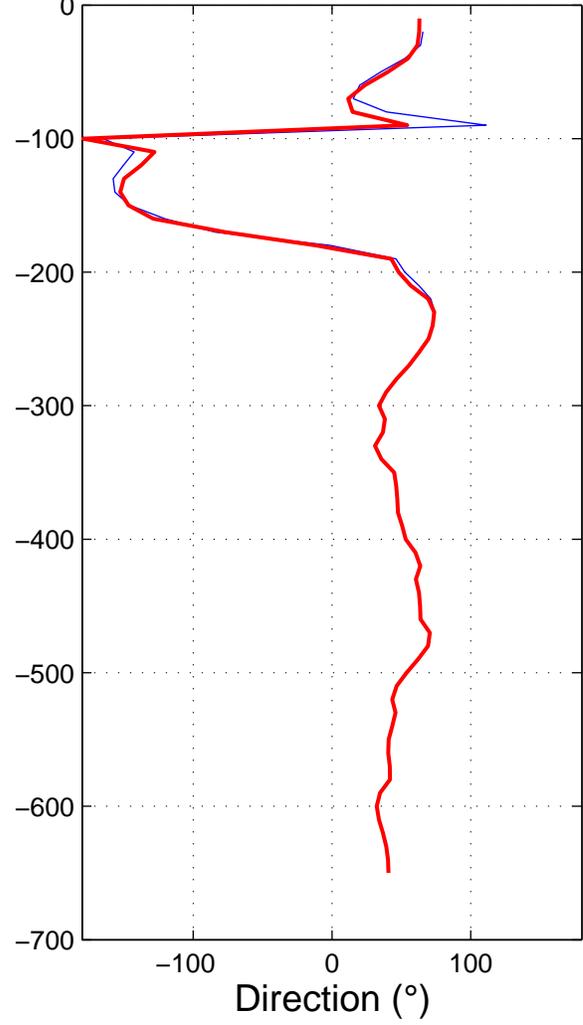
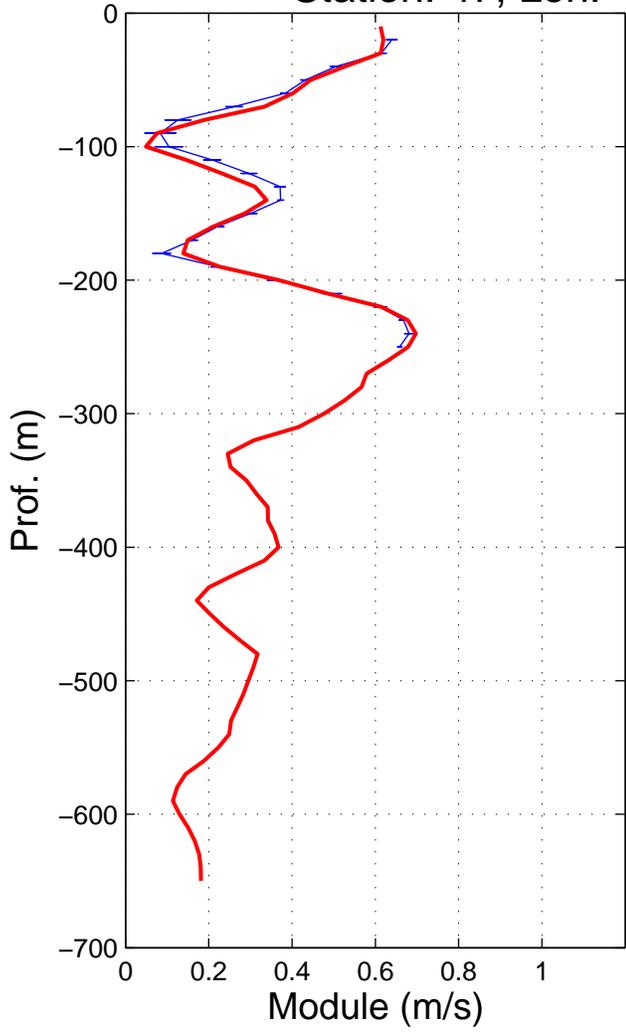
Station: 44, Lon: 174.02°, Lat: -1.00°



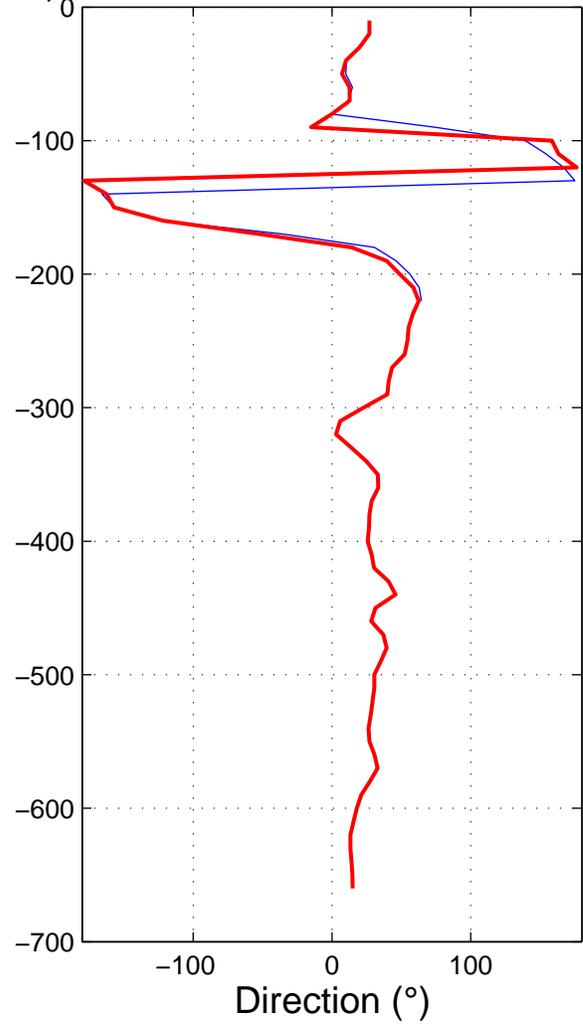
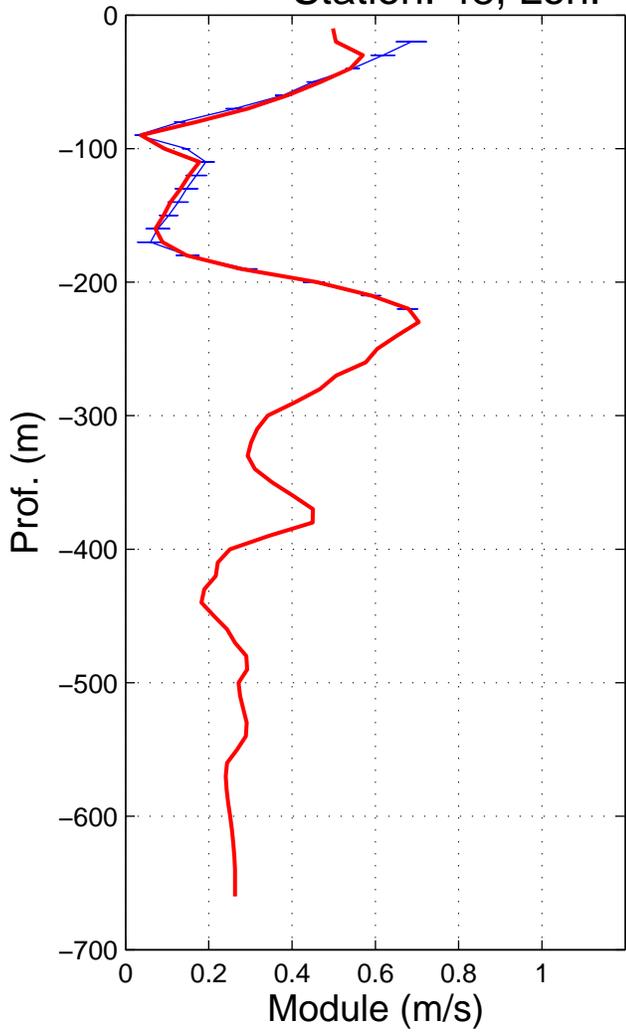
Station: 45, Lon: 174.00°, Lat: -0.66°



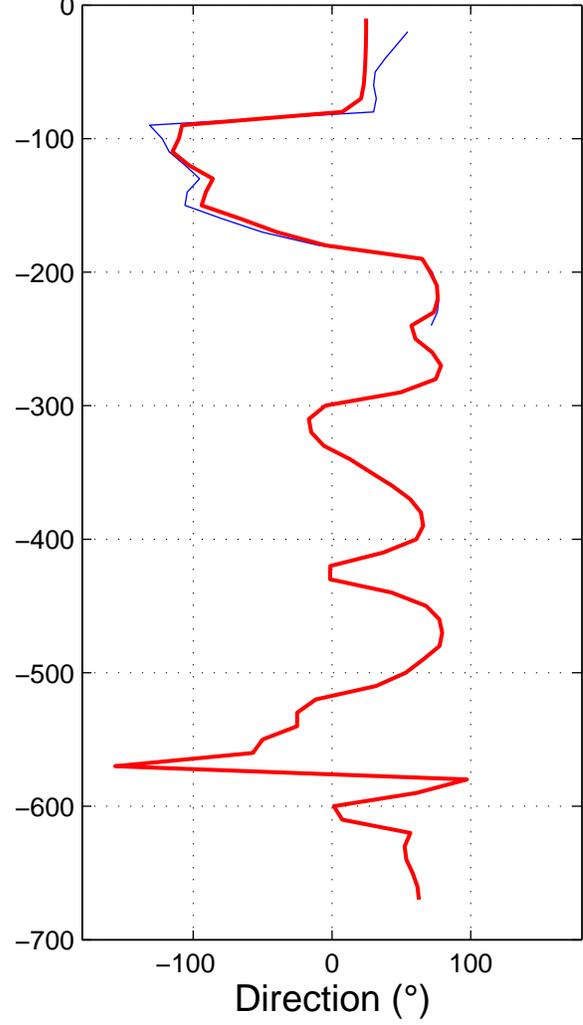
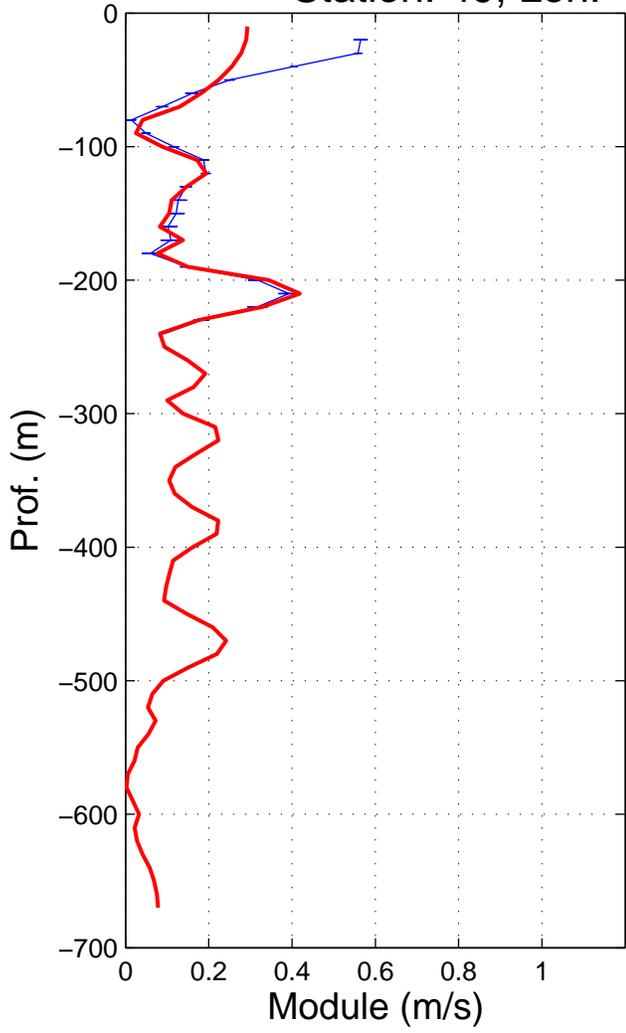
Station: 47, Lon: 174.01°, Lat: 0.01°



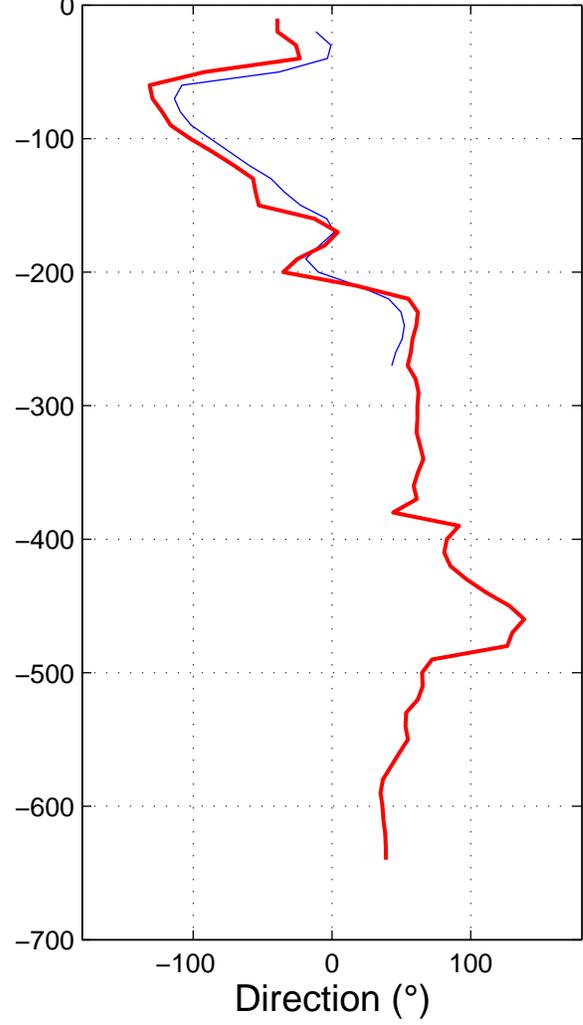
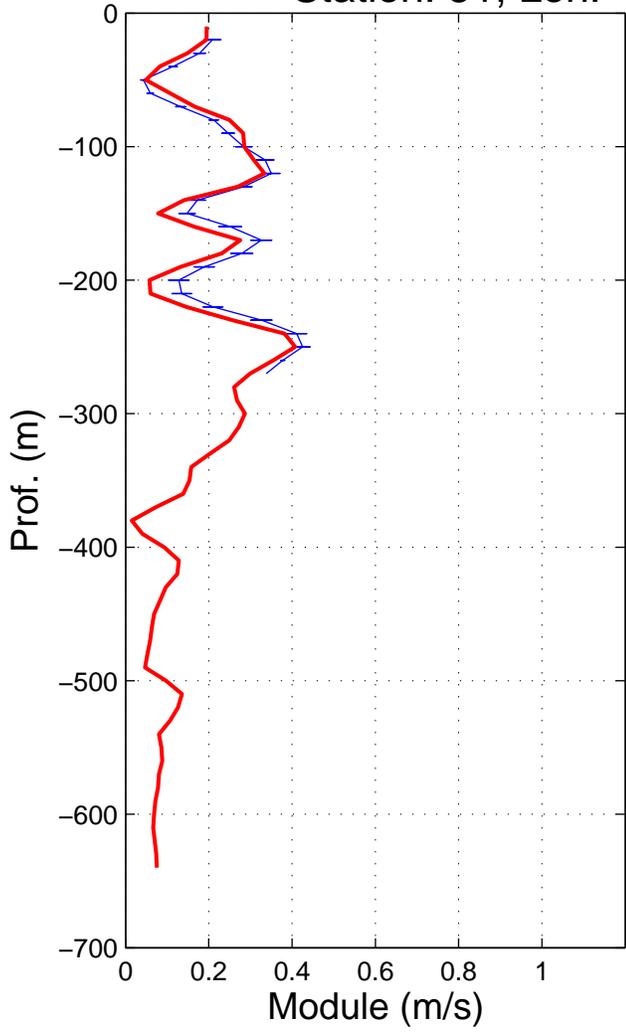
Station: 48, Lon: 174.10°, Lat: 0.33°



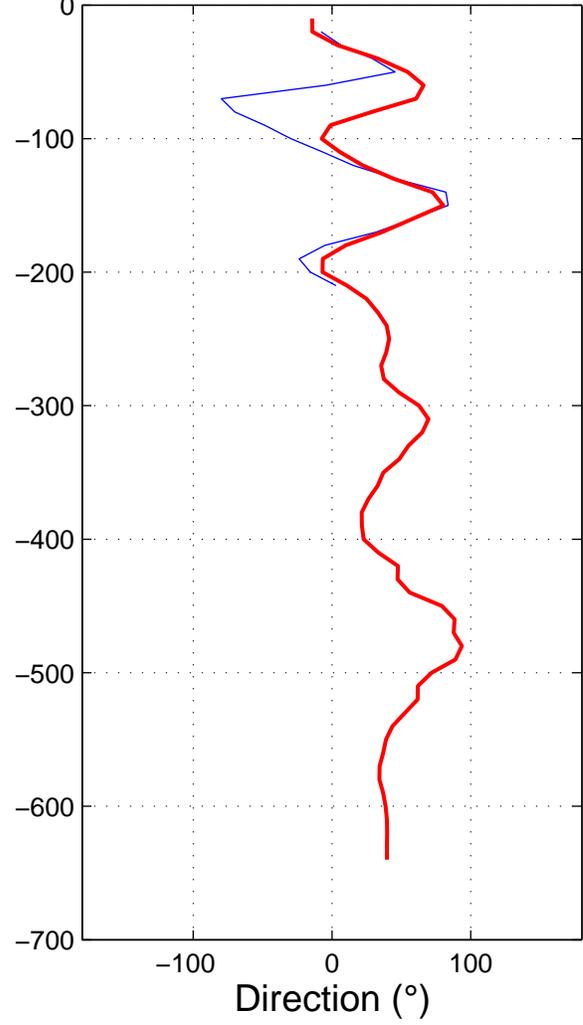
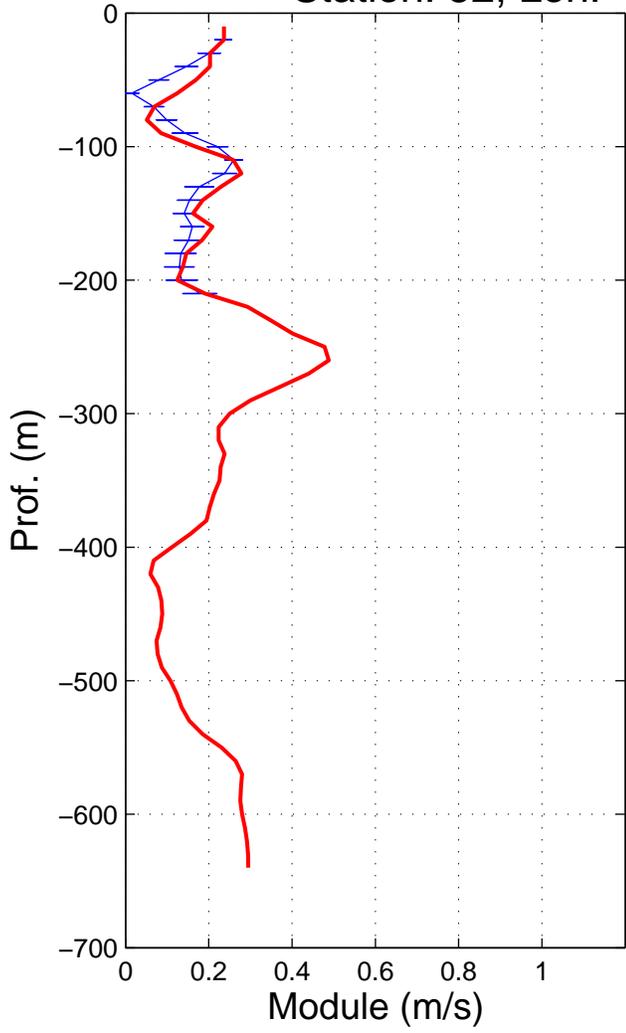
Station: 49, Lon: 174.00°, Lat: 0.67°



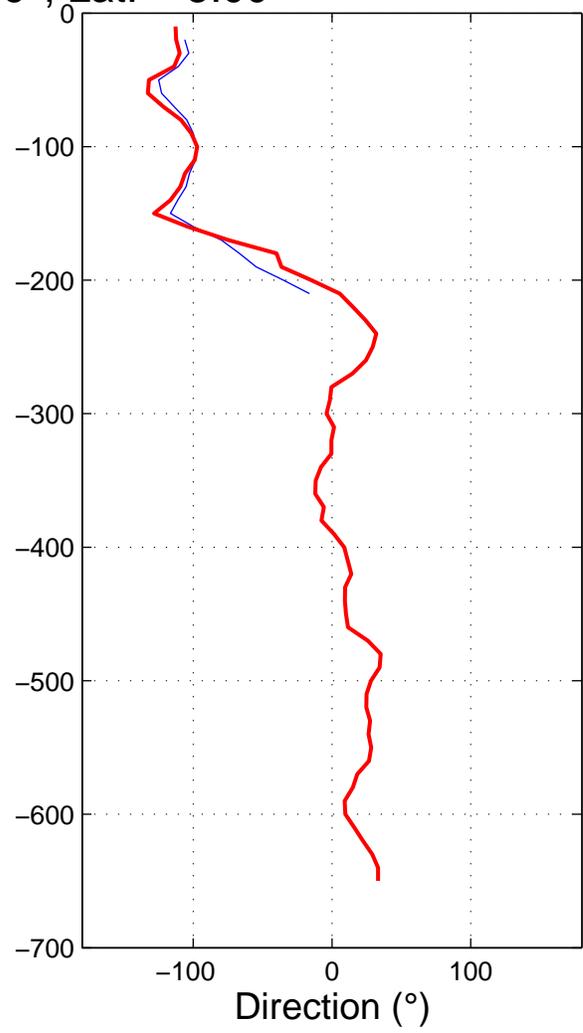
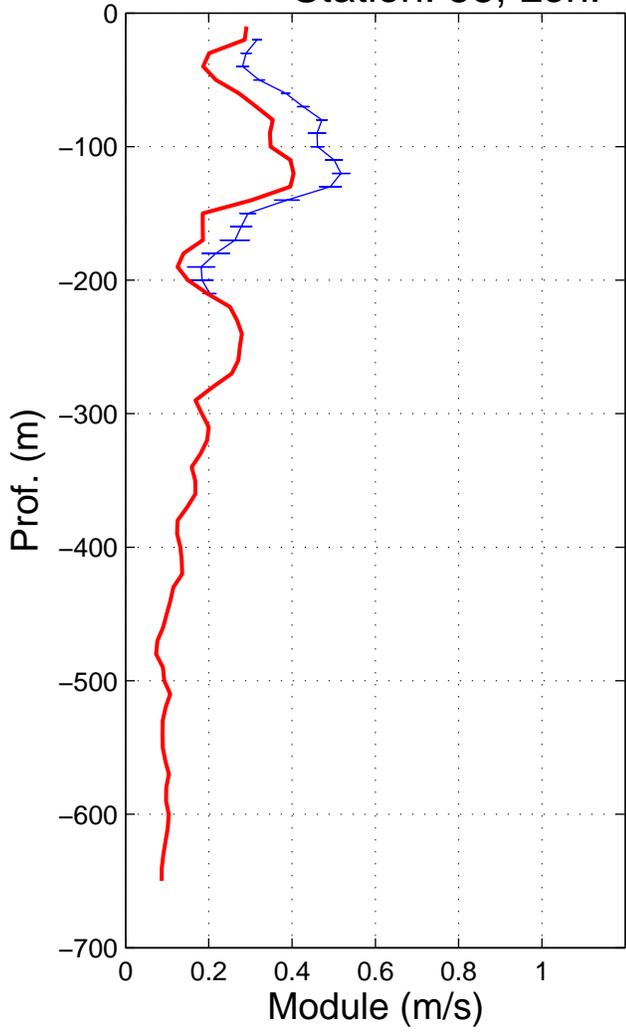
Station: 51, Lon: 174.00°, Lat: 1.34°



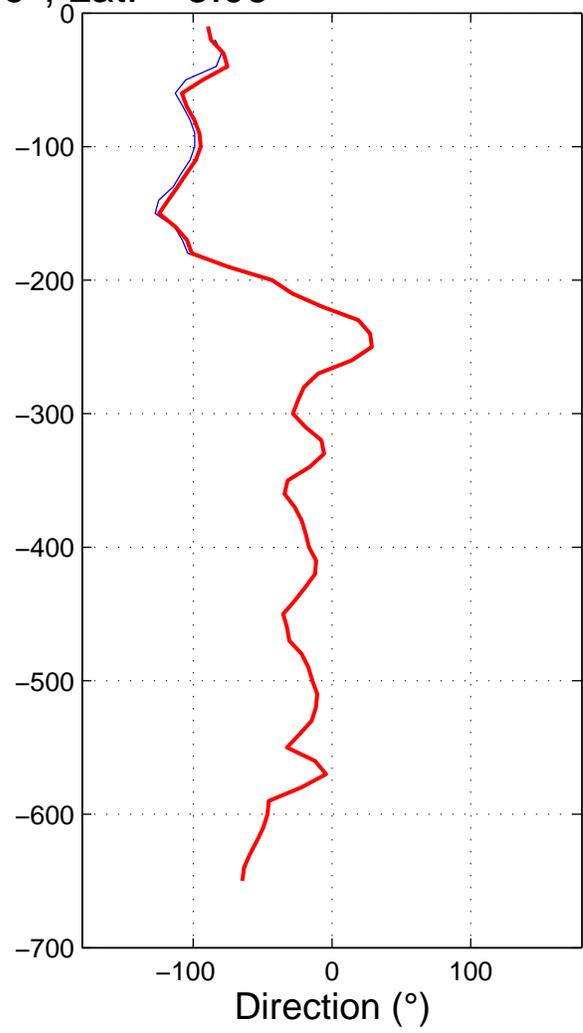
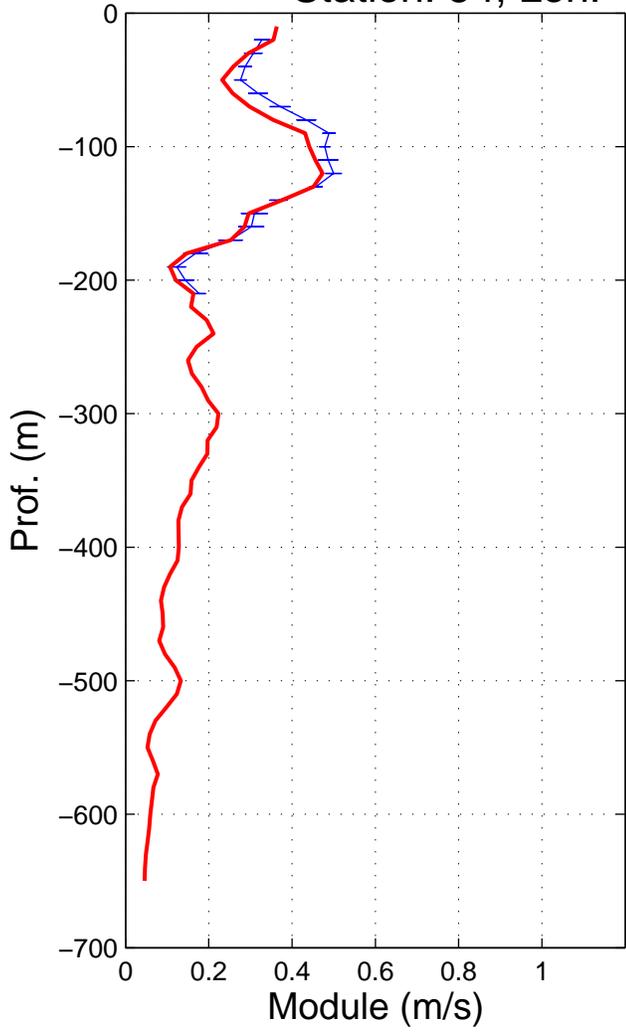
Station: 52, Lon: 173.99°, Lat: 1.66°



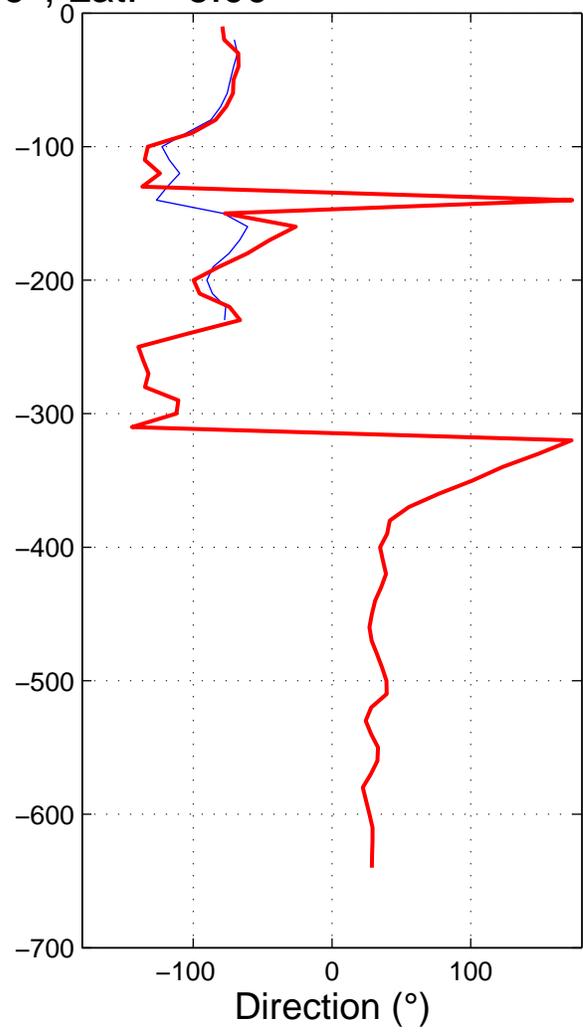
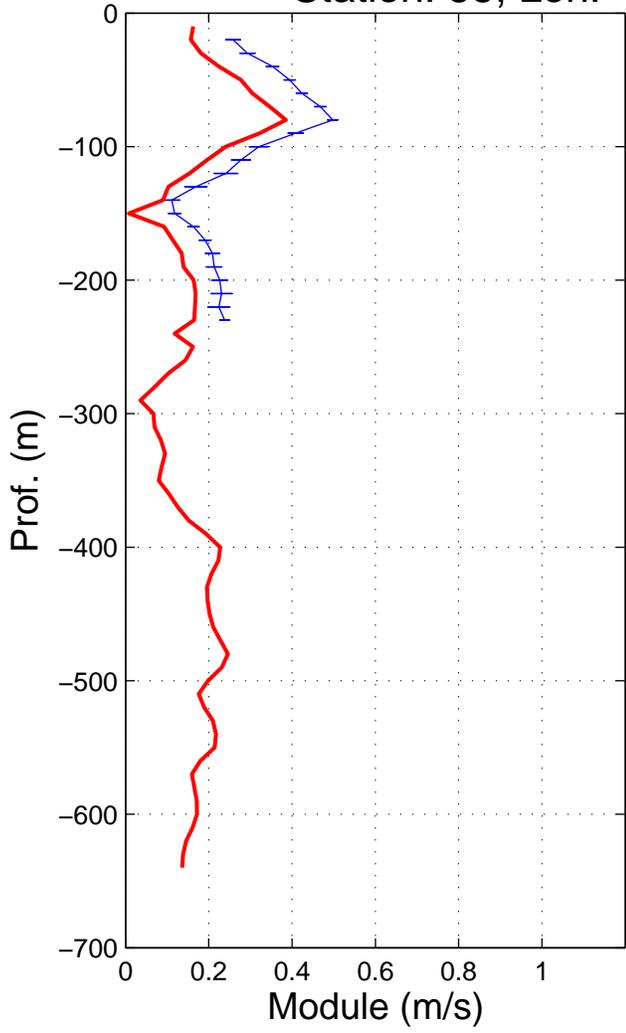
Station: 53, Lon: 164.99°, Lat: -5.00°



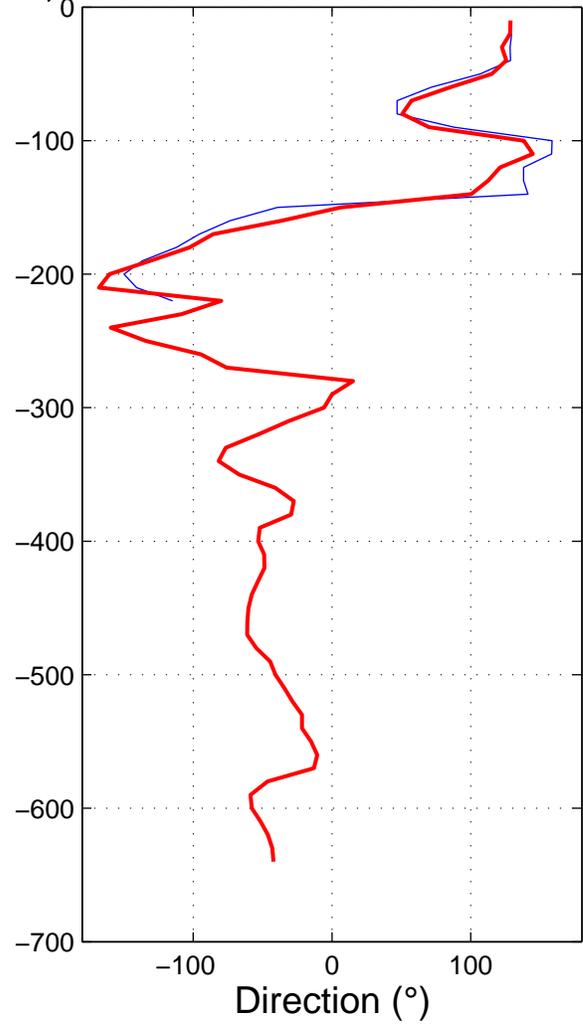
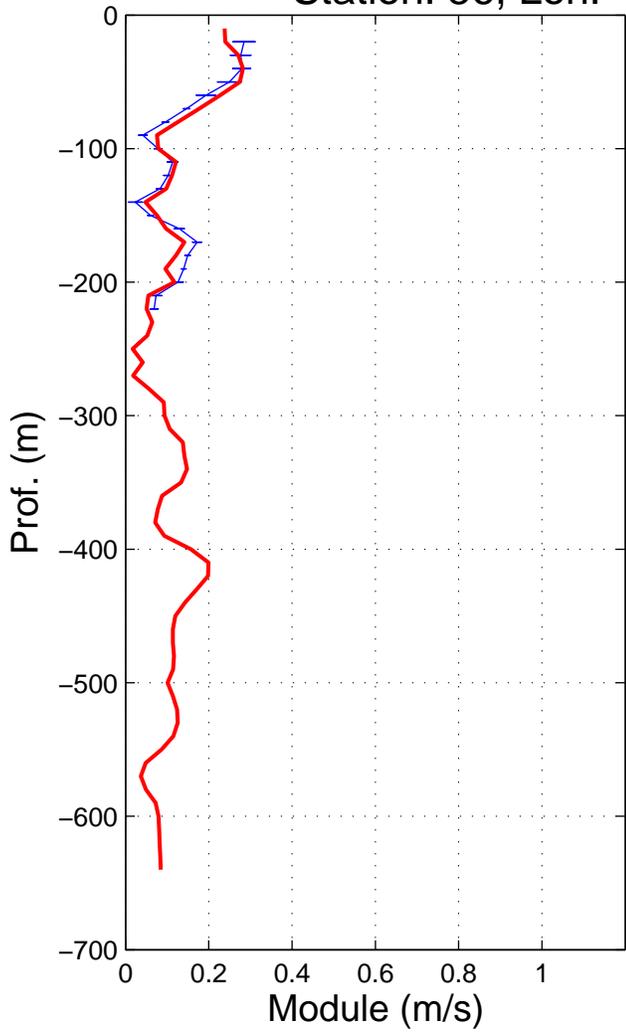
Station: 54, Lon: 164.99°, Lat: -5.06°



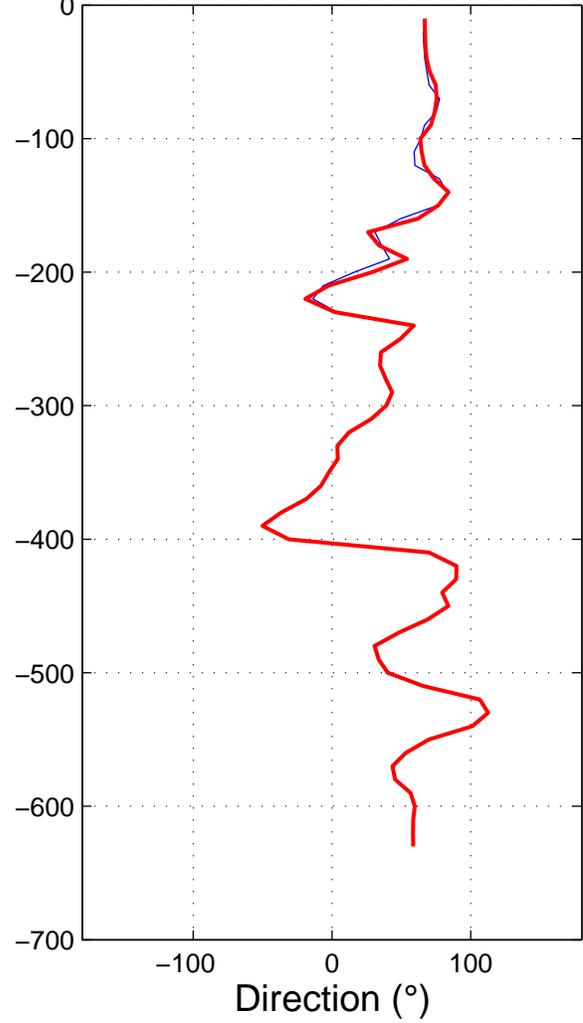
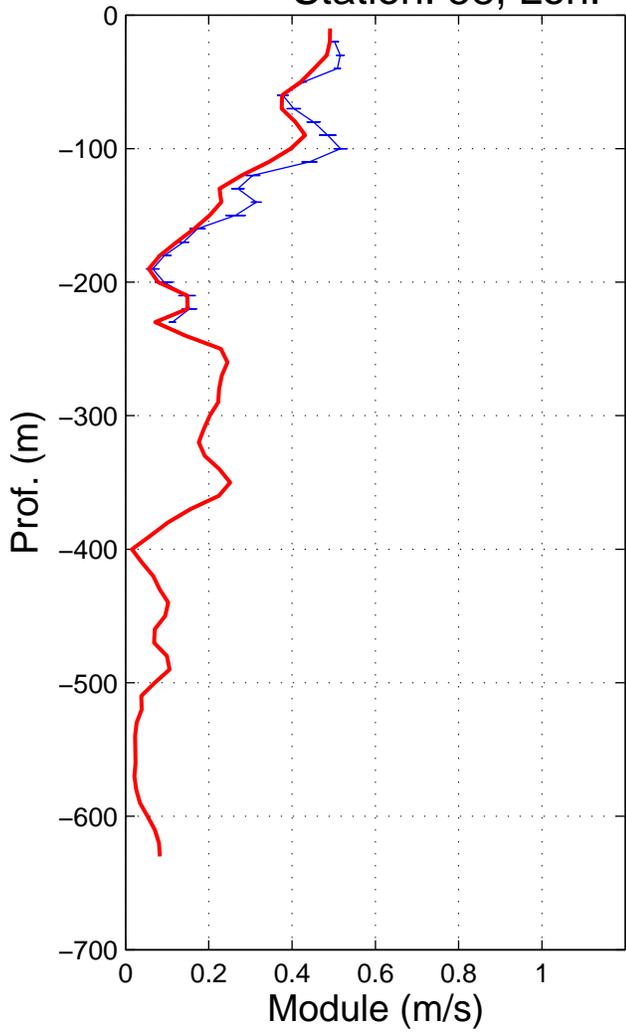
Station: 55, Lon: 164.99°, Lat: -6.00°



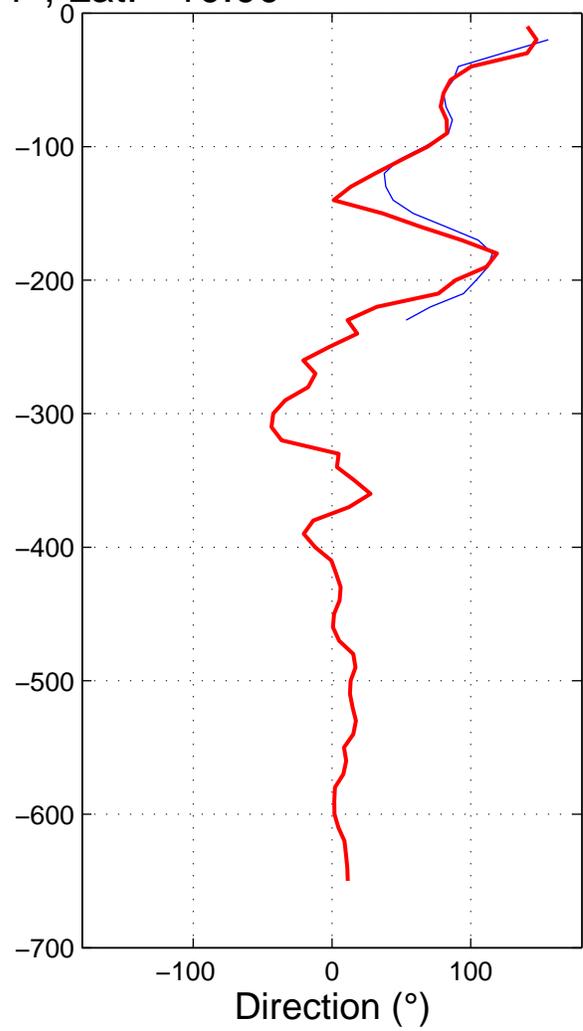
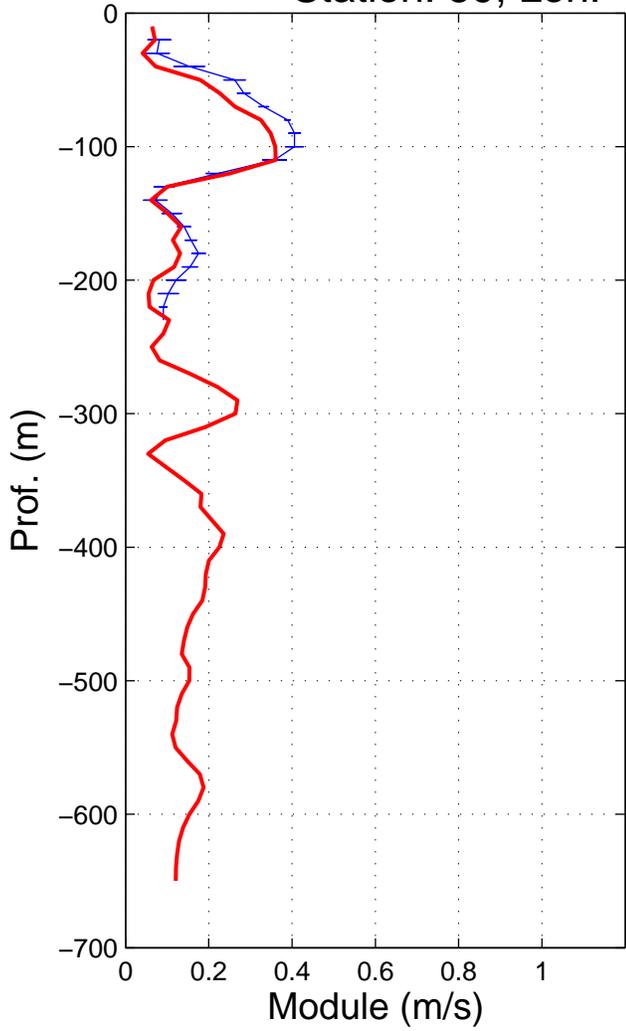
Station: 56, Lon: 165.01°, Lat: -7.02°



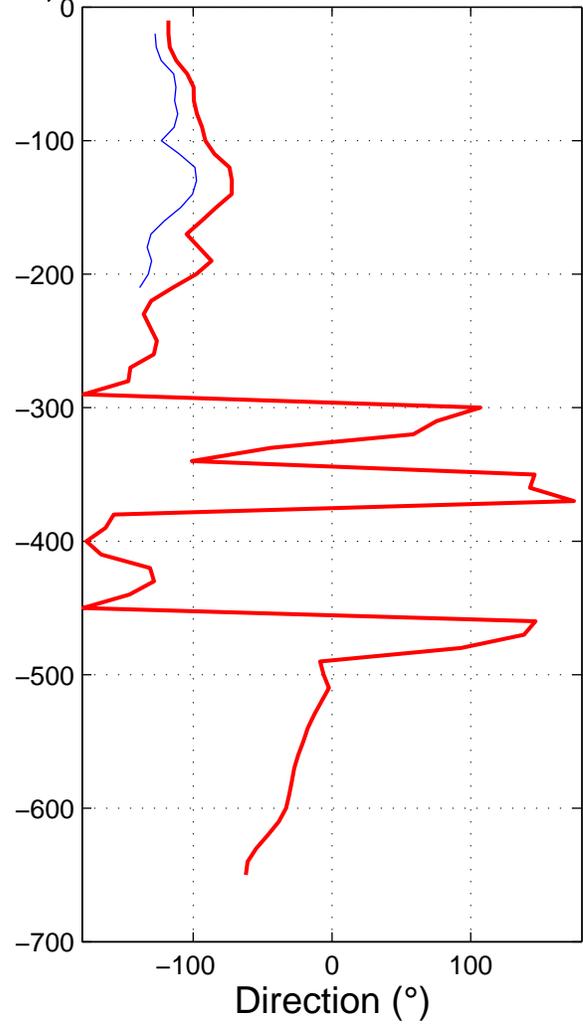
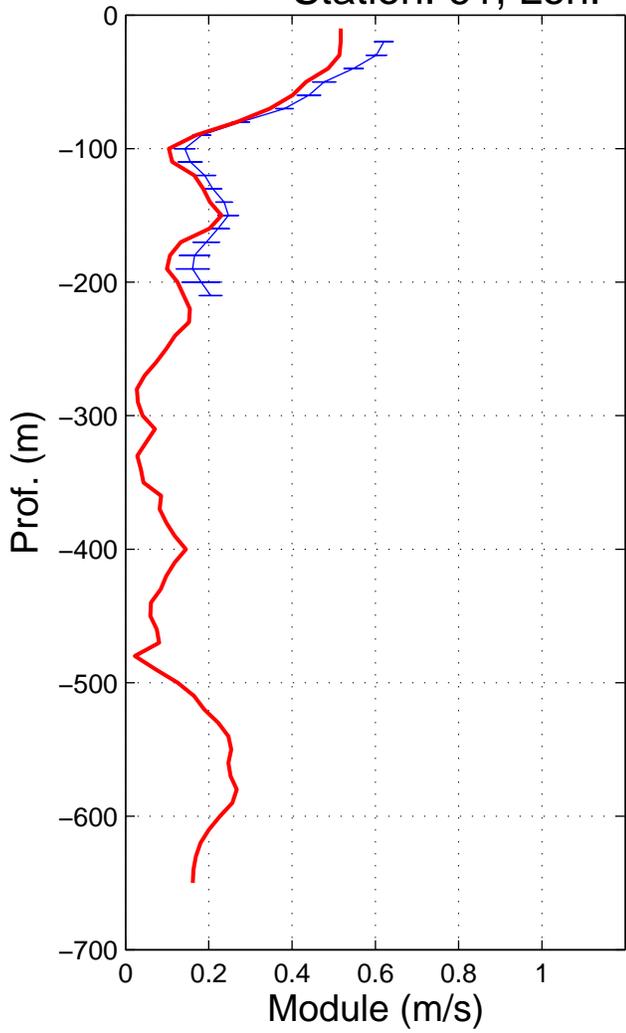
Station: 58, Lon: 165.01°, Lat: -8.99°



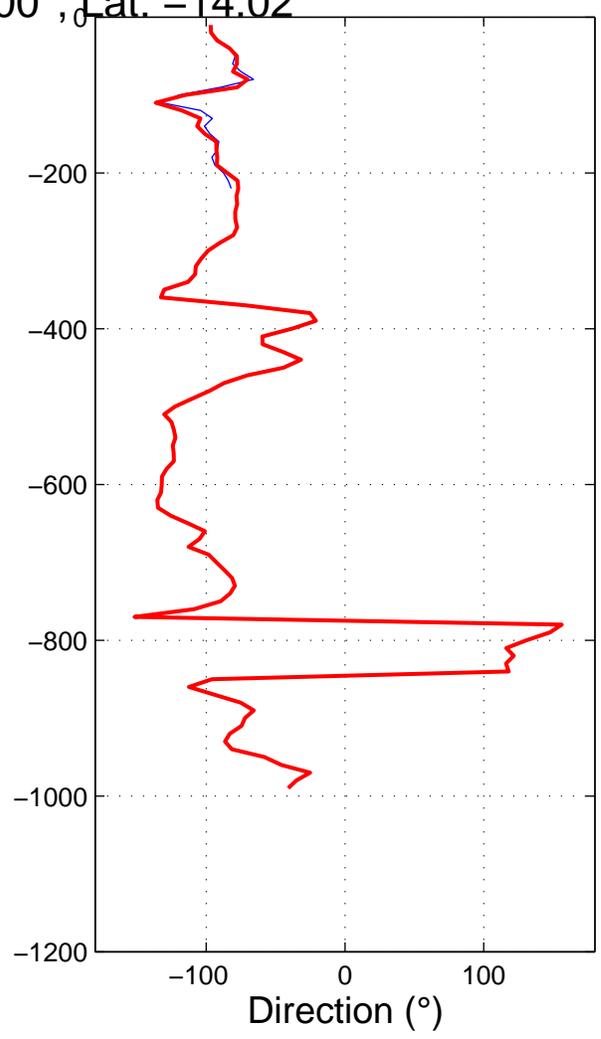
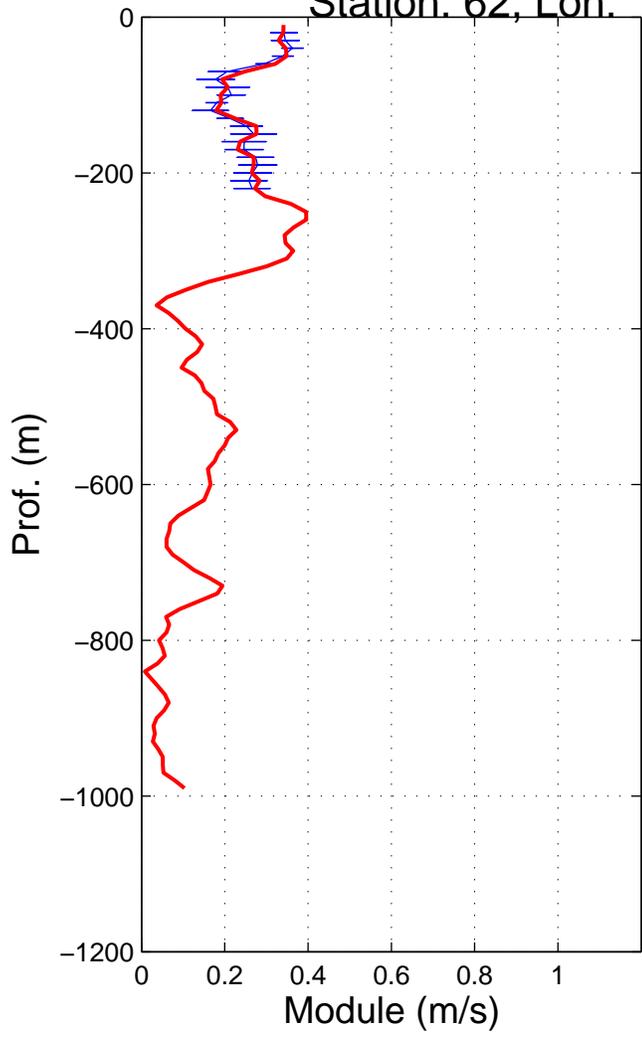
Station: 59, Lon: 165.01°, Lat: -10.00°



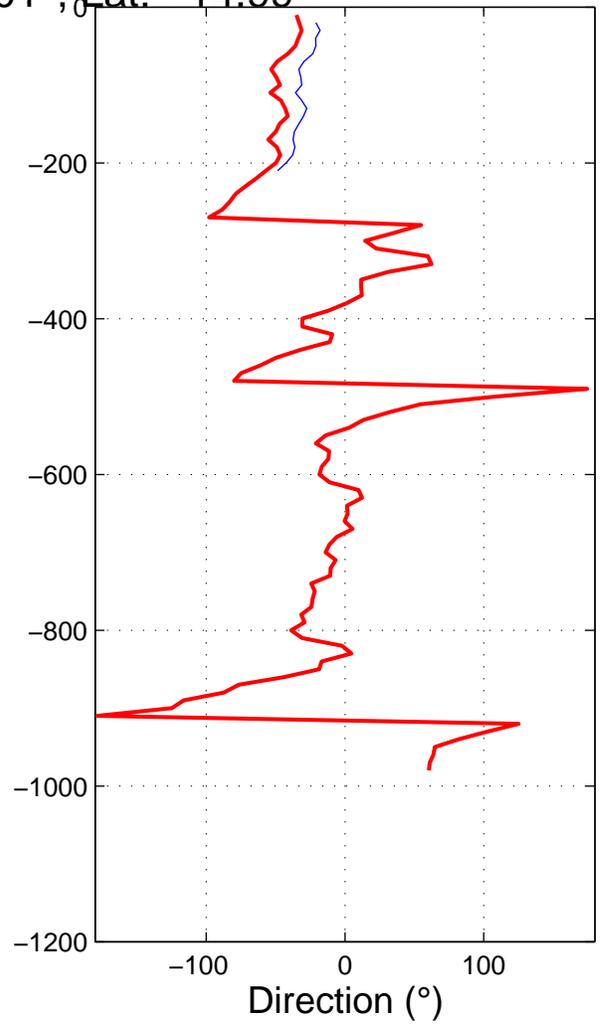
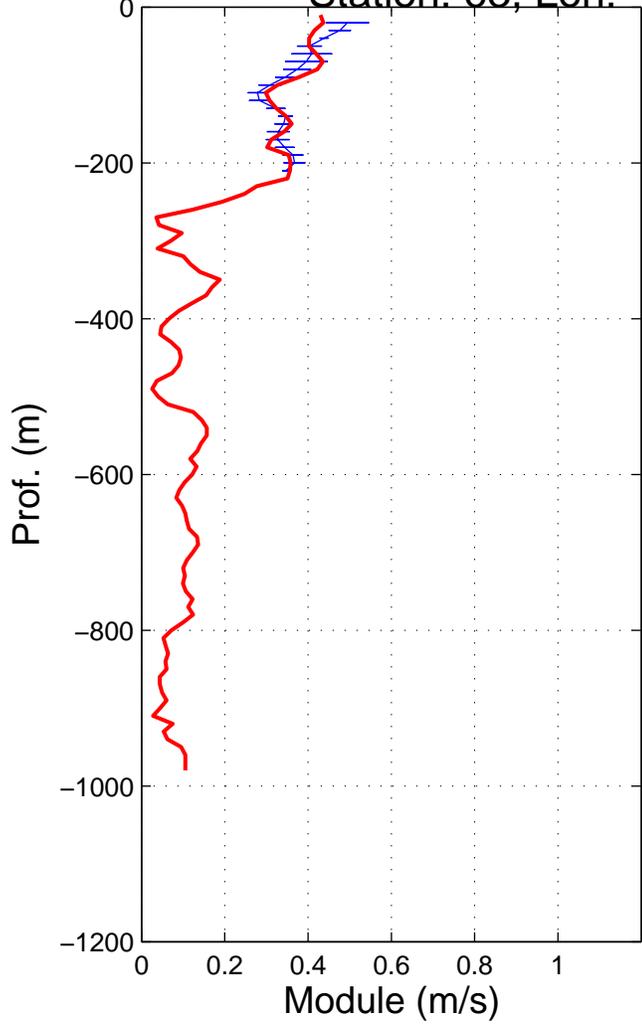
Station: 61, Lon: 164.99°, Lat: -13.02°



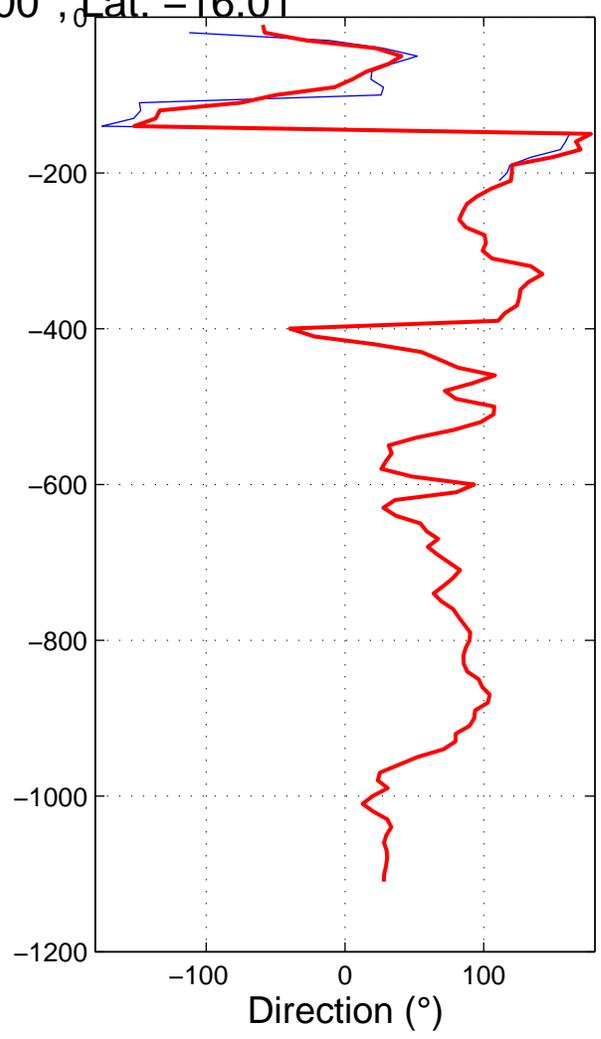
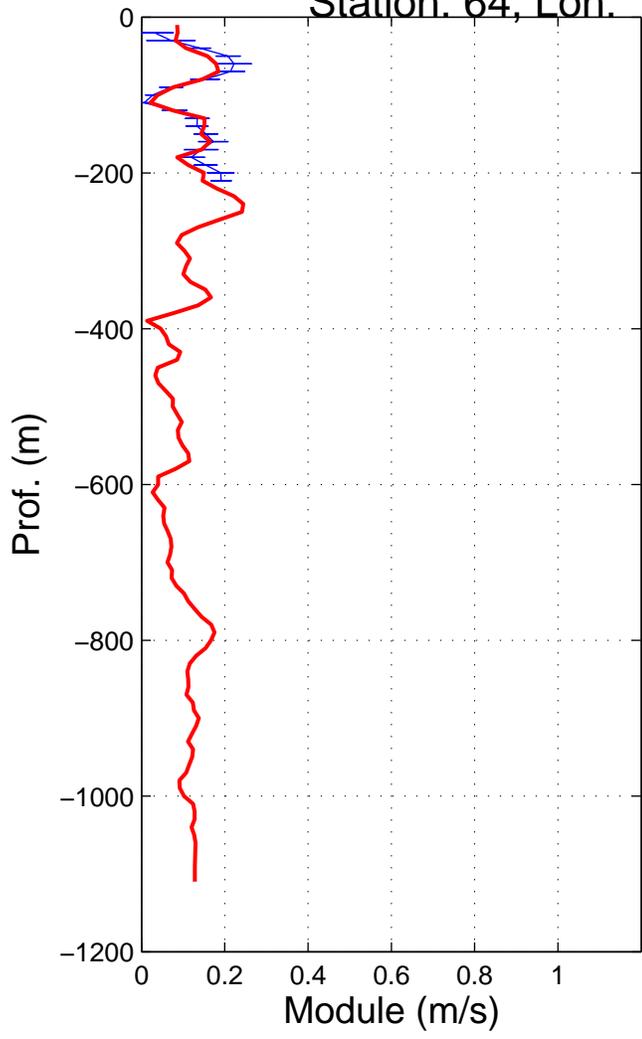
Station: 62, Lon: 165.00°, Lat: -14.02°



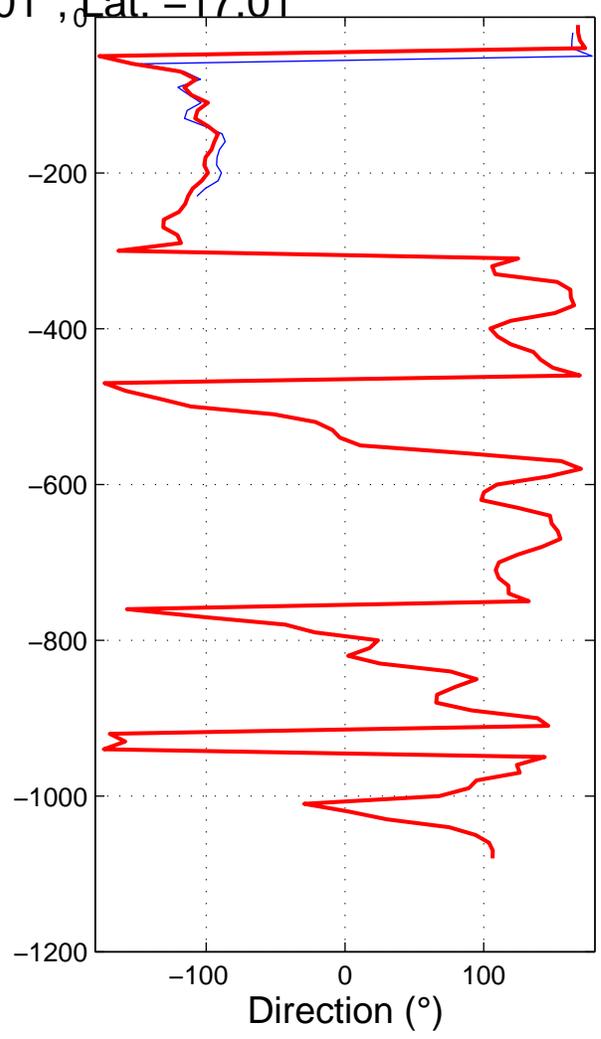
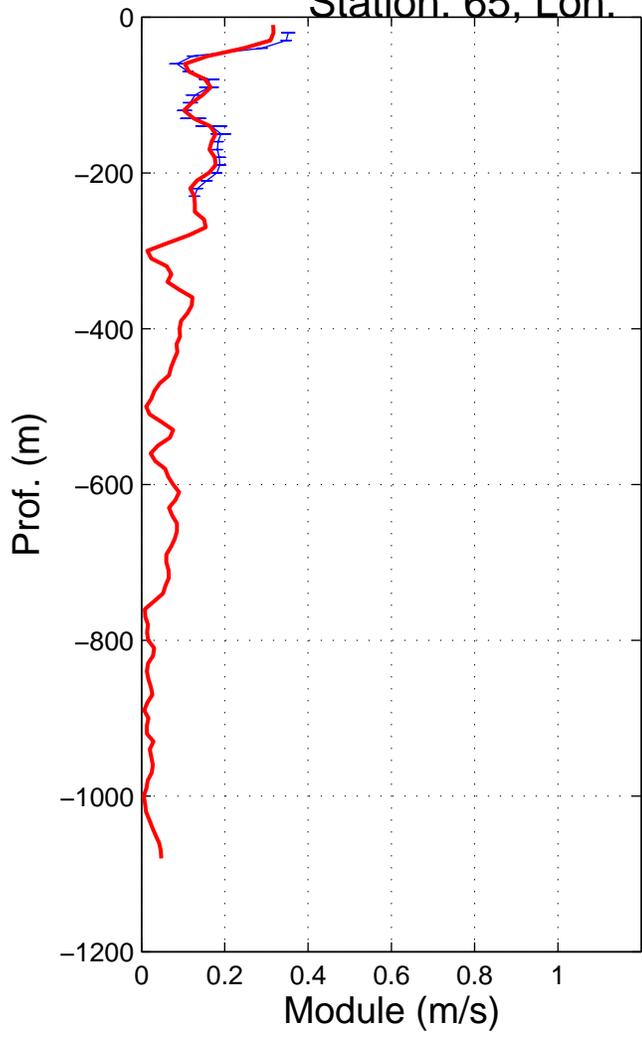
Station: 63, Lon: 165.01°, Lat: -14.99°



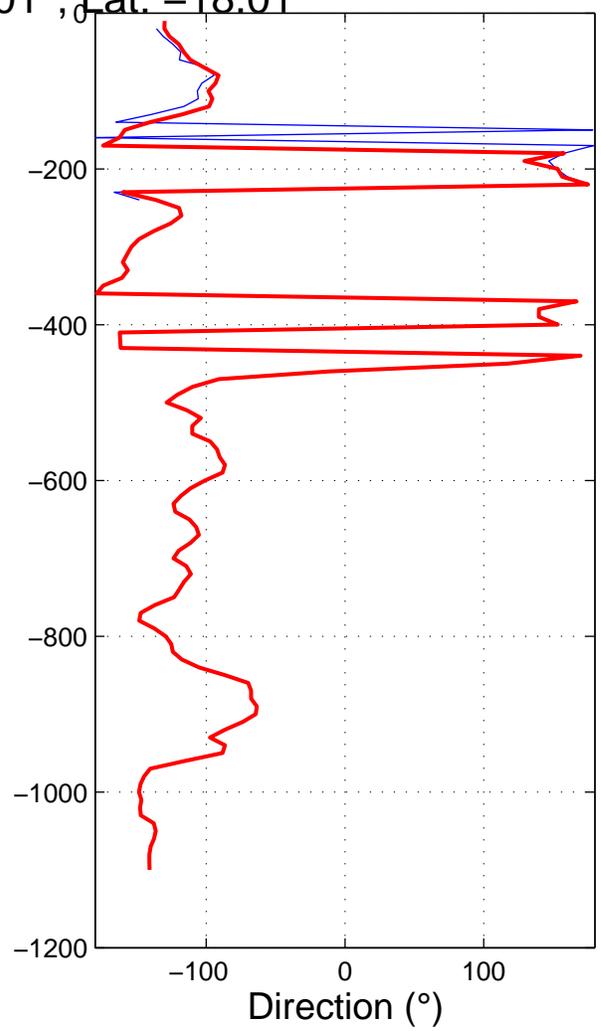
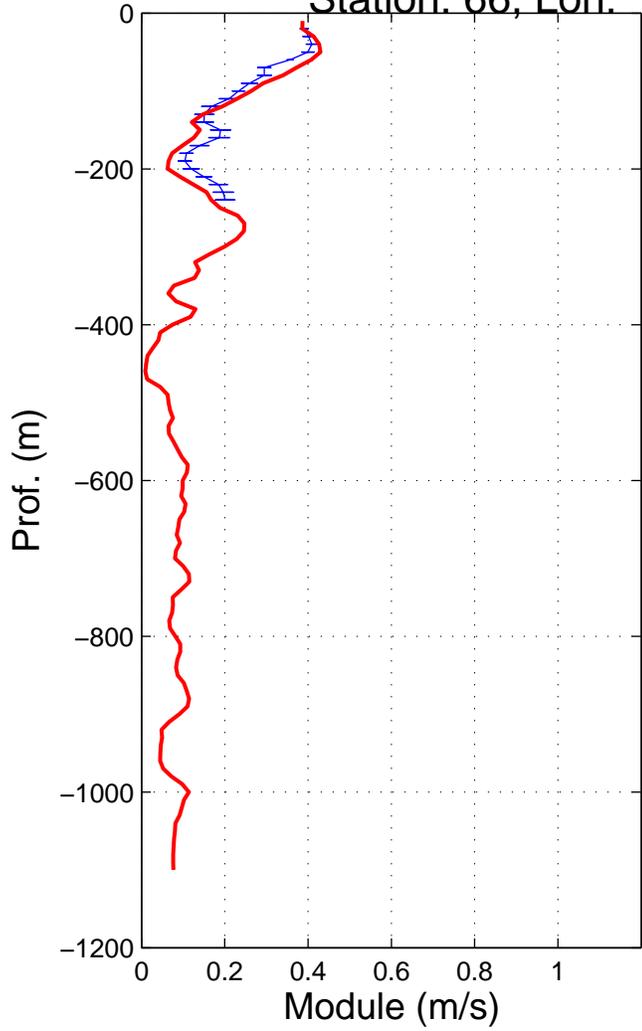
Station: 64, Lon: 165.00°, Lat: -16.01°



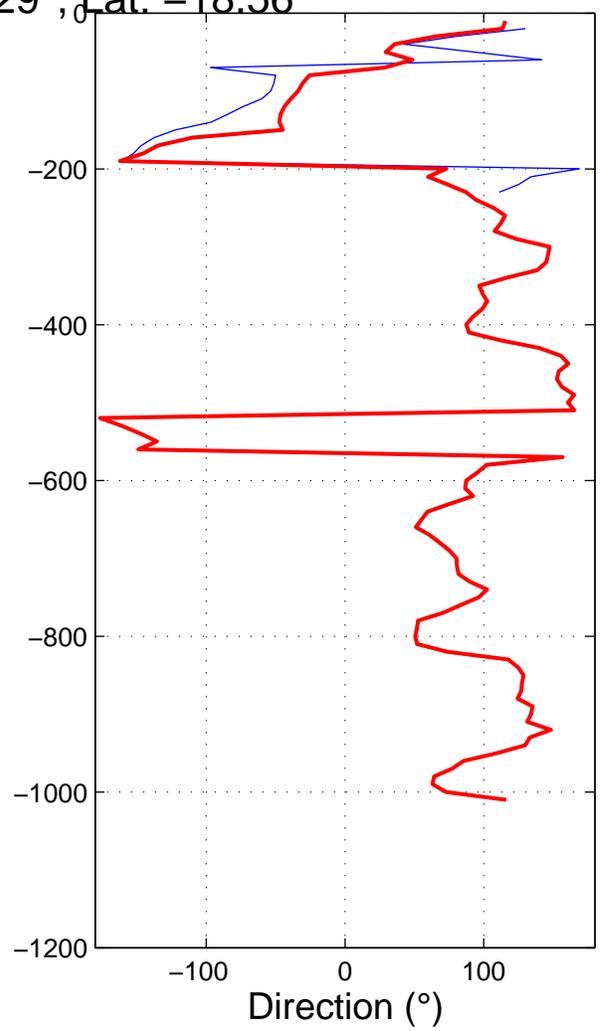
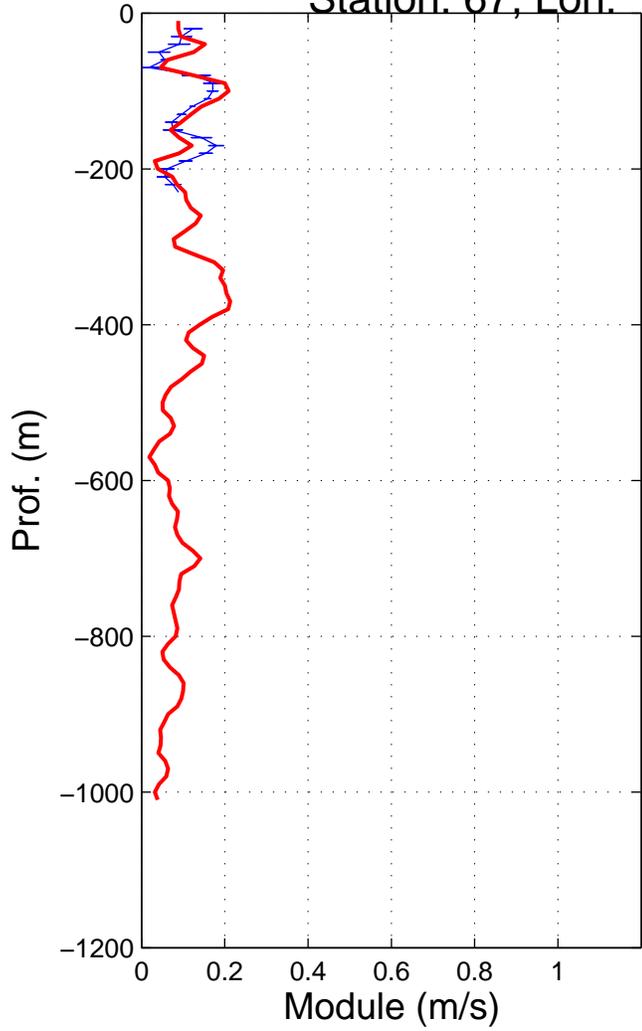
Station: 65, Lon: 165.01°, Lat: -17.01°



Station: 66, Lon: 165.01°, Lat: -18.01°



Station: 67, Lon: 164.29°, Lat: -18.56°



Station: 68, Lon: 163.58°, Lat: -18.79°

