

RAPPORTS DE MISSION
SCIENCES DE LA MER
OCEANOGRAPHIE PHYSIQUE

N° 24

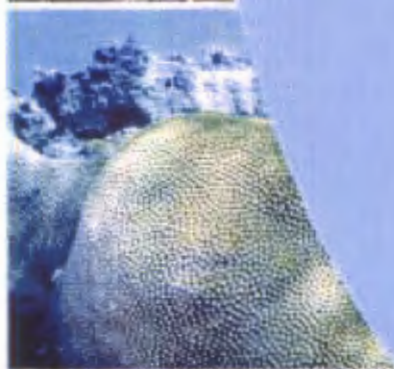
Décembre 2009

**Rapport de la mission océanographique FLUSEC-01 à
bord du N.O. Alis du 12 au 30 Août 2007
en mer de Corail, Océan Pacifique Sud-Ouest**

**Christophe Maes
Gérard Eldin
Angélique Melet
Jérôme Lefèvre
Joël Sudre
David Varillon
Alexandre Ganachaud
et Lionel Gourdeau**



**Institut de recherche
pour le développement**



RAPPORTS DE MISSION
SCIENCES DE LA MER
OCEANOGRAPHIE PHYSIQUE

N° 24

Décembre 2009

**Rapport de la mission océanographique FLUSEC-01 à
bord du N.O. Alis du 12 au 30 Août 2007
en mer de Corail, Océan Pacifique Sud-Ouest**

Christophe Maes (1)
Gérard Eldin (2)
Angélique Melet (3)
Jérôme Lefèvre (1)
Joël Sudre (4)
David Varillon (5)
Alexandre Ganachaud (1)
et Lionel Gourdeau (2)

- (1) UMR65 LEGOS, IRD, centre de Nouméa, Nouvelle-Calédonie**
- (2) UMR65 LEGOS, IRD, Toulouse**
- (3) Université J. Fournier, Grenoble**
- (4) UMR65 LEGOS, CNRS, Toulouse**
- (5) US191 IMAGO, IRD, centre de Nouméa, Nouvelle-Calédonie**

© IRD, Nouméa, 2009

/Maes, C.
/Eldin, G.
Melet, A.
/Lefèvre, J.
Sudre, J.
/Varillon, D.
/Ganachaud, A.
/Gourdeau, L.

Rapport de la mission océanographique FLUSEC-01 à
bord du N.O. Alis du 12 au 30 Août 2007
en mer de Corail, Océan Pacifique Sud-Ouest

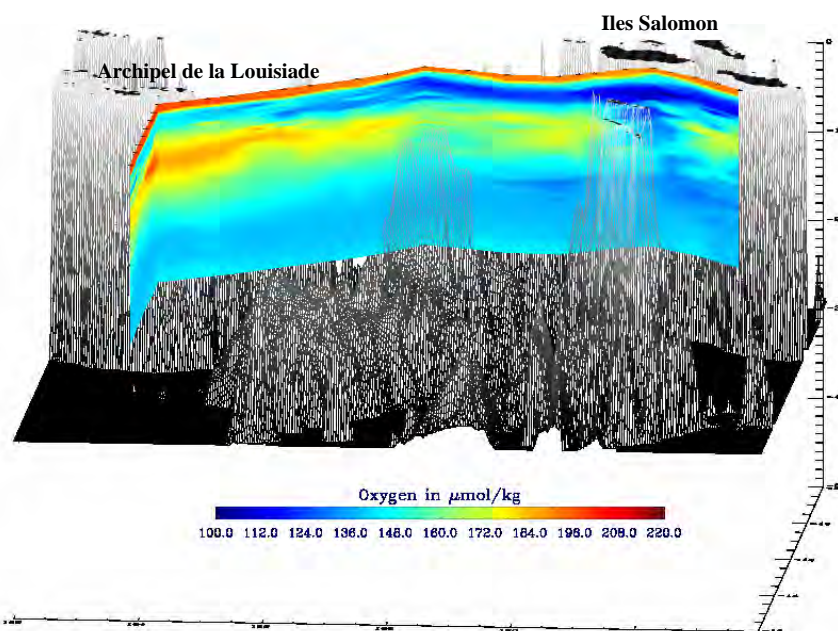
Nouméa : IRD. Décembre 2009. 98 p.
(Sci. Mer; Océanogr. physique; Rapp. Misions ; 24)

**CAMPAGNE OCEANOGRAPHIQUE; HYDROLOGIE MARINE;
COURANT MARIN; CIRCULATION OCEANIQUE;
ZONE TROPICALE / PACIFIQUE ; CORAIL MER ; SALOMON MER**

Imprimé par le Service ISC
Centre IRD de Nouméa
Décembre 2009

Rapport de la mission océanographique FLUSEC-01 à bord du N. O. Alis du 12 au 30 Août 2007 en mer de Corail, Océan Pacifique Sud-Ouest

Christophe Maes⁽¹⁾,
Gérard Eldin⁽²⁾,
Angélique Melet⁽³⁾,
Jérôme Lefèvre⁽¹⁾,
Joël Sudre⁽⁴⁾,
David Varillon⁽⁵⁾,
Alexandre Ganachaud⁽¹⁾
et Lionel Gourdeau⁽²⁾



Vue en trois dimensions de la concentration en oxygène dissous (0-2000m) à l'entrée de la mer des Salomon

- (1) UMR65 LEGOS, IRD, centre de Nouméa, Nouvelle Calédonie
- (2) UMR65 LEGOS, IRD, Toulouse
- (3) Université J. Fourier, Grenoble
- (4) UMR65 LEGOS, CNRS, Toulouse
- (5) US191 IMAGO, IRD, centre de Nouméa, Nouvelle Calédonie

Résumé

Afin de prévoir les modulations à basse fréquence du système climatique de l'Océan Pacifique tropical, il est impératif de comprendre le cheminement des masses d'eaux depuis les régions extra-tropicales vers la bande équatoriale et d'analyser les processus de ventilation qui contrôlent la variabilité et les caractéristiques des eaux de la thermocline principale. D'un point de vue dynamique, les eaux qui transitent par le sous-courant équatorial proviennent majoritairement de l'océan Pacifique Sud mais les détails de la répartition entre les cheminements intérieurs directs et/ou les courants de bord ouest rentrant en mer des Salomon demeurent encore largement méconnus. Dans le Pacifique sud-ouest, la circulation liée aux cellules méridiennes peu profondes (STCs) est principalement l'œuvre du Courant Equatorial Sud qui subit des modifications importantes lors de sa rencontre avec les archipels et récifs des îles Fidji, de l'archipel du Vanuatu et de la Nouvelle Calédonie. L'ensemble des caractéristiques des courants et des jets résultants, tels que l'amplitude du transport de masse, les variations saisonnières ou bien encore leur extension verticale, représente le questionnement général de cette campagne FLUSEC-01 qui s'insère, *de facto*, dans les objectifs scientifiques identifiés par le programme scientifique international SPICE (Southwest Pacific Ocean Circulation and Climate Experiment).

La campagne océanographique FLUSEC-01 a pour objectif principal d'estimer le flux de masse d'eau rentrant en mer des Salomon depuis la mer de Corail, entre l'extrémité sud-est de l'archipel de la Louisiade (Papouasie Nouvelle-Guinée) et l'extrémité sud de l'île de Guadalcanal (Iles Salomon). Il s'agit aussi d'en mesurer les principales caractéristiques qui permettent ainsi de remonter aux zones de formation de ces masses d'eau. La campagne s'est déroulée du 12 au 30 Août 2007 à bord du navire océanographique Alis de l'IRD. Les principaux travaux sont constitués par 47 stations hydrologiques de type Conductivity-Temperature-Depth (CTD) à partir d'une sonde SBE 911+ montée sur une bathysonde comprenant, en complément, une mesure de la concentration en oxygène dissous (capteur SBE 43) et une mesure de courantométrie par effet Doppler. La majorité des stations ont échantillonné la colonne d'eau depuis la surface jusqu'à 2000 m de profondeur. En complément de ces mesures, deux flotteurs autonomes du projet Argo ont été déployés, deux points de prélèvements d'eaux pour des mesures géochimiques du néodyme ont été spécifiquement réalisés, ainsi que le déploiement d'un « Spray glider » au large de l'île de Rossel dans l'archipel de la Louisiade. Ce rapport décrit l'ensemble de ces opérations, leur déroulement ainsi que le matériel utilisé et les méthodes de calibration des données recueillies. Les résultats préliminaires de ces analyses sont aussi présentés et succinctement documentés dans ce rapport.

Mots clefs : campagne océanographique, Océan Pacifique sud-ouest, mer de Corail, mer des Salomon, océanographie physique, programme SPICE

Remerciements

La préparation et le bon déroulement de cette première mission en mer de Corail et à l'entrée de la mer des Salomon effectuée dans le cadre scientifique du projet international SPICE, doivent beaucoup à l'enthousiasme et au professionnalisme de l'ensemble de l'équipage du N. O. Alis. Nous tenons à remercier chaleureusement le commandant Raymond Proner, les officiers et les matelots pour leur accueil à bord, leur disponibilité et leur serviabilité.

Les autorisations de travail dans les eaux territoriales des pays traversés, Papouasie Nouvelle Guinée et les Iles Salomon, 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 l'aide efficace apportée par Mme Geneviève Knote au sein de ces ambassades ainsi que les encouragements du directeur du centre IRD de Nouméa, Mr Fabrice Colin.

De nombreux aspects techniques et logistiques nécessaires au bon déroulement de la campagne ont été menés à bien grâce à l'aide apportée par Bernard Schauer (LOCEAN) pour le prêt du titrateur Mettler DL21 de chimie, par Donald McKenzie (CSIRO, Australie) pour le prêt d'un capteur SBE43 de secours, par Ann Thresher, Robert Weldon et Peter Jackson du CSIRO à Hobart (Australie) pour leur aide sur le transfert des flotteurs APEX du réseau Argo, par Léocadie Jamet et François Baurand (IRD) pour leurs précieux conseils et apports sur les mesures des échantillons de la concentration de l'oxygène dissous, par Angelo Di Matteo (IRD Nouméa) qui effectue les mesures de salinité sur les échantillons des bouteilles collectées en mer dans le cadre de l'ORE-SSS, et finalement par Gregory Johnson et Kristy McTaggart (NOAA/PMEL) pour leur expertise et leur aide technique qui ont été essentielles à la calibration des données de la concentration de l'oxygène dissous. L'utilisation du « Spray glider » a été possible grâce à la collaboration entre la SCRIPPS Institute of Oceanography via Russ Davis, le Pacific Marine Environmental Laboratory via William Kessler et l'équipe OLVAC du LEGOS. Un grand remerciement à toutes ces contributions.

La campagne FLUSEC-01 a été opérée et financée principalement par l'IRD et soutenue en partie par le programme national LEFE-IDAO.

Table des matières

Liste des illustrations, figures et tableaux

Version abrégée en anglais - Abridged English version

1. Introduction
2. Déroulement général
3. Description des mesures en hydrologie
 - 3.1 Sonde CTD-O₂
 - 3.2 Calibration des capteurs et précision de la mesure en salinité
 - 3.3 Contenu et format des fichiers de sortie
 - 3.4 Principales sections de la campagne
4. Description des mesures de la concentration en oxygène dissous
 - 4.1 Les mesures bouteilles
 - 4.2 La calibration des mesures de sonde
 - 4.3 Comparaisons globales avec la climatologie CARS-2006
5. Description des mesures de courantométrie L-ADCP
 - 5.1 Principes de la mesure
 - 5.2 Principe du traitement des mesures
 - 5.3 Acquisition des mesures
 - 5.4 Traitement des mesures
 - 5.5 Coupes verticales des courants
6. Description des mesures de courantométrie VM-ADCP de coque
 - 6.1 Acquisition
 - 6.2 Traitement des données
 - 6.3 Coupes verticales des courants
7. Description des mesures en continu de surface
 - 7.1 Mesures météorologiques
 - 7.2 Données du ThermoSalinoGraphe
8. Opérations d'opportunité
 - 8.1 Mesures géochimiques
 - 8.2 Mesures des sondes XCTD
 - 8.3 Déploiement de flotteurs autonomes APEX du réseau Argo
 - 8.4 Mise à l'eau d'une mission « Spray-Glider »
9. Références
10. Annexes
 - Annexe 1 : Chronologie détaillée de la campagne
 - Annexe 2 : Représentation verticale des profils hydrologiques CTD-O₂
 - Annexe 3 : Représentation verticale des profils de courantométrie ADCP

Liste des illustrations, figures et tableaux

Photographie 1 : Le navire océanographique Alis de l'IRD

Figure 2.1 : Route et positions des 47 stations hydrologiques CTD-O₂ (étoiles) effectuées au cours de la campagne océanographique FLUSEC-01 en mer de Corail. La ligne pointillée représente l'isobathe 2000 m issue des données bathymétriques ETOPO.

Table des noms du personnel scientifique embarqué

Table des noms du personnel de bord embarqué

Photographie 2: Ensemble des participants de la mission océanographique FLUSEC-01

Tableau 3.1 : date de calibration des différents capteurs CTD SBE911+

Figure 3.1 : Ecart entre les valeurs de salinité issues des analyses des échantillons et des mesures de la sonde SBE911+ en fonction de la profondeur (haut) et du numéro de station (bas). Les échantillons des bouteilles de prélèvements 5 à 7 ne sont pas considérés dans cette comparaison (les lignes en pointillé correspondent aux valeurs +/- 0.005).

Figure 3.2 : Sections verticales de la température potentielle (°C), salinité, densité (kg/m³) et de la concentration en oxygène dissous (ml/l) le long de 154°E (stations 8 à 15). La position des stations est indiquée par les flèches sur l'axe des abscisses.

Figure 3.3 : Sections verticales de la température potentielle (°C), salinité, densité (kg/m³) et de la concentration en oxygène dissous (ml/l) à l'entrée de la mer des Salomon (stations 16 à 35).

Figure 3.4 : Sections verticales de la température potentielle (°C), salinité, densité (kg/m³) et de la concentration en oxygène dissous (ml/l) vers l'île de Makira (stations 36 à 41).

Figure 4.1 : Evolution des blancs d'analyses

Figure 4.2 : Evolution du titre du thiosulfate pendant la campagne

Figure 4.3 : Ecart en pression de l'isopycne de déclenchement des bouteilles entre la descente et la montée, pour chaque station, et en fonction de la profondeur. Cette correction implique une correction en concentration d'oxygène dissous située entre 0 et 5 µmol/kg.

Figure 4.4 : Résidus après calibration (différence CTD-bouteille) de la concentration en oxygène dissous (en µmol/s) en fonction du numéro de station (à gauche) et de la profondeur pour toutes les stations (à droite).

Figure 4.5 : Comparaisons entre les données de FLUSEC-01 et la climatologie CARS-2006 (en rouge) pour les principales sections (stations 8-15, 16-35 et 36-41, respectivement de haut en bas).

Tableau 5.1 : Principaux paramètres d'acquisition

Tableau 5.2 : Principaux paramètres du traitement par le logiciel LDEO

Tableau 5.3 : Classement des profils par qualité croissante

Figure 5.1: Section verticale des composantes zonales et méridiennes du courant mesurées par le L-ADCP (contour intervalle fixé tous les 10 cm/s) pour les stations 01 à 15.

Figure 5.2: Section verticale des composantes zonales et méridiennes du courant mesurées par le L-ADCP (contour intervalle fixé tous les 10 cm/s) pour les stations 15 à 36.

Figure 5.3: Section verticale des composantes zonales et méridiennes du courant mesurées par le L-ADCP (contour intervalle fixé tous les 10 cm/s) pour les stations 36 à 47.

Tableau 6.1 : Caractéristiques d'acquisition du VM-ADCP

Figure 6.1 : Différence cap GPS - cap gyro au cours du temps avec la 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).

Tableau 6.2 : Valeurs des coefficients d'étalonnage déterminés après correction des erreurs dues au gyro du navire

Figure 6.2: Histogrammes de A et ϕ et différences d'horloges GPS-ADCP après application de la correction GPS-gyro

Figure 6.3 : Section des composantes du courant VM-ADCP de Nouméa à 12°S-154°E

Figure 6.4 : Section quasi-zonale des composantes du courant VM-ADCP à l'entrée de la mer des Salomon, 12°S-154°E à 11°S-161.66°E

Figure 6.5 : Section des composantes du courant VM-ADCP de 10.20°S-160.40°E à Nouméa

- Figure 7.1 : Vent et température de l'air (°C) relevés le long de la trajectoire par la station météorologique BATOS à bord du N. O. Alis. La flèche en bas indique l'échelle du vent et la barre colorée à droite donne l'échelle de la température de l'air. Les vents ont été moyennés tous les 10 minutes et sont représentés toutes les 2 heures.
- Figure 7.2 : Suivi temporel de la température de l'air, de la température de l'eau de mer, de la pression atmosphérique de surface et de l'humidité relative mesurées par la station Batos.
- Figure 7.3 : Enregistrements de la salinité et de la température du TSG-SBE21. Les croix représentent les échantillons de salinité et les données CTD de la SBE911+
- Figure 8.1 : Composition isotopique de néodyme des stations de FLUSEC-01 et EUC-Fe en fonction de la profondeur ; ϵ_{Nd} est sans unité (extrait de Grenier, 2009).
- Figure 8.2 : Profils verticaux de la température potentielle et de la salinité issus des sondes XCTD (en couleur) ; pour comparaison les profils CTD des stations 41 et 42 sont représentés en noir (respectivement en continu et en pointillé). La position géographique de ces tirs XCTD est donnée dans l'encart (en bleu) avec la route du navire (en rouge).
- Figure 8.3 : Positions géographiques des profils acquis par le flotteur APEX Id-WMO 5901627
- Figure 8.4 : Séries temporelles de la température (haut) et de la salinité (bas) issues des profils collectés par le flotteur APEX Id-WMO 5901627
- Photographie 8.1 : The Spray glider fixed on the desk of the R/V Alis and, at sea, in the vicinity of the Rossel Island
- Figure 8.5 : Temperature (top) and salinity (bottom) sections along the glider track. Distances are in km from the location of deployment (point A).
- Figure 8.6 : Depth averaged glider currents once the data have been tide filtered (left) and vertical section of absolute cross track geostrophic velocity (right). Distances are in km from the location of deployment (point A, see Fig. 8.5).

Version abrégée en anglais - Abridged English version

Abstract

The present report describes the FLUSEC-01 oceanographic cruise onboard the Research Vessel (R/V) Alis that was staged in the southwest Pacific Ocean during the period between 12 and 30 August 2007. The motivation of this cruise is the quest to understand the nature and the variability of exchanges between the extra-tropical region and the equatorial Pacific band. The FLUSEC-01 mission focuses on the southwest Pacific, and more precisely, on the region that connects the Coral Sea to the Solomon Sea. The main work of the cruise was composed of 47 hydrological stations using a CTD-O₂ probe and self contained L-ADCP measuring the water column from the surface down to 2000 m depth. Complementary and opportunity activities were also conducted and they included the collection of water samples for geochemical analyses, deployment of autonomous floats in the context of the Argo program, and the deployment of a Spray glider mission within the Solomon Sea. The main objectives of this report are to present in detail all these different aspects of the FLUSEC-01 mission, to describe the calibration techniques and the accuracy of the basic data, and finally, to highlight the preliminary scientific results.

Keywords: oceanographic cruise, southwest Pacific Ocean, Coral Sea, Solomon Sea, physical oceanography, SPICE project

Introduction

South Pacific thermocline waters are transported by the westward flowing South Equatorial Current that represents the westward limb of the South Pacific subtropical gyre. This pathway is the major element in the redistribution of water masses from the subtropics to the equator and to the Southern Ocean, once it has bifurcates along the Australian coast to flow southward as the East Australian Current and to flow northward as the North Queensland Current into the Solomon Sea. In consequence, the transit in the Coral and Solomon Seas is potentially important in determining the tropical climate in relation to the low frequency modulation of El Nino Southern Oscillation (ENSO) cycle. It also represents a principal water mass connection between the subtropical southwest Pacific and the equatorial ocean. Recently, several studies reported on observational evidence of substantial changes in this circulation over the last 50 years with possible consequences for ENSO modulation and for climate variability in the regions surrounding Australia and New Zealand.

The southwest Pacific Ocean remains a poorly documented region and although the existing observational network is beginning to provide a large-scale picture, the complex circulation and western boundary currents require further dedicated study. This is the purpose of a regionally coordinated experiment, the Southwest Pacific Ocean Circulation and Climate Experiment (SPICE), endorsed by the CLIVAR and WCRP programs since mid-2008. The present mission represents a preliminary action that fits with two main concerns of SPICE, namely the study of the SEC inflow in the Coral Sea and the study of circulation of the Solomon Sea. More specifically, the FLUSEC-01 mission is located precisely at the boundary between these two seas and so the principal objectives of the cruise were:

- To determine the main characteristics of the water masses entering to the Solomon Sea from the Coral Sea
- To estimate the water mass transport from the surface down to 2000 m depth
- And, finally, to complete early observations of the main jets entering the Coral Sea, i.e., the North Vanuatu Jet and the North Caledonian Jet.

Scientific crew, affiliations and duties

Dr Christophe Maes, IRD LEGOS Nouméa, chief scientist

Dr Gérard Eldin, IRD LEGOS Toulouse, ADCP data

Jérôme Lefèvre, IRD Nouméa, O₂ data

David Varillon, IRD Nouméa, computers and electronics

Joël Sudre, CNRS LEGOS Toulouse, CTD data

Angélique Melet, PhD student, Univ. J. Fourier, Grenoble, CTD data

Cruise plan

The FLUSEC-01 oceanographic cruise was conducted in the Coral Sea, southwest Pacific Ocean onboard the R/V Alis (see the photo-1). The main track and the positions of the hydrological stations are shown in Figure 2.1 with the first station located near the northern tip of the D'Entrecasteaux Reef (17° 59.78'S – 162° 39.98'E). The main parts include a section along 154°E (stations 8 to 15), a section from the Louisiade Archipelago in Papua New Guinea to the southern part of Makira Island in the Solomon (stations 16 to 35), and finally, a third section along 161°E (stations 36 to 41). The mission ended with a few stations around the northern tip of the D'Entrecasteaux Reef. The total number of stations was 47, and most of them measured the water column down to 2000 m depth. A detailed summary of the mission can be found in the first appendix at the end of this report.

The major problems encountered on the cruise were errors in the depths of water samples collected by the Niskin bottles attached to the CTD rosette. The problem was revealed by some preliminary comparisons between the measured values of the concentration of dissolved oxygen as compared to the values recorded from the CTD probe. These discrepancies were confirmed after the cruise when comparing also the salinity samples with the CTD values themselves. After a careful consideration of all the water samples, both in salinity and in oxygen concentration, it was determined that the final CTD-O₂ calibration of the FLUSEC-01 mission is acceptable and has an accuracy comparable to the previous and recent calibrations achieved during oceanographic cruises conducted onboard the R/V Alis from the IRD centre of Nouméa.

CTD measurements

Each station used a SeaBird SBE 911+ probe to measure the conductivity, temperature, depth and a SeaBird SBE43 sensor to measure the dissolved concentration of oxygen. The dates of pre- and post-calibration of these different sensors as well as their ID are given in table 3.1 and it shows that the FLUSEC-01 cruise took place shortly after the most recent calibration and that no significant drift was detectable. For the salinity, comparisons with water samples collected at different depths were made after the cruise. At the IRD centre of Nouméa, the samples were analyzed with a Guildline Portsal model 8410 salinometer that has a resolution better than 0.0003 in practical salinity units. Standardization was done by use of IAPSO Standard Seawater batch P140. The precision estimated on replicates from this mission and previous cruises operated under similar conditions was found to be approximately 0.002 in salinity. Figure 3.1 displays the difference in salinity between the bottle samples and the CTD measurements as a function of depth and the number of the station (i.e., time). After discarding samples obviously linked to a large uncertainty (mainly due to leaky Niskin bottles), a mean correction of 2×10^{-3} has been applied to each profile. After this step, the differences are smaller than 3×10^{-4} with an rms of 5×10^{-3} . These values are acceptable and conform to those of previous IRD missions conducted at Nouméa during the recent years. The data are finally processed following the WHP code format and archived by the SISMER data centre of IFREMER. The main sections of potential temperature, salinity,

density and dissolved concentration in oxygen are displayed in Figures 3.2, 3.3, and 3.4, respectively, for the main three sections. Each individual profile is shown in the second appendix of this report.

Dissolved O₂ concentration measurements

At each station, discrete samples of water are collected in clear glass bottles and the oxygen concentration is measured by Winkler titration using a Mettler DL21 titrator. The thiosulfate titration was carried out in a controlled environment laboratory maintained at temperatures between 23° and 27°C. Thiosulfate normality was determined on a daily basis and whenever new reagents were made up (See the time evolution in Figures 4.1 and 4.2). All the reagents of fixing products had been prepared and controlled by the chemical laboratory operating at the IRD centre of Nouméa. Duplicate samples were taken systematically during the mission and the reproducibility of the measurements was found to be 0.44 µmol/kg (based here on 23 pairs).

The calibration of the CTD oxygen from the SBE43 sensor was based on the PMEL procedures and it was carried out by A. Ganachaud. First, the sample values are replaced on the same pressure level and the Figure 4.3 shows the difference in pressure for the whole collection. The CTD oxygen data were then calibrated by fitting to sample values using the formula as shown on page 31 (see the section 4.2). A minimization procedure is then applied, iterating until the residual CTD-Samples differences fall below a 2.8 s.d. Figure 4.4 displays the residual after calibration as a function of station number and depth. The outliers represent 8% of the water samples, and the final residual is found to be equal to -0.007 +/- 1.0 µmol/kg. This level of precision fits with the suggested WOCE standards. Finally, data accuracy is also checked by comparison with the CARS-2006 climatology along the three main sections as shown in Figure 4.5.

ADCP measurements

Direct velocity observations are very valuable for studying many aspects of ocean dynamics. Despite the usefulness of vessel-mounted acoustic Doppler current profiler (VM-ADCP) these data are still limited by their depth range and, to overcome this limitation, a technique that puts self-contained ADCPs on the CTD rosette has been developed. These are referred to as Lowered-ADCP measurements. Two “Workhouse 300” ADCP instruments manufactured by RDI are mounted on our CTD rosette, looking up and down, a configuration that allows a long range and a high accuracy at a fine vertical resolution. The data are processed using the LDEO software (version 8b) and the main parameters used during the collection and the processing are listed in tables 5.1 and 5.2, respectively. A qualitative comparison with the VM-ADCP profiles allows them to be classified as shown in table 5.3. Figures 5.1, 5.2 and 5.3 display the current components along the three main sections of FLUSEC-01.

During the mission, VM-ADCP measurements were collected continuously employing a hull mounted 150 kHz instrument manufactured by RDI. In support of the ADCP, a GPS receiver provided heading information superior to that of the ship’s gyro. The parameter values used during the FLUSEC-01 mission are listed in the Table 6.1. The treatment of these ADCP data is based on the CODAS-3 software, during the cruise and after in order to integrate with the ship navigation. Comparisons of these post calibration steps reveal that the different instruments onboard the R/V Alis have been very stable over the years since the earlier oceanographic cruises operated between 2001 and 2005 within the context of the FRONTALIS project. The final data sets give an estimate of the zonal and meridian components of the current down to 200 m depth with a vertical resolution of approximately 8m. Figures 6.3, 6.4 and 6.5 display the current components along the three main sections of

the FLUSEC-01 mission. Each vertical profile for the two types of ADCP data is plotted in the appendix 3.

Surface measurements

A meteorological station is installed onboard the R/V Alis and the air temperature, sea temperature, atmospheric surface pressure, relative humidity and wind direction and speed are recorded every minute. A general overview of the surface wind conditions and air temperature is shown in Figure 7.1, while the timeseries of these parameters are displayed in Figure 7.2 for the entire period of the mission.

During the cruise, continuous underway measurements of near surface temperature and salinity were made with a ThermoSalinoGraph (TSG SeaBird SBE-21) that contribute to the data collection of the French ORE-SSS (www.legos.obs-mip.fr/observations/sss). Post calibration of the SBE21 sensor shows negligible drift, both in temperature and salinity. Comparisons with water samples collected during the mission exhibit a weak linear trend following the relationship: $y = 0.001 t$ (number of days) + 0.0166; Cross comparisons with the CTD surface data are displayed on Figure 7.3 and, after corrections, show a mean difference of 0.0053 in salinity (0.036 RMS). A warm bias of 0.4°C in temperature is also removed from the TSG data, a value that is similar to previous cruises.

Opportunity programs

- Geochemical measurements of the neodymium isotopic composition
- XCTD drops
- Release of APEX floats within the Argo context
- Release of a Spray glider mission in the Solomon Sea

Appendixes

- Summary of the mission
- Vertical profile of the CTD-O₂ parameters for each station
- Comparisons along the vertical between L-ADCP and VM-ADCP for each station

1. Introduction

Dans la région de l'Océan Pacifique sud-ouest, les eaux de la thermocline principale sont transportées par le Courant Sud Equatorial (SEC) en provenance de la « gyre » subtropicale située dans la partie centrale du Pacifique. Une partie importante de ces eaux est redistribuée vers les régions équatoriales où elles ont alors la capacité de moduler les caractéristiques de la thermocline équatoriale, et par là même, de moduler les caractéristiques du phénomène climatique El Niño/Southern Oscillation (ENSO). C'est le phénomène dominant de la variabilité climatique globale aux échelles interannuelles mais il intervient aussi dans les échelles de variation plus lentes. Si notre compréhension de ce phénomène a beaucoup progressé ces dernières décennies, la limite de sa prévisibilité est encore très largement méconnue. L'étude et la compréhension des variations d'ENSO à plus basse fréquence, du décennal à l'inter-décennal, imposent alors non seulement de prendre en compte la dynamique couplée de la bande tropicale mais aussi les interactions et les processus d'échange entre les tropiques et les latitudes extra-tropicales. Sur les 50 dernières années, différentes études ont mis en évidence des changements substantiels dans cette circulation océanique des régions sub-tropicales de l'Océan Pacifique Sud, influençant la région équatoriale mais aussi, et de façon comparable, les conditions climatiques locales autour de l'Australie et de la Nouvelle Zélande.

Ainsi, malgré son importance potentielle, la région de l'Océan Pacifique sud-ouest est relativement peu documentée et n'a pas fait l'objet de projets scientifiques spécifiques et dédiés depuis les premières campagnes océanographiques de l'ORSTOM (Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération) opérées depuis le centre de Nouméa dans les années 60 (Maes, 2006). Seule la radiale le long du méridien à 165°E a été échantillonnée de façon assez régulière depuis la décennie du programme TOGA (Tropical Ocean-Global Atmosphere, 1984-1994), avec plus récemment le projet des trois campagnes océanographiques FRONTALIS réalisées entre 2001 et 2005 (Eldin *et al.*, 2004 ; Maes, 2008). Parmi les différentes raisons de cet état de fait, il convient de noter que cette vaste région est par nature essentiellement maritime, qu'elle est assez isolée d'un point de vue géographique et qu'elle possède une géométrie complexe due à la présence de nombreux archipels d'îles et de récifs coralliens. A titre d'exemple la mise en évidence de l'existence d'un jet océanique à partir d'observation *in situ* au nord du récif D'Entrecasteaux doit être associée au projet de recherche des campagnes océanographiques SECALIS effectuées entre 2003 et 2006 ; ce jet étant lui-même une composante du flux de masse associé plus généralement au SEC (Maes *et al.*, 2007 ; Gourdeau *et al.*, 2008 ; Ganachaud *et al.*, 2008a).

Les études actuelles sur les variations et le cheminement des eaux subtropicales se basent essentiellement sur des profils hydrologiques et sur des modèles numériques. Si un cheminement intérieur direct a pu être mis en évidence, la plupart du flux de masse en sub-surface transite par des courants de bord ouest associés au courant et sous-courant côtiers de Nouvelle-Guinée (NGCUC). Les moyens d'observation actuels que sont les flotteurs autonomes du réseau Argo, les observations collectées depuis le programme VOS (Volunteer Observing Ship) à partir des navires de commerce et les différents produits satellites permettent d'obtenir seulement une vision à grande échelle de cette circulation. En aparté, les courants de bord ouest et les principaux jets océaniques ne sont pas décrits de façon précise par ces moyens traditionnels. Par ailleurs, les modèles numériques ont besoin d'observation *in situ* de cette nature pour valider leur schéma de circulation (Frenay, 2008 ; Melet *et al.*, 2009). Ces derniers points ont motivé l'élaboration d'un programme international de recherche dédié qui s'appelle SPICE pour Southwest Pacific Ocean Circulation and Climate Experiment (Ganachaud *et al.*, 2007), actuellement en cours de réalisation. La présente campagne océanographique doit se voir comme une étape préliminaire à la phase intensive de ce projet

(voir le plan d'implémentation détaillé par Ganachaud *et al.*, 2008b), prévue pour la période à venir 2009-2012. Il est aussi important de noter que, depuis mi-2008, le projet SPICE a été labellisé par le programme des recherches internationales sur le climat et sa prévisibilité, CLIVAR¹.

Les objectifs principaux de la campagne FLUSEC-01 étaient d'observer les caractéristiques des eaux transitant vers la mer des Salomon depuis la mer de Corail et d'estimer le flux de masse total sur la colonne d'eau de la surface à 2000 m de profondeur. Dans une certaine mesure il s'agit aussi de quantifier la part relative des eaux provenant des courants de bord ouest et celles provenant directement du flux d'ouest. L'extension des études sur les eaux et les transports de masse rentrant dans la mer des Salomon doit être assurée par les mesures acquises lors de la mission d'un « Spray-Glider » largué au large de l'île de Rossel (voir la partie 8.4). Les objectifs complémentaires de la campagne étaient de confirmer l'existence du Jet Nord Calédonien et de caractériser, dans la mesure du possible, son extension verticale.

Ce rapport décrit le déroulement de la campagne (partie 2) et donne une description des différentes mesures qui ont été opérées comprenant les mesures en hydrologie (partie 3), les mesures de la concentration en oxygène dissous (partie 4), les mesures de courantométrie à effet Doppler de sonde (partie 5) et de coque (partie 6), et finalement les mesures de surface enregistrées en continu (partie 7). Les différentes opérations d'opportunité sont décrites dans la dernière partie de ce rapport. Une représentation graphique en fonction de la profondeur des différents paramètres mesurés est donnée pour chaque profil individuel dans les annexes.



Photographie 1 : Le navire océanographique Alis de l'IRD. (@IRD, C. Maes)

¹ http://www.clivar.org/organization/pacific/pacific_SPICE.php

2. Déroulement général

La campagne océanographique FLUSEC-01 s'est déroulée à bord du N. O. Alis (navire océanographique de l'IRD - voir la photographie 1 - faisant 28,40 m de long, 7,60 m de large et pouvant embarquer une équipe scientifique de six membres au maximum) du 12 au 30 Août 2007, principalement en mer de Corail dans l'Océan Pacifique sud-ouest. Le départ depuis le port de Nouméa s'est fait le 12 Août 2007 à 8h du matin (en heure locale). Après avoir navigué dans le lagon calédonien sur la côte ouest, une première station a été effectuée à la pointe nord du récif D'Entrecasteaux ($17^{\circ} 59.780'S$; $162^{\circ} 39.980'E$) le 13 Août 2008 (18h GMT). A partir de cette station, la campagne a suivi le cheminement représenté sur la figure 2.1 où les positions des stations hydrologiques de type CTD-O₂ sont indiquées par des étoiles. La section principale est constituée des stations 8 à 41 en vue de répondre aux objectifs scientifiques majeurs qui sont : en premier, d'estimer le flux méridien de masse entrant en mer des Salomon et, en second, d'établir les principales caractéristiques des masses d'eaux de la colonne d'eau depuis la surface jusqu'à 2000 m de profondeur. En fin de campagne une brève escale technique a été effectuée près de l'îlot Surprise (pointe nord de la barrière récifale de la Nouvelle Calédonie) avant d'entamer le chemin de retour vers le port de Nouméa, via la côte ouest du lagon calédonien, pour une arrivée à quai le 30 Août 2007.

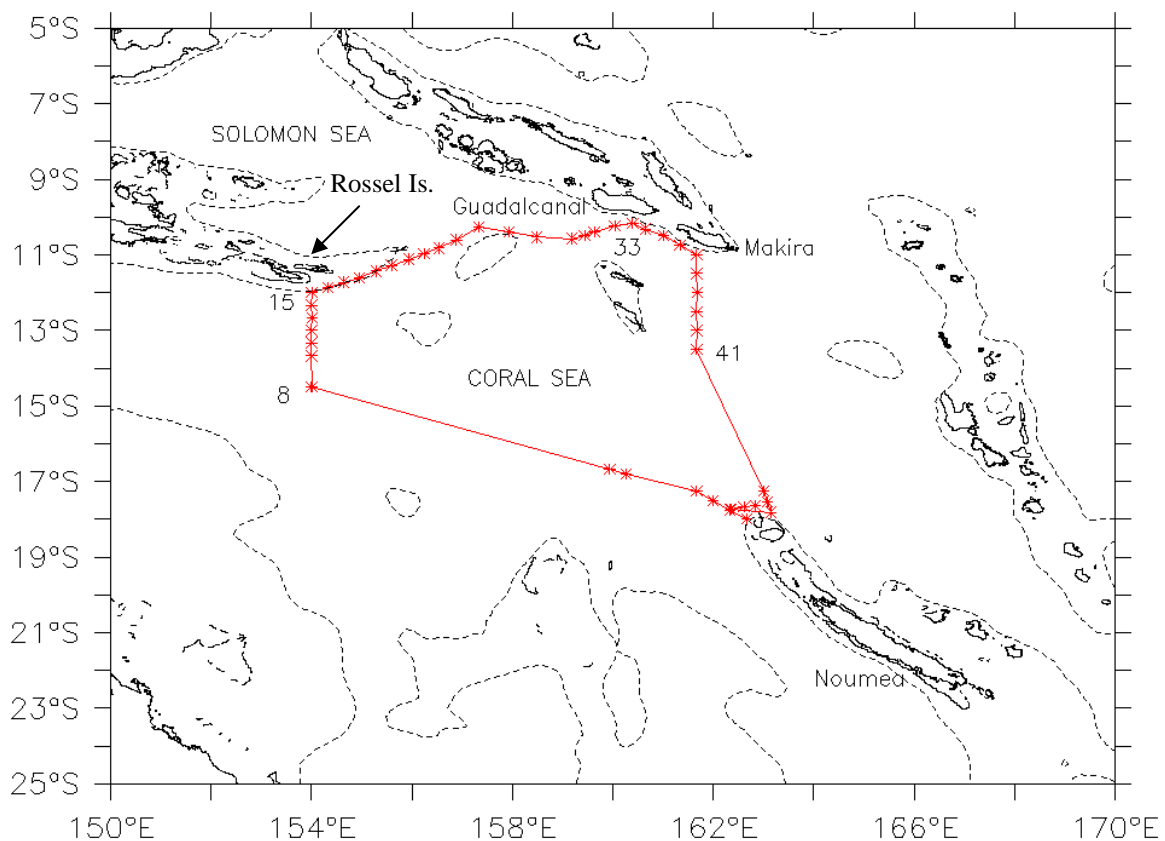


Figure 2.1 : Route et positions des 47 stations hydrologiques CTD-O₂ (étoiles) effectuées au cours de la campagne océanographique FLUSEC-01 en mer de Corail. La ligne pointillée représente l'isobathe 2000 m issue des données bathymétriques ETOPO.

Table des noms du personnel scientifique embarqué

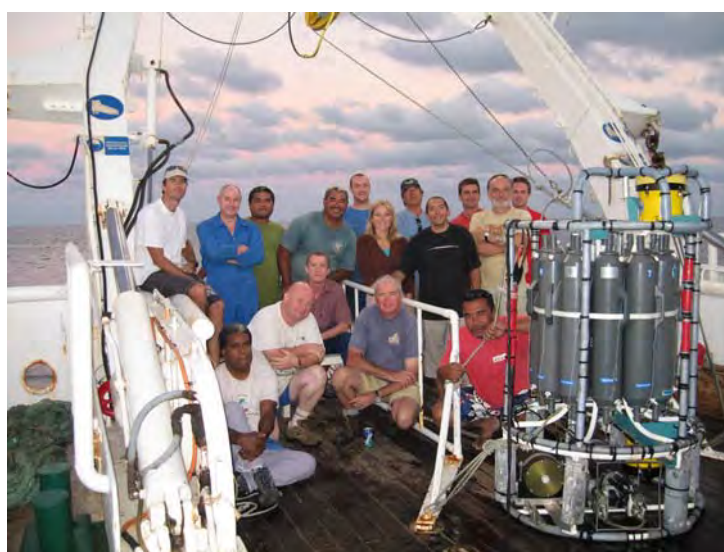
Christophe Maes, CR, chef de mission	IRD, LEGOS, Nouméa
Gérard Eldin, CR	IRD, LEGOS, Toulouse
Jérôme Lefèvre, IE	IRD, centre de Nouméa
Angélique Melet, étudiante	Thèse de doctorat de l'université J. Fourier, Grenoble
Joël Sudre, IE	CNRS, LEGOS, Toulouse
David Varillon, AI	IRD, US 191, Nouméa



...une mission entre la Papouasie Nouvelle Guinée et les Iles Salomon...

Table des noms du personnel de bord embarqué

Raymond Proner	Commandant
Jean-François Barazer	Second Lieutenant
Loic Legoff	Lieutenant
Xavier Travel	Chef mécanicien
Pierrick Prigent	Second mécanicien
Renaud Truffeaud	Mécanicien
Félise Liufau	Bosco
Christian Fitialeata	Matelot
Marcel Sagel	Matelot
Steve Taalo	Matelot
Jacques Quenenoj	Cuisinier
Nicolas Josse	Maître d'hôtel



Photographie 2 : Ensemble des participants de la mission océanographique FLUSEC-01 (@IRD, C. Maes).

Travaux réalisés en station

47 stations hydrologiques de type Conductivity-Temperature-Depth (CTD) ont été réalisées depuis la surface jusqu'à 2000 m de profondeur à partir d'une sonde SBE911+ montée sur une bathysonde comprenant en complément une mesure de la concentration en oxygène dissous (capteur SBE 43) et une mesure de courantométrie à partir de deux L-ADCP RDI WH300. La bathysonde est aussi équipée de 12 bouteilles de prélèvement de type Niskin de 10 litres pour les échantillons de salinité et de concentration en oxygène dissous à différentes profondeurs. Une chronologie sommaire est rappelée ci-dessous et la version plus détaillée des différentes opérations est mentionnée en Annexe 1.

Chronologie sommaire des stations hydrologiques :

J01 à J03: Stations 1 à 7

- Départ vers la station 1 avec un transit par le lagon de la côte ouest de la Nouvelle Calédonie.
- Initiation à la technique de prélèvement des échantillons d'eau de mer pour les mesures en oxygène dissous et mise en route des analyses des doublons.
- Détection des problèmes d'interférence sur les mesures de température et de salinité à partir de la SBE911+ et détection de problèmes sur les gâchettes du déclencheur de la bathysonde ne fonctionnant pas correctement à cause d'un problème de transmission dans le câble électro porteur.
- Changement des capteurs de température et de salinité de la sonde SBE911+, et réalisation d'une nouvelle épissure du câble électro-porteur.
- Pas de prélèvements d'échantillon depuis la bathysonde pour les stations 3, 5 et 6.
- Déploiement d'un flotteur autonome APEX (WMO id 5901626).

J04 à J08 : Section à 154°E entre les stations 8 et 15.

- Différents tests sont effectués pour améliorer les problèmes récurrents de fermeture des bouteilles de prélèvement et de communication entre le « deck unit » et la sonde immergée en station ; des changements non répertoriés et effectués avant le départ de la mission dans la configuration de la sonde SBE911+ sont finalement détectés à partir de la station 8.
- Basculement des trames du GPS MX400 vers l'ancien modèle GPS MX200.
- Réalisation de profils combinés entre les sondes SBE911+ et SBE19.
- Pas de prélèvements d'échantillon pour les stations 8, 9 et 10.
- Déploiement d'un flotteur autonome APEX (WMO id 5901627).
- Déploiement du « Spray-glider » au large de l'île de Rossel (Yela Island).

J09 à J11 : Section Est-Ouest entre la Papouasie Nouvelle Guinée et les Iles Salomon, stations 15 à 33.

- Stations type CTD-O₂
- Station ϵ_{Nd} (no 22)

J12 à J14 : Section à 161° 40'E entre 10°S et 13°S, stations 34 à 41

- Déploiement de sondes XCTD
- Stations type CTD-O₂

J15 à J18 : Stations au nord du récif D'Entrecasteaux, stations 42 à 47

- Stations type CTD-O₂
- Escale près de l'îlot Surprise
- Station ϵ_{Nd} (no 43)

J19 : Retour vers le port de Nouméa.

Travaux réalisés en continu

- Mesure en continu des courants absolus 0-250 m au moyen d'un profileur acoustique à effet Doppler (VM-ADCP) de coque,
- Mesure en continu (enregistrements tous les 5 minutes) de la température et salinité de surface au moyen d'un ThermoSalinoGraphe (TSG),
- 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.

3. Description des mesures en hydrologie

3.1 Sonde CTD-O₂

La sonde hydrologique CTD-O₂ utilisée est une sonde SeaBird de type SBE911+ comprenant :

- 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 $4 \cdot 10^{-5}$ S/m et une précision de 0.0003 S/m.
- un capteur d'oxygène, à membrane polarographique de type SeaBird SBE43, 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 $\mu\text{mol/kg}$, 4 $\mu\text{mol/kg}$ et 0.4 $\mu\text{mol/kg}$ respectivement). Les traitements et la calibration des données d'oxygène sont décrits dans la partie suivante.

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 sonde SeaBird 911+, voir le site web du constructeur : <http://www.seabird.com/911plus.htm>. Les données mesurées par la sonde ont été acquises à

l'aide du logiciel SEASOFT (version 5.37d) 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 exécutée à la suite des programmes suivants du logiciel SBE *data processing*:

- 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).
- ALIGNCTD : ce programme avance de 2 secondes les mesures relatives à l'oxygène afin de les recalculer par rapport aux mesures de pression.
- CELLM : ce programme corrige l'effet de pression sur la conductivité.
- FILTER : ce programme applique un filtre 'passe-bas' à la conductivité (0.03 s) et à la pression (0.15 s).
- LOOPEDIT : ce programme vérifie si le déplacement vertical de la sonde est correct pour effectuer les mesures. En effet, 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 bathysonde dépassant cette dernière lors des fortes décélérations, en descente. Ce programme repère les mesures dont la variation de pression est opposée au déplacement vertical moyen (descente ou montée) ou bien les mesures pour lesquelles la vitesse verticale est inférieure à 30 cm/s pour la sonde SBE911+.
- 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, voir le document SeaBird relatif au logiciel mentionné dans les références bibliographiques.

3.2 Calibration des capteurs et précision de la mesure en salinité

Les numéros de série des différents capteurs utilisés pendant la campagne et les dates de calibration (pré- et retour) sont reportés dans le tableau 3.1 ci-dessous. La pré-calibration correspond ainsi à l'état des capteurs au cours de la mission, tandis que la post-calibration a été utilisée pour vérifier les dérives éventuelles. Ces manipulations de calibration sont effectuées par la société SeaBird Electronics, Inc., USA.

Pour le capteur de pression le résidu de la mesure par rapport à une pression de référence est largement inférieur à 1 psia dans la gamme de variation 0-10000 psia.

Pour les capteurs de température, les dérives ont été estimées pour la période entre le début du mois de juin 2007 et le début du mois de novembre 2008 à, respectivement, +0.152, +0.187 et -0.088 mdegC/an pour les capteurs 2589, 1135 et 2551, respectivement. Compte tenu des dates de la campagne et des faibles valeurs de dérive mesurées, les valeurs de la température sont estimées à partir des coefficients de la pré-calibration.

Pour le capteur de la conductivité numéro 2330, les dérives mesurées ont été estimées à 0.00006 S/m, ce qui implique une dérive en salinité de -0.0002 psu/mois (mesures pour 3S/m). Pour le capteur numéro 2340 ces valeurs sont encore plus faibles. Ces dérives sont suffisamment faibles pour ne pas avoir à corriger les coefficients de pré-calibration utilisés

pendant la campagne et seule une correction *ad hoc* sera apportée par comparaison avec les mesures de salinité effectuées à partir des échantillons récoltés au cours de la campagne.

Tableau 3.1 : date de calibration des différents capteurs CTD SBE911+

Pré-calibration	Post-calibration	ID capteur
Temp (01-06-2007)	02-10-2008	1135
Temp (01-06-2007)	02-10-2008	2589
Temp (01-06-2007)	09-10-2008	2551
Cond (06-07-2007)	08-10-2008	2330
Cond (17-05-2007)	30-09-2008	2340
Oxygène (N/A)	30-08-2008	0068
Pression (N/A)	05-10-2008	0525

La précision des données de salinité est estimée par comparaison avec des mesures de salinité effectuées sur des prélèvements par bouteille à différents niveaux de pression. 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 ont été entreposés dans le laboratoire biologique du N. O. Alis, dont la température a varié entre 23°C et 27°C. Les échantillons ont été analysés au centre IRD de Nouméa au retour de la mission. Les mesures sont faites avec un salinomètre Guildline de type Portasal modèle 8410 (la résolution de cet appareil est de 0,0003 psu, à 15°C et pour une salinité de 35 psu). 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). 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 (Millero et Poisson, 1981), a pour valeur 35,0000.

Lors de la présente campagne en mer, 146 échantillons ont été prélevés depuis les bouteilles Niskin de la bathysonde et 17 échantillons ont été prélevés depuis l'arrivée d'eau du TSG (voir la partie 7). Au cours des différentes campagnes antérieures, la précision des analyses effectuées au centre IRD de Nouméa a été estimée aux alentours de 0.002 en salinité à partir de doublets issus des mêmes bouteilles (voir les rapports de missions en mer de Maes *et al.*, 2006 ; Ganachaud *et al.*, 2007 ; Gourdeau *et al.*, 2008). Nous retiendrons de façon similaire cette valeur comme limite de précision des présentes observations. La figure 3.2 montre les écarts entre les valeurs prélevées et analysées après la campagne et les valeurs de la sonde SBE911+ avec les coefficients de la pré-calibration, en fonction de la profondeur et du numéro de station. Les différents problèmes rapportés dans la partie précédente sur les incertitudes liées à la fermeture des bouteilles de prélèvement 5, 6 et 7 conduisent à ne pas prendre en compte les valeurs de ces échantillons. A partir des 117 valeurs restantes, un écart moyen égal à $2,37 \cdot 10^{-3}$, avec des mesures de salinité plus faibles pour la sonde, est visible. Les plus grandes différences se situent dans les couches superficielles et ne présentent pas de réel biais systématique dans le temps. Une correction *ad hoc* égale à $2 \cdot 10^{-3}$ des valeurs de la salinité a donc été appliquée, et après correction, les différences entre les valeurs des échantillons et les valeurs de la sonde est inférieur à $3 \cdot 10^{-4}$ avec un écart type de l'ordre de $5 \cdot 10^{-3}$. Cette précision est par conséquent acceptable et conforme aux mesures qui ont été effectuées ces dernières années depuis le centre IRD de Nouméa.

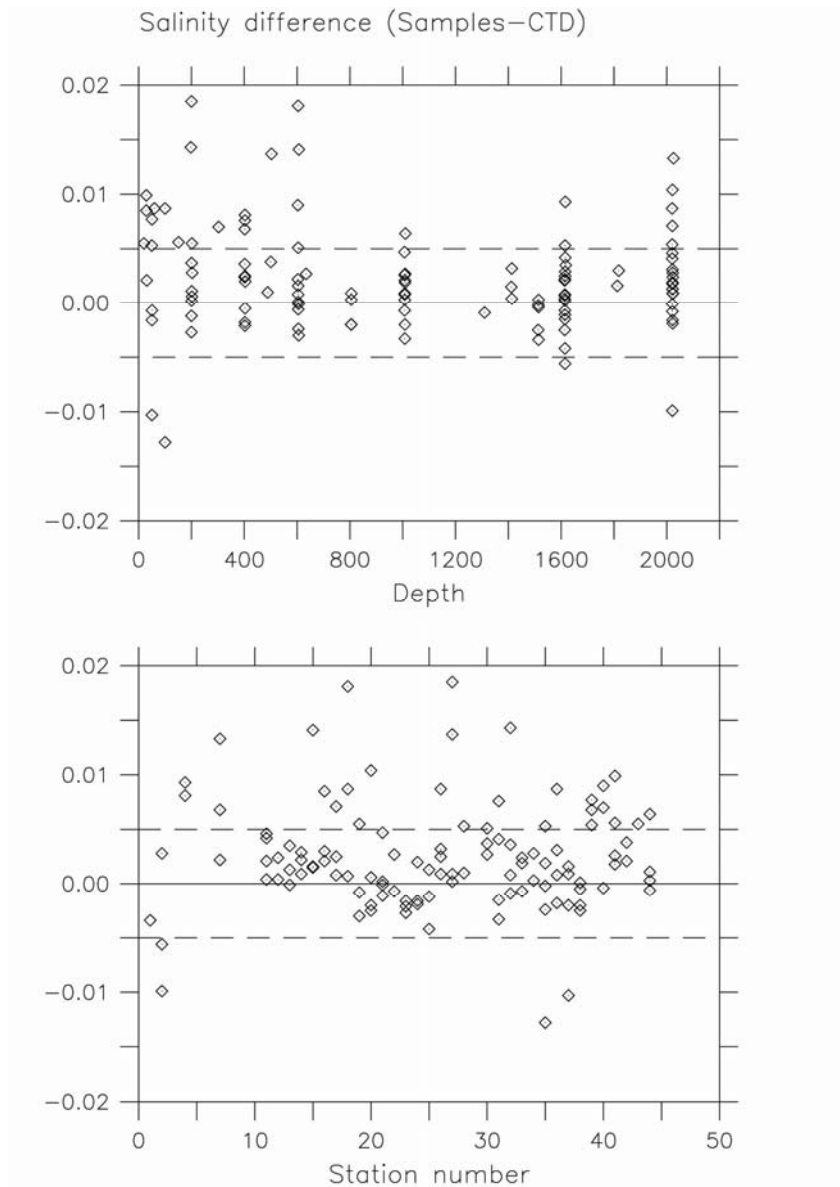


Figure 3.1 : Ecarts entre les valeurs de salinité issues des analyses des échantillons et des mesures de la sonde SBE911+ en fonction de la profondeur (haut) et du numéro de station (bas). Les échantillons des bouteilles de prélèvements 5 à 7 ne sont pas considérés dans cette comparaison (les lignes en pointillé correspondent aux valeurs +/- 0.005).

3.3 Contenu et format des fichiers de sortie

Les fichiers de sortie sont en ASCII à un type de format préconisé par le WHP (Joyce and Corry, 1994). Un exemple de début de fichier est fourni ci-dessous :

```

FLUSEC-01
STRNBR 1 CASTNO 1 NO.RECORDS 1515
DATE: Aug 13 2007 18:09:35
LATITUDE: 17 59.780 S LONGITUDE: 162 39.980 E
CTDPRS CTDTMP CTDCND CTDOXY CTDSAL QUALT1
DBAR ITS-90 mS/cm UMOL/KG PSS-78
*****

```

2.000	24.9620	5.323535	206.64558	35.1576	22222
3.000	24.9589	5.323269	206.77409	35.1577	22222
4.000	24.9582	5.323235	207.03398	35.1577	22222
5.000	24.9567	5.323133	207.24080	35.1578	22222
6.000	24.9547	5.323014	207.31319	35.1581	22222
7.000	24.9591	5.323398	207.10062	35.1572	22222
8.000	24.9546	5.322993	207.01096	35.1574	22222
9.000	24.9562	5.323208	207.11411	35.1574	22222
10.000	24.9543	5.323018	207.17159	35.1572	22222
11.000	24.9531	5.322986	207.01601	35.1576	22222
12.000	24.9531	5.323034	206.92232	35.1576	22222
13.000	24.9537	5.323179	206.85202	35.1579	22222
14.000	24.9576	5.323615	207.02419	35.1577	22222
15.000	24.9642	5.324304	206.98764	35.1574	22222

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, centièmes).

-5ème ligne : code des paramètres (pression, température *in situ*, conductivité, concentration en oxygène dissous, salinité, et code de qualité des valeurs)

-6ème ligne : unité des paramètres.

La signification du code de qualité est la suivante :

Valeur	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-0 ₂
9	Non échantillonné

La plupart des mesures effectuées au cours de la campagne FLUSEC-01 sont considérées comme des mesures acceptables. Les fichiers de chaque station hydrologique de la campagne océanographique FLUSEC-01 ont été transmis au SISMER de l'IFREMER (www.ifremer.fr/sismer).

3.4 Principales sections de la campagne

Les profils individuels sont représentés dans l'Annexe 2. Les figures 3.2 à 3.4 ci-dessous montrent les coupes verticales des principales sections (stations 8 à 41 – voir la figure 2.1).

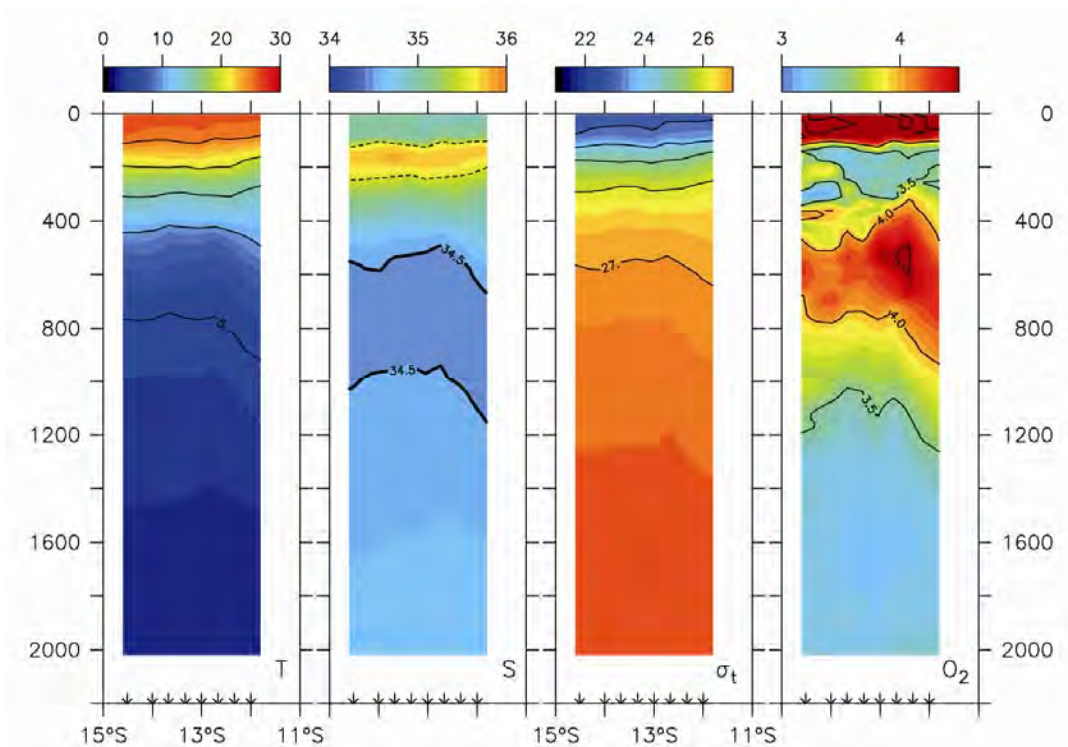


Figure 3.2 : Sections verticales de la température potentielle ($^{\circ}\text{C}$), salinité, densité (kg/m^3) et de la concentration en oxygène dissous (ml/l) le long de 154°E (stations 8 à 15). La position des stations est indiquée par les flèches sur l'axe des abscisses.

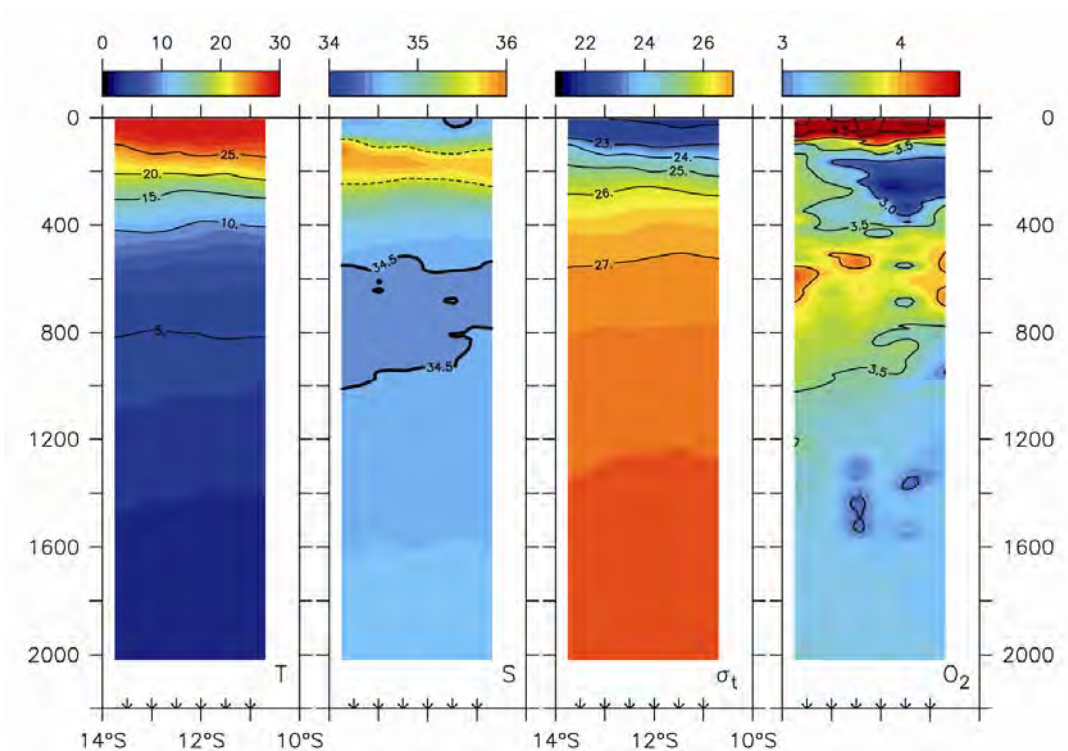


Figure 3.4 : Sections verticales de la température potentielle ($^{\circ}\text{C}$), salinité, densité (kg/m^3) et de la concentration en oxygène dissous (ml/l) vers l'île de Makira (stations 36 à 41).

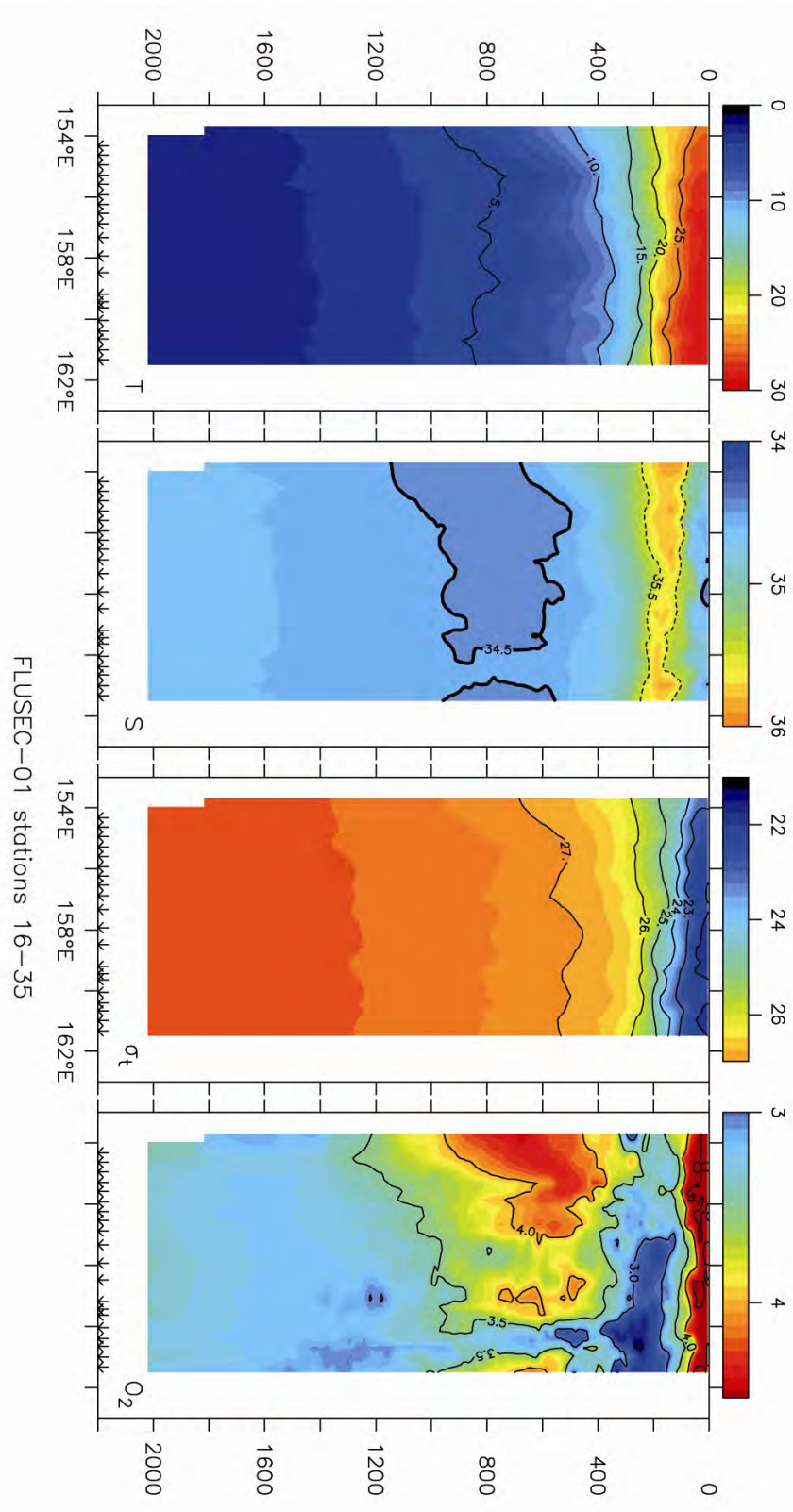


Figure 3.3 : Sections verticales de la température potentielle (°C), salinité, densité (kg/m³) et de la concentration en oxygène dissous (ml/l) à l'entrée de la mer des Salomon (stations 16 à 35).

4. Description des mesures de la concentration en oxygène dissous

4.1 Les mesures bouteilles

Technique d'échantillonnage

Les échantillons sont recueillis dans des flacons en verre et munis d'un bouchon plongeur, d'environ 110 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 ($MnCl_2$, puis KOH/KI), le flacon est hermétiquement fermé et agité pendant 30 secondes environ. Lorsque l'ensemble des échantillons a été prélevé, les collerettes des flacons sont remplies avec de l'eau distillée pour éviter l'entrée d'air. Les flacons sont ensuite stockés à l'abri de la lumière dans le laboratoire, où la température a varié entre 23.0 et 27.0°C, pour être ensuite analysés entre 4 et 24h après.

Analyse des échantillons

L'analyse est semblable à celles qui ont eu lieu lors des missions océanographiques SECALIS 3 et 4 (Gourdeau *et al.*, 2007, 2008). Les préparatifs ont eu lieu au centre IRD de Nouméa sous la responsabilité de Léocadie Jamet (US191-Moyens Analytiques). 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, 1994), dérivée de la méthode de Winkler (Carpenter, 1965). Les manipulations et les mesures à bord au cours de la présente mission ont été effectuées par Jérôme Lefèvre.

Pour le dosage de l'oxygène, nous avons utilisé le titrateur Mettler DL 21 associé à une électrode Mettler DM140-SC et une burette à piston Mettler DV 920 20ml. Ce matériel nous a été prêté par Bernard Schauer du LOCEAN (Laboratoire d'Océanographie et du Climat Experimentation et Approches Numeriques, UMR 7159, Université Pierre et Marie Curie). Une seconde burette, Dosimat 665 Metrohm, est utilisée pour la détermination journalière du blanc et du titre de thiosulfate, au moyen d'une solution d'iodate de potassium.

En milieu basique, obtenu par ajout de KOH/KI, le manganèse précipite avec les ions hydroxydes et ce précipité est rapidement oxydé par l'oxygène dissout. La conservation des échantillons jusqu'à l'analyse se fait ainsi. Avant dosage, on rajoute de l'acide sulfurique. Le milieu acide permet de réduire le manganèse et de libérer l'iode 'fixé', qui est ensuite dosé par ajout de thiosulfate de normalité de l'ordre de 0,02N. 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 0,02 ml autour du point d'équivalence. Le titrage s'interrompt une fois le point d'équivalence détecté et le résultat renvoyé à l'affichage. Un programme en langage Perl utilisant le module PortSerial a été développé pour l'interfaçage du titrateur au moyen d'un PC portable. Les événements et les résultats sont affichés sur l'écran du PC et enregistrés dans un fichier log (voir l'encadré ci-dessous). Les différents programmes et les procédures d'installation sont disponibles sur demande à Jérôme Lefèvre.

Cette méthode de dosage présente une très bonne répétitivité des résultats car elle est 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.

Précautions particulières

Volumétrie

La verrerie utilisée (flacons de prélèvement, dispensettes pour réactifs, pipette automatique, etc...) 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, etc...) ont été appliquées aux pesées. Le volume des flacons de prélèvement est déterminé à $\pm 0,003$ ml en répétant trois fois au minimum l'opération de double pesée. Le volume moyen des flacons utilisés est de 112,89 ml.

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". Les réactifs suivants ont été préparés par Léocadie Jamet :

- 2 L du réactif R1 : 1190 g de $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ complété à 2L avec de l'eau MilliQ (18-jul-2007)
- 2 L du réactif R2 : 896 g de KOH et 1328 g de KI, complété à 2L avec de l'eau MilliQ (16-oct-2006)
- 2 L du réactif R3 : 560 ml de H_2SO_4 pur complété à 1L avec de l'eau MilliQ (18-jul-2007)
- 2 L de solution de iodate de potassium pour référence : 1.4267 g de KIO_3 0.02N complété à 2L avec de l'eau MilliQ ($T = 22,4^\circ\text{C}$) (18-jul-2007).
- 20 L de solution de thiosulfate 0.02N : 99.272g de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ dissous dans 20L d'eau MilliQ (jul-2007)

Le réactif 1, chlorure de manganèse, a été réalisé à 3M (595g/L) à partir de $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (Prolabo) pour analyses. Le réactif 2 comprend de la potasse (KOH) à 8M (448g/L) et iodure de potassium (KI) à 4M (664g/L). Le réactif-3 est constitué d'acide sulfurique (H_2SO_4) à 10N effectué à partir du produit pur pour analyses. Tous les réactifs ont été stockés dans des flacons de verre ambré de 1L. Un flacon de chaque réactif a été muni d'une dispensette délivrant 1ml.

La solution de thiosulfate de sodium $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ de l'ordre de 0,02 N a été préparée et stockée dans un bidon de stockage de 20L. Pour l'analyse, un flacon de verre ambré de 1L a été utilisé.

La solution d'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). En effet, afin de déterminer exactement le titre de la solution de thiosulfate, une solution d'iodate de potassium a été préparée avec très exactement 1.4267g de KIO_3 , dont la normalité est de $2,003 \cdot 10^{-2}$ N à 20°C , dans une fiole jaugée de 2000 ml, afin d'obtenir une solution à 0,00333M soit 0,02N. La température était de $22,4^\circ\text{C}$. Cette préparation a été conservée en flacon de verre ambré.

L'eau MilliQ utilisée est de résistivité 17,9 M Ω cm.

Le volume des 2 dispensettes servant à l'introduction des réactifs de fixation dans les prélèvements est déterminé à 1,005 ml (MnCl_2) et 1,002 ml (KOH/KI) à 20°C . Une correction de +0,007 est appliquée sur le volume théorique de 2 ml (à 20°C) de réactifs introduits dans l'échantillon.

Le volume de la burette automatique délivrant l'iodate de potassium pour la référence est 4,987 ml à 20°C , on applique une correction de -0,013 ml sur chaque volume d'iodate de potassium délivré rapporté à une température de 20°C .

Le volume de la burette 20 ml associée au titrateur Mettler DL 21 a été vérifié sur la gamme 1 ml au moyen d'une série de 10 mesures d'1 ml. Il a été procédé de même sur la gamme 5 ml. La correction à apporter est de -0,0085 ml et de -0,0147 ml pour les coulées 1 ml et 5 ml respectivement.

Finalement, pendant la campagne, une correction constante de -0,0116 ml a été appliquée sur chaque volume de thiosulfate délivré rapporté à une température de 20°C , les volumes de thiosulfate délivrés ayant ventilé entre 2,6 ml et 5,2 ml, avec une moyenne de 3,55 ml. Avant chaque séquence de dosage, les burettes sont vidangées et les bulles d'air présentes dans les tubulures et les burettes expulsées.

Exemple de contenu d'un fichier-log sauvegardé au cours des manipulations : cas d'un dosage du blanc

Fonctions pour Titrateur Heure 09h10

Changement de date Heure 09h10

Fonctions pour Titrateur Heure 09h10

Vidange burette Heure 09h13

Dosage du blanc Heure 09h23

Station 1 Flacon 1

===== 03-07-07 =====

TITRATION 1

IDENT 0

conc mol/L .10000

1.0000

ack mL 3.0000

VOLUME DERIV.

mL mV/mL

.29000 -17.811

.43000 -23.545

.50000 -26.635

.64000 -35.529

.82000 -54.951

.91000 -129.06

.94000 -321.57

.96000 -717.37

.98000 -3120.8

1.0000 -749.01

1.0200 -373.76

← Commentaire : Volume Vf

RESULT mL .97036

← Commentaire : Volume V1

Dosage du blanc Heure 09h27

Station 1 Flacon 1

258.1

===== 03-07-07 =====

TITRATION 2

IDENT 0

conc mol/L .10000

onst 1.0000

back mL 3.0000

VOLUME DERIV.

mL mV/mL

.29000 -19.048

.43000 -23.314

.50000 -29.089

.64000 -40.627

.79000 -70.687

.85000 -121.86

.90000 -339.78

.92000 -2588.2

.94000 -1618.0

.96000 -465.69

RESULT mL .91856

← Commentaire : Volume V2

Heure 09h31

Contrôle des réactifs pendant la campagne

Détermination du blanc d'analyse

La détermination du blanc d'analyse s'effectue par double dosage de 1 ml de KIO_3 . Quotidiennement, avant la série d'analyse, 4 à 5 dosages successifs permettent de déterminer le blanc des réactifs en mélangeant 1 ml de chacun des trois réactifs (introduits en ordre inverse) à 100 ml d'eau distillée, puis 1 ml de chaque iodate. Entre chaque ajout de réactif, l'échantillon est agité au moyen d'un agitateur magnétique. Un premier dosage est effectué, au cours duquel sont notés le volume de thiosulfate versé pour arriver au point d'équivalence (V_1) et le volume d'excès de thiosulfate ($dV = \text{Volume final} - V_1$). Un second dosage est effectué après ajout de 1ml d'iodate, au cours duquel le volume V_2 au point d'équivalence est noté. Le blanc de réactif $V_{\text{blk,dw}}$ est alors égal à : $V_1 - V_2 - dV$

Au cours de la campagne, la valeur moyenne du blanc obtenue est de $-0,007 \pm 0,009$ ml (Figure 4.1).

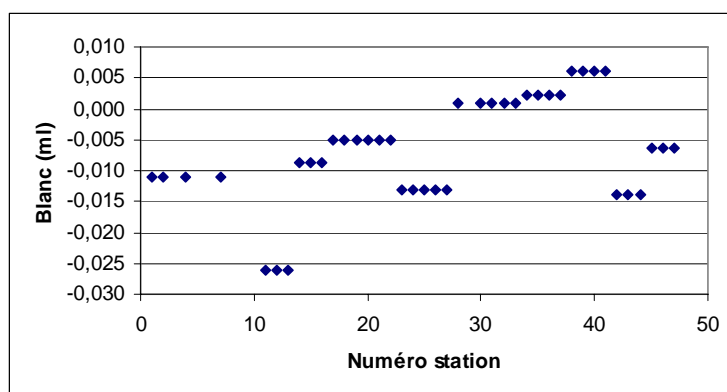


Figure 4.1 : Evolution des blancs d'analyses

Détermination de la normalité du thiosulfate de sodium

Chaque jour, la burette automatique qui délivre le thiosulfate est complétée à 1 litre avec la solution de stockage puis agitée. La normalité du thiosulfate est obtenue par un dosage quotidien de 3 à 5 prises d'essai d'iodate de potassium de référence. La moyenne de ces 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 4.2 permet de visualiser l'évolution du titre du thiosulfate. Le titre est resté très stable sur l'ensemble de la durée de la campagne, avec une valeur moyenne de $2,0643 \pm 0,0062 \cdot 10^{-2}$ N.

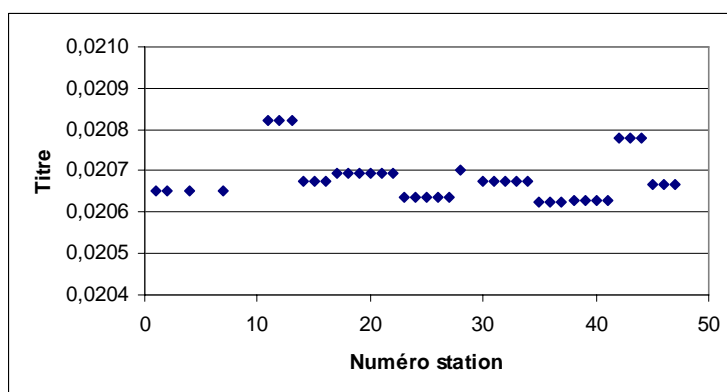


Figure 4.2 : Evolution du titre du thiosulfate pendant la campagne

Détermination de la concentration en oxygène dissous des échantillons

Les dosages sont effectués à une température moyenne de 25°C, ce qui oblige à effectuer les corrections de température sur les volumes des réactifs d'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 (1994) :

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

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

avec:

V_x	= volume de thiosulfate pour le dosage de l'échantillon (ml)
V_{corr}	= correction de volume propre à la burette délivrant le thiosulfate (ml)
$\text{V}_{\text{blk,dw}}$	= volume de thiosulfate pour le blanc avec eau distillée (ml)
V_{std}	= volume de thiosulfate pour la détermination de la normalité (ml)
V_{bot}	= volume du flacon de prélèvement (ml)
V_{reg}	= volume des réactifs introduits dans l'échantillon (ml)
$\text{V}_{\text{IO}_3^-}$	= volume de la prise d'essai de chaque iodate de référence (ml)
$\text{N}_{\text{IO}_3^-}$	= normalité de l'iodate
DO_{reg}	= 0,0017 ml, valeur absolue de l'apport d'oxygène par les réactifs (Murray et al, 1968).

Dans le cas de FLUSEC-01, nous avons les valeurs suivantes :

$\text{V}_{\text{blk,dw}}$	= " valeur journalière "
V_{std}	= " valeur journalière "
V_{reg}	= 2,007 ml à 20°C (après correction)
V_{corr}	= -0,0116 ml à 20°C
$\text{V}_{\text{IO}_3^-}$	= 4,987 ml à 20°C (après correction)
$\text{N}_{\text{IO}_3^-}$	= 2,00136.10 ⁻² N

Le résultat du calcul de concentration d'oxygène est converti en micromoles par kilogramme ($\mu\text{mol kg}^{-1}$), 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, en micromoles par kilogramme ($\mu\text{mol kg}^{-1}$) en utilisant la formule suivante :

$$O_2 \text{ (}\mu\text{mol kg}^{-1}\text{)} = \frac{44,660 * O_2 \text{ (ml l}^{-1}\text{)}}{\rho_{\text{sw}}}$$

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

Précision des analyses

Station « test »

La précision des résultats de mesure est appréciée principalement par la répétitivité des résultats sur des séries d'échantillons identiques prélevés à un même niveau de profondeur au

cours de la station "test" présentée ci-après. Les 12 bouteilles ont été claquées à 1500 m pour la station « test » (station 1). Trois échantillons ont été écartés, suite à des problèmes de fuite (bouteille 5) donnant un écart de mesure trop important (bouteilles 6 et 12).

Station 1	
Niveau de fermeture des bouteilles	1500
Nombre de bouteilles	9
Valeur moyenne de l'Oxygène ($\mu\text{mol kg}^{-1}$)	155,04
Ecart type des valeurs mesurées ($\mu\text{mol kg}^{-1}$)	0,56

On peut donc considérer d'après les résultats de l'ensemble de la station "test", que la précision des mesures de concentration en oxygène dissous durant la campagne se situe en moyenne autour de $0,6 \mu\text{mol kg}^{-1}$.

Doublets d'échantillons

La précision des mesures est également estimée par l'analyse des doublets d'échantillons obtenus à partir de deux bouteilles fermées au même niveau à différentes stations: 23 doublets ont ainsi été réalisés pendant la campagne, à une pression comprise entre 50 et 2000 dbar. La totalité des doublets ont été retenus.

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

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

di : écarts entre les doublets

n : nombre de doublets

Ceci permet d'estimer la répétitivité des résultats de la concentration en oxygène dissous à **0,44** $\mu\text{mol/kg}$.

Commentaires sur le titrateur Mettler DL21

Au cours des précédentes campagnes SECALIS et FRONTALIS menées sur la région, l'équipe d'Océanographie Physique du Centre de Nouméa utilisait le titroprocesseur 682 Metrohm pour le dosage de l'oxygène dissous. Cet appareil date du début des années 1990 et aucune maintenance technique n'était possible. La campagne FLUSEC-01 a donc permis de tester un titrateur du type Mettler DL21 en remplacement du titrateur Metrohm du Centre de Nouméa.

A nombre égal d'échantillons (12), le dosage à l'aide du Mettler est plus rapide, moins d'1 heure pour un peu plus de 2 heures avec le titroprocesseur Metrohm 682. Il s'agit d'un avantage très appréciable. Autour du point d'équivalence, l'incrément était de 0,01 ml pour le Metrohm 682 contre 0,02 ml avec le Mettler DL 21 (burette 20 ml avec un incrément à 1%). Néanmoins, la précision des dosages de l'Oxygène entre les campagnes SECALIS-4 (Metrohm 682) et FLUSEC-01 (Mettler DL21), effectués par le même opérateur et dans des conditions de mer similaires, est comparable, $0,7 \mu\text{mol kg}^{-1}$ et $0,6 \mu\text{mol kg}^{-1}$ respectivement. Le remplacement de la burette 20 ml contre une burette 10 ml (voire 5 ml) associée au Mettler DL21 permettrait probablement un nouvel apport de précision. Cependant, les dosages réalisés au cours de cette campagne avec la burette de 20 ml montrent des valeurs acceptables. Enfin, le Mettler DL 21 présente l'inconvénient de ne pas afficher toute l'information sur les volumes : volume final et volume de dosage. Néanmoins, l'interfaçage avec le port série RS232 permet de recueillir ces informations. Interfacé avec un PC portable (un Toshiba satellite 4090XCDT), les résultats tout au long du dosage ont pu être affichés et sauvegardés dans des logs (voir l'exemple du fichier-log sauvegardés au cours de la campagne).

4.2 La calibration des mesures de sonde

Nous suivons une méthode spécifique au capteur SeaBird SBE-43 permettant d'ajuster les coefficients de calibration du capteur à partir des données bouteille. La calibration a été effectuée avec les codes de calcul du Pacific Marine Environmental Laboratory (PMEL). Ce travail a été effectué par Alexandre Ganachaud.

- Mesure

Le capteur SBE43 (http://www.seabird.com/application_notes/AN64.htm) permet de déterminer la concentration en oxygène dissous par comptage du nombre de molécules d'oxygène par seconde qui diffusent à travers une membrane polarographique. Connaissant ce flux et la géométrie du chemin de diffusion, la concentration en oxygène peut être calculée. La perméabilité de la membrane est fonction de la température et de la pression ambiante. L'interface électronique fournit une tension proportionnelle au courant à travers la membrane (courant oxygène) et à la température de la membrane ce qui permet de déduire la concentration en oxygène à partir d'une équation dont les paramètres doivent être ajustés. Le capteur permet une mesure de 120 % de la saturation en surface avec une précision initiale de 2 % de la saturation. Le capteur dérive, de par la nature du processus chimique de mesure, de l'ordre de 2 % / 1000 heures.

- Problèmes

Suite à des problèmes de configuration du deck de contrôle de la SBE 911+ (cf. partie hydrologique), pour les stations 1 à 7, le programme de traitement « SBE data proc » élimine beaucoup trop de données (environ une sur deux avec une résolution de 1m). Les données manquantes « isolées » ont été interpolées linéairement.

- Calibration

Les mesures d'oxygène des échantillons bouteilles sont utilisées pour effectuer la post-calibration. Pour compenser les déplacements des isopycnes dus aux ondes internes entre le profil de descente (utilisant les mesures CTD) et de montée (déclenchement des prélèvements), les données des bouteilles sont replacées aux niveaux correspondants lors de la descente à la même densité. La correction en pression est généralement de 10 m d'épaisseur, mais dans certains cas, supérieure à 20 m en valeur absolue pour cette campagne (Figure 4.3).

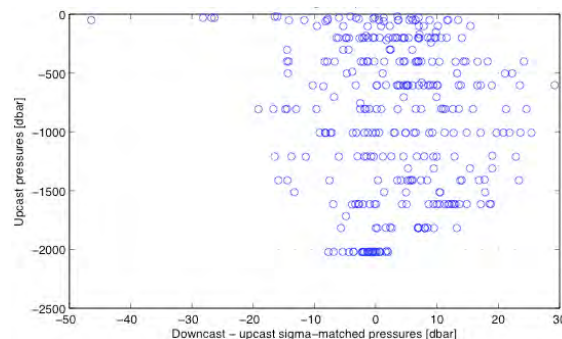


Figure 4.3 : Ecart en pression de l'isopycne de déclenchement des bouteilles entre la descente et la montée, pour chaque station, et en fonction de la profondeur. Cette correction implique une correction en concentration d'oxygène dissous située entre 0 et 5 $\mu\text{mol/kg}$.

La valeur de saturation d'oxygène est calculée à partir de la formule de Garcia et Gordon (1992). Les valeurs CTD aux niveaux bouteilles sont ajustées en utilisant une équation hybride des modèles de Owens-Millard (1985) et Murphy *et al.* (2008) pour calculer et calibrer l'oxygène du capteur SBE43 (Gregory C. Johnson, communication personnelle, 2008). Cette équation est la suivante :

$$Ox = Soc * (V + Voff + T20_DO * \exp(DI * P + D2 * T)) * dVdt * os * \exp(Tcor * T) * \exp(Pcor * P / (273.15 + T)),$$

ou ox est l'oxygène CTD calculée ; D1 et D2 sont les coefficients donnés par SeaBird (valeur nominale D1 = 1.92634e-4; D2 = -4.64803e-2 ; et Soc, Voff, T20_D0, Tcor et Pcor sont obtenus par minimisation, en partant des coefficients issus de la fiche de pré-calibration en date du 2 juin 2007) ; V et la tension oxygène ; dVdt sa dérivée temporelle ; P la pression ; T la température ; et os la saturation en oxygène. L'utilisation de cette formule évite des problèmes de convergence liés à la nouvelle formule recommandée par SeaBird ($1.0 + A * T + B * T^2 + C * T^3$; voir http://www.seabird.com/application_notes/AN64-2.htm) qui est donc remplacée par $\exp(Tcor * T)$. L'écart entre les mesures et les données CTD ajustées est ensuite minimisé par groupes de stations en utilisant un algorithme d'optimisation non contrainte non linéaire (méthode du simplex de Lagarias *et al.*, 1998). Après minimisation, les résidus (ctd-bouteille) sont calculés, et ceux excédents 2,8 en écart-type sont éliminés (Millard, 1993); la minimisation est à nouveau effectuée. Cette procédure est itérée jusqu'à élimination de toutes les données bouteilles excédant 2,8 en écart-type.

Les résidus sont obtenus en effectuant un ajustement sur l'ensemble de la campagne. Il n'y a pas de structure visible, et des essais de regroupements ou de changements des coefficients de manière linéaire avec le temps ne produisent pas de résultats significativement différents. Les résidus résultants sont représentés sur la Figure 4.4. Après élimination des « outliers » (représentés en rouge ; soit 8 % des données bouteille environ), le résidu est de $-0,007 \pm 1,00 \mu\text{mol/kg}$. Ce niveau de précision est tout à fait acceptable au regard des standards WOCE.

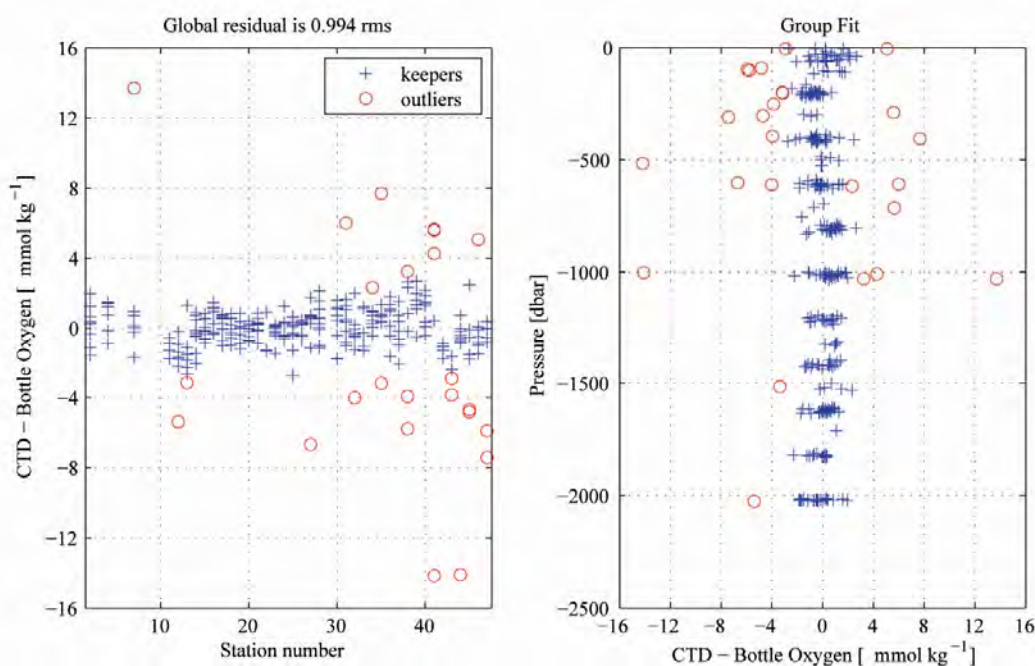


Figure 4.4 : Résidus après calibration (différence CTD-bouteille) de la concentration en oxygène dissous (en $\mu\text{mol/s}$) en fonction du numéro de station (à gauche) et de la profondeur pour toutes les stations (à droite).

Les coefficients sont ensuite appliqués au profil complet de descente CTD en utilisant le programme PMEL (calctd.m). Les valeurs d'oxygène CTD sont filtrées en interpolant automatiquement les manques de données lorsque l'intervalle est suffisamment petit (quelques mètres en général). Une vérification visuelle est effectuée pour chaque profil, en regard du profil de montée, des profils alentour et de ceux de la campagne SECALIS-3 au même endroit. Les données interpolées sur plus de 2 dbar sont « flaggées » à 6 (voir la partie 3.3). De même les quelques pics liés de manière évidente à un problème électronique sont éliminés et les valeurs manquantes sont interpolées linéairement.

4.3 Comparaisons globales avec la climatologie CARS-2006

Les coupes de la concentration en oxygène dissous issues de ces mesures et de leur calibration le long des sections principales de la campagne FLUSEC-01 sont représentées avec les coupes des paramètres hydrologiques (cf. Figures 3.3 à 3.5). La figure 4.5 suivante montre, pour les trois principales sections, une comparaison de l'ensemble de ces données avec celles de la climatologie CARS-2006 (Ridgway and Dunn, 2003). Les profils climatologiques correspondants au mois d'août sont extraits à la position la plus proche de chaque station de FLUSEC-01. Les diagrammes T-S montrent un très bon accord avec un maximum de salinité plus marqué au niveau de la thermocline et une dispersion moins nette au niveau de la troisième section (stations 36-41) pour la campagne FLUSEC-01. Les diagrammes utilisant la concentration en oxygène dissous montrent une plus grande dispersion pour ce dernier paramètre mais la répartition générale de l'ensemble des données est très similaire. Le très bon accord général entre la climatologie CARS-2006 et les données *in situ* de la campagne FLUSEC-01 confirme que les étapes de calibration de ces dernières données ont été effectuées dans des bornes « climatologiques » acceptables.

5. Description des mesures de courantométrie L-ADCP

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 la bathysonde, le « Lowered Acoustic Doppler Current Profiler », L-ADCP (Fischer and Visbeck, 1993). Nous décrivons brièvement le principe de ces mesures et de leur traitement, avant de présenter les résultats obtenus.

5.1 Principes de la mesure

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 océaniques. 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 20° ou 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. 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.

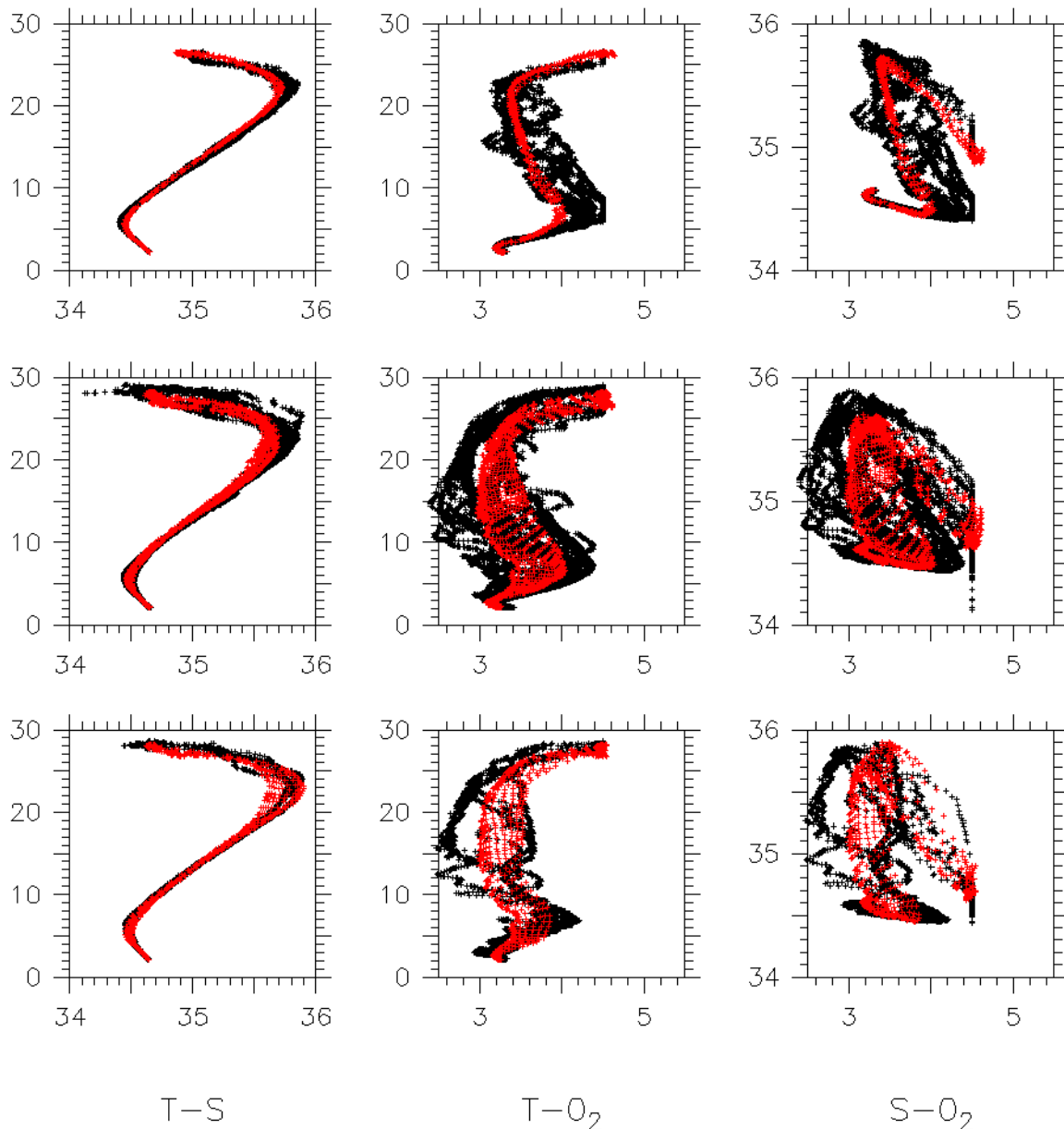


Figure 4.5 : Comparaisons entre les données de FLUSEC-01 et la climatologie CARS-2006 (en rouge) pour les principales sections (stations 8-15, 16-35 et 36-41, respectivement de haut en bas).

Lorsque la bathysonde se déplace verticalement, les mesures individuelles des ADCP sont entachées d'un bruit très élevé à cause du mouvement tridimensionnel propre 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'.

5.2 Principe du traitement des mesures

Pour le système avec 2 L-ADCP utilisé pendant FLUSEC-01, le seul logiciel de traitement disponible est celui développé au Lamont-Doherty Earth Observatory (NY, USA) par M. Visbeck (<http://www.ldeo.columbia.edu/~visbeck/ladcp/>), et désigné ci-dessous comme logiciel LDEO. La version v8b a été utilisée pour ce traitement.

Le L-ADCP, au cours de son mouvement vertical avec la bathysonde, va enregistrer des profils successifs et on obtient ainsi 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 L-ADCP.

Le LADCP n'est pas muni de capteur de pression. La profondeur du L-ADCP, et donc des mesures, peut être déterminée de deux manières:

- Par intégration de la vitesse verticale mesurée par le L-ADCP 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.
- En utilisant les mesures de pression fournies par la sonde CTD. La comparaison des mesures de temps de l'horloge interne du L-ADCP et de celle de la CTD à chaque mesure de la sonde permet d'attribuer une profondeur à chaque mesure du L-ADCP. Ceci réclame une bonne synchronisation au départ des horloges CTD et L-ADCP.

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 L-ADCP sont la résultante de la vitesse des masses d'eau et de son propre mouvement, lié à celui de la bathysonde. Pour chaque cycle de mesure, 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 L-ADCP 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.

Les principales opérations effectuées par le logiciel du LDEO pour chaque station comprennent :

- Chargement des fichiers des 2 L-ADCP, « up » et « down », avec vérification des « checksums »
- Corrélation entre les profils « up » et « down » pour détection et correction d'une éventuelle erreur d'horloge entre les deux.
- Elimination des « bins » présentant des valeurs de vitesse d'erreur, vitesse verticale, ou d'inclinaison des appareils supérieures à certains seuils.
- 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.
- Calcul des vitesses « bottom track » si le fond est à portée.
- Calcul par intégration des vitesses verticales de la profondeur de la sonde, avec correction de la vitesse du son grâce aux mesures CTD.
- 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 L-ADCP, corrections si nécessaires par comparaison, correction de la déviation magnétique, passage en coordonnées terrestres avant moyennes.
- 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 (voir la partie suivante). 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 L-ADCP.
- Sortie de différents graphiques correspondant à chaque étape, et enregistrement des profils et de données annexes sous différents formats (MATLAB, ASCII, ou NetCDF).

5.3 Acquisition des mesures

Le système L-ADCP utilisé au cours de FLUSEC-01 comporte deux profileurs « Workhorse 300 » (Modèle WH300, N^{os} 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 bathysonde, un à la base, émettant vers le bas (« looking down profiler »), et un au sommet du bâti, émettant vers le haut. Cette configuration tête-bêche apporte une meilleure précision lorsque la bathysonde approche du fond ou de la surface : un des 2 appareils enregistre toujours un profil complet.

En principe, les 2 WH300 doivent être synchronisés pour « pinger » en même temps, par une option du programme d'acquisition ; cette synchronisation n'a pas été mise en œuvre, sans conséquence sur la qualité des mesures. 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. Les paramètres d'acquisition utilisés sont résumés dans le tableau 5.1. L'extension verticale du profil d'un cycle de mesures est alors de 200 à 300 m. A partir de la station 3, un problème technique est apparu sur le L-ADCP « up » (no 3777) : le faisceau No 1 a cessé de fonctionner. Bien que ceci n'empêche pas totalement les mesures, leur qualité en a été affectée : un grand nombre de données erronées ont dû être éliminées au cours du traitement, et le calcul de la vitesse de déplacement vertical des L-ADCP a été faussé.

Tableau 5.1 : Principaux paramètres d'acquisition

Nombre d'impulsions ('ping') par cycle de mesures ('ensemble') :	1
Temps entre deux impulsions (en seconde) :	~1
Nombre de cellules ('bins') par cycle de mesures :	20
Epaisseur des cellules (en mètre) :	10
Vitesse du son (en m.s ⁻¹) :	1500
Salinité de l'eau de mer :	35
Nombre de profils obtenus	47

5.4 Traitement des mesures

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 5.2. Ce travail a été effectué par Gérard Eldin.

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 VM-ADCP 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 14 profils pour des sondes à 2000 m de profondeur). Pour ce calcul, les données VM-ADCP sont d'abord ramenées sur les mêmes profondeurs que celles du L-ADCP. Cette comparaison est présentée pour chaque station dans l'Annexe 3. A partir de ces comparaisons, les profils sont classés du plus mauvais au meilleur accord L-ADCP/VM-ADCP (Tableau 5.3). Il est notable que les vitesses L-ADCP (en valeur absolue) apparaissent systématiquement plus faibles que les vitesses VM-ADCP.

Tableau 5.2 : Principaux paramètres du traitement par le logiciel LDEO

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 5.3 : Classement des profils par qualité croissante

St. 6	Pas de profil : calcul impossible car pas de données CTD à la remontée.
St. 15, 17	Ecart important avec le VM-ADCP, en amplitude ou direction
St. 2, 3, 7, 9, 10, 14, 16, 18, 28, 31, 32, 35, 37, 39, 41-43, 46, 47.	Biais négatif en amplitude de plus de 10 cm/s avec le VM-ADCP
St. 1, 4, 8, 11-13, 19-27, 29, 30, 33, 34, 36, 38, 40, 44, 45	Bon accord L-ADCP/VM-ADCP

5.5 Coupes verticales des courants

Les figures 5.1 à 5.3 montrent les contours verticaux de la composante zonale (U) et méridienne (V) du courant pour les 3 principales sections de la campagne. Les vitesses sont comptées positives (négatives) vers l'est (ouest) et le nord (sud).

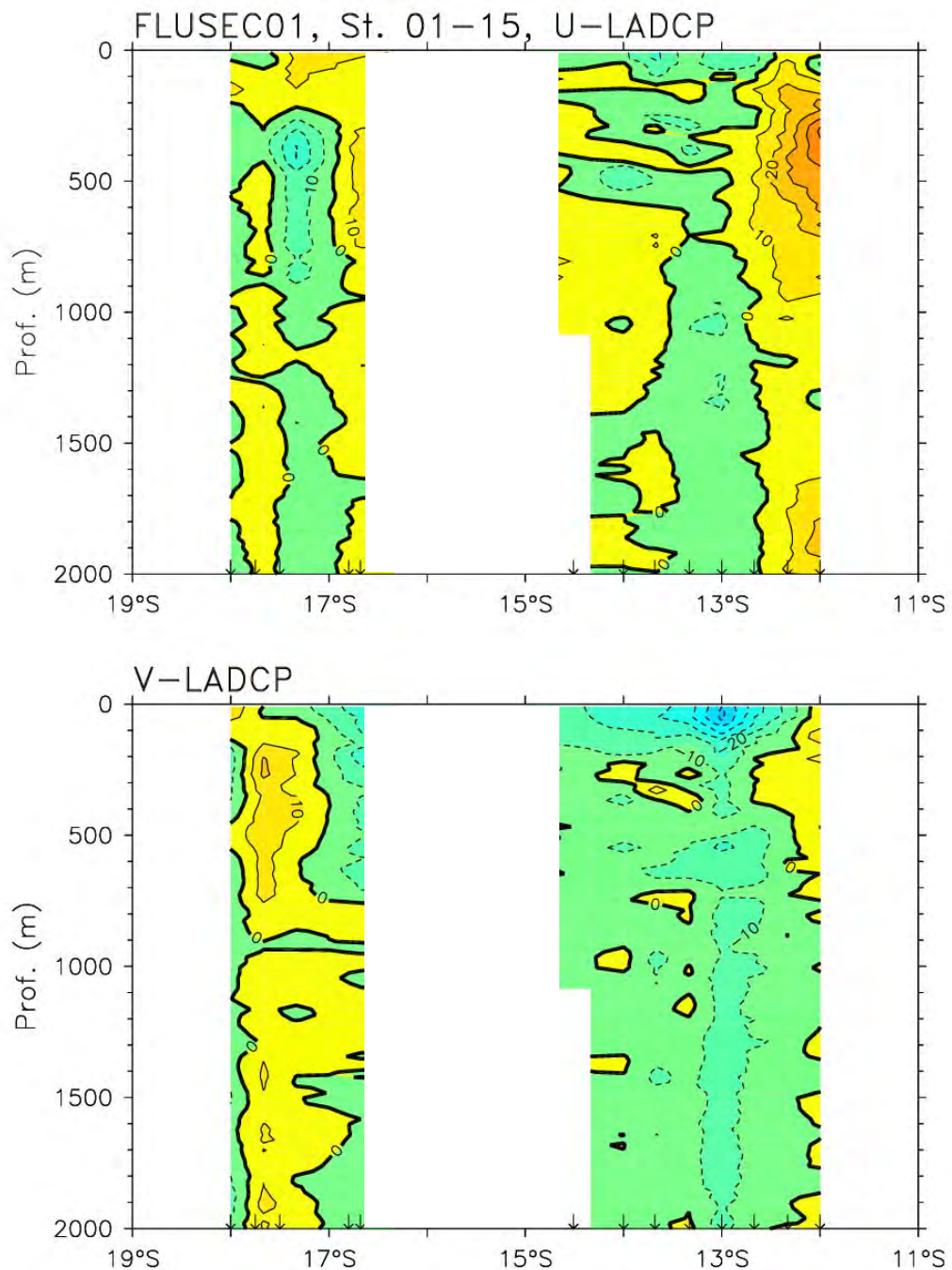


Figure 5.1: Section verticale des composantes zonales et méridiennes du courant mesurées par le L-ADCP (contour intervalle fixé tous les 10 cm/s) pour les stations 01 à 15.

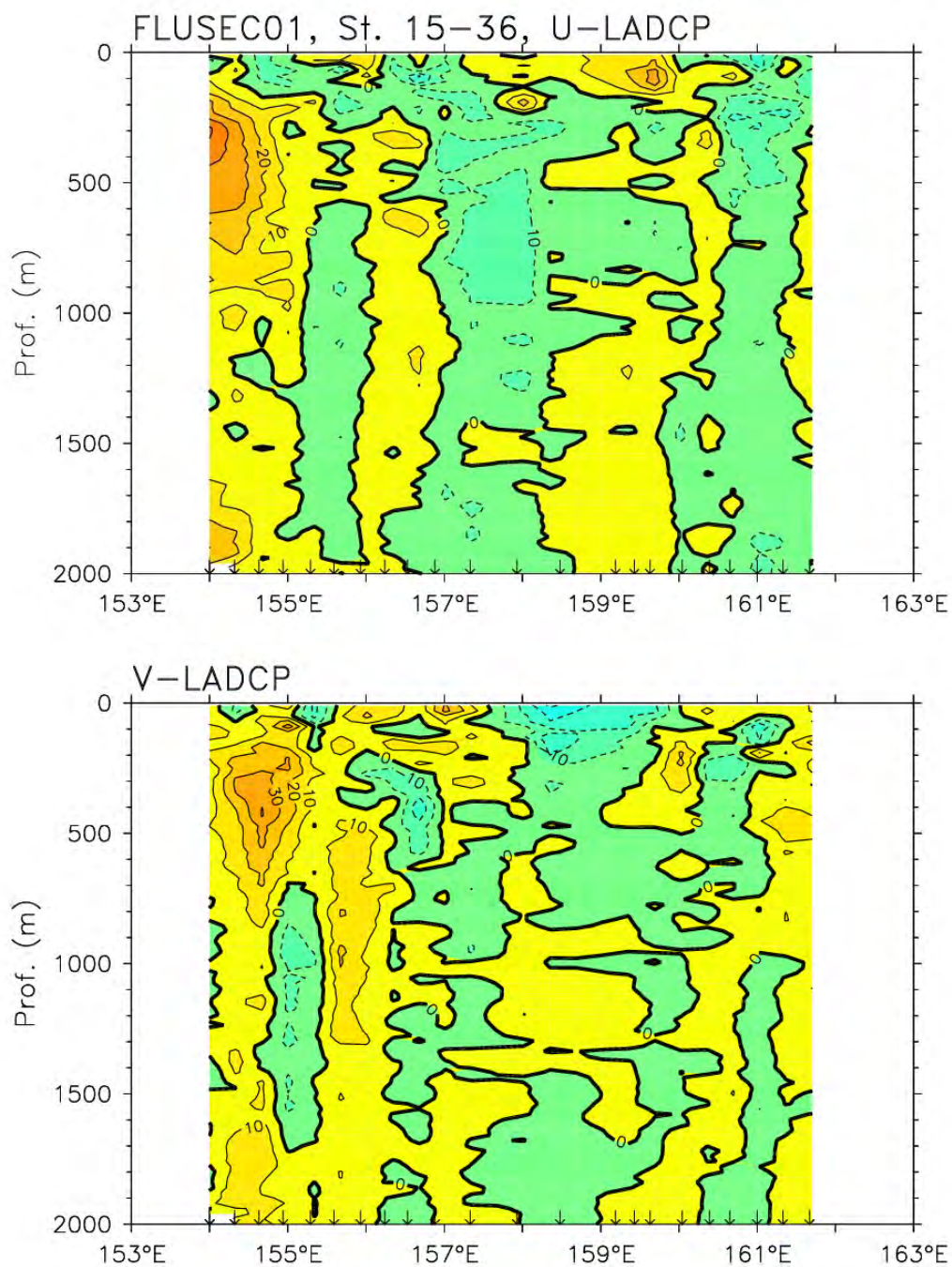


Figure 5.2: Section verticale des composantes zonales et méridiennes du courant mesurées par le L-ADCP (contour intervalle fixé tous les 10 cm/s) pour les stations 15 à 36.

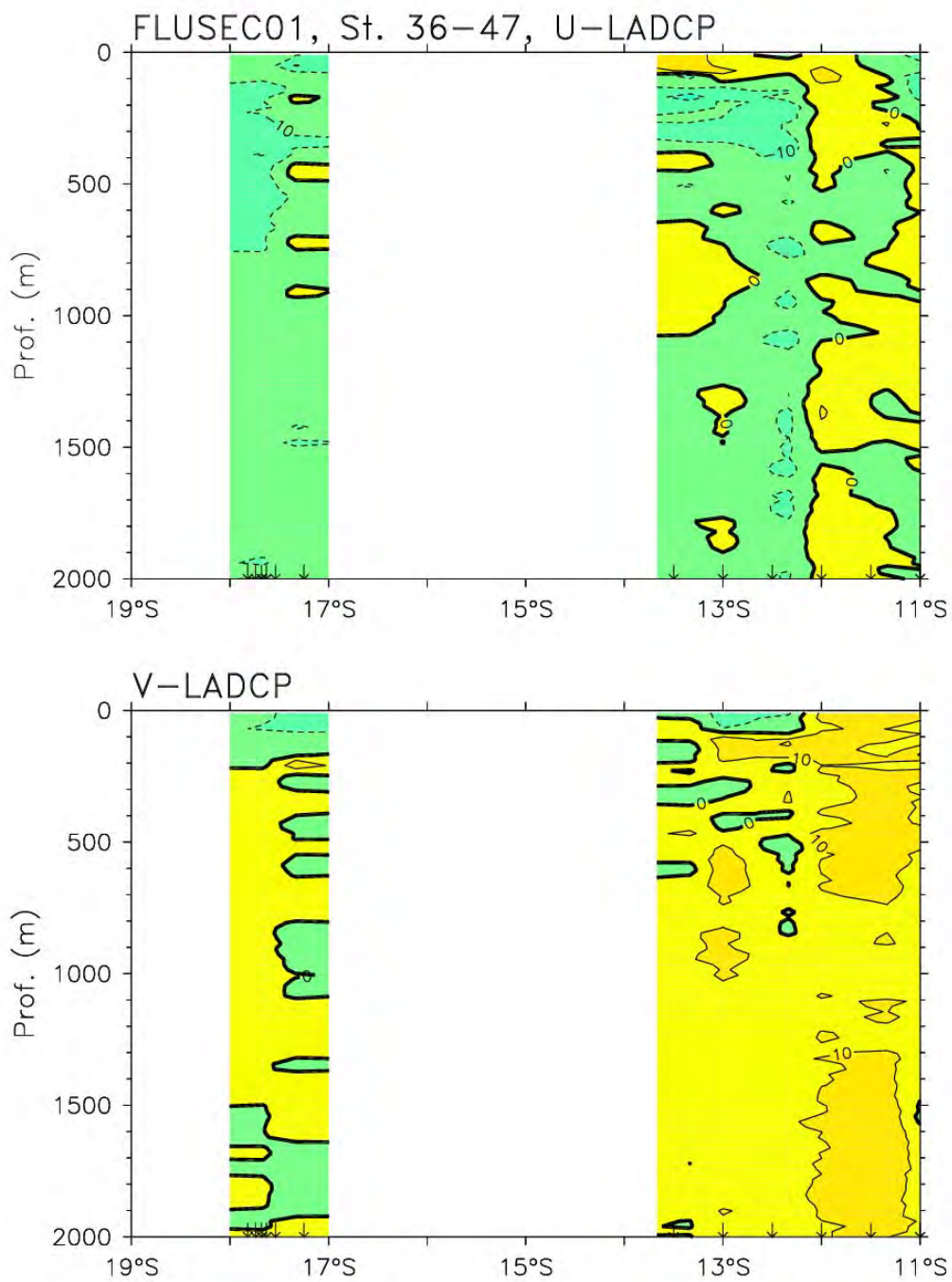


Figure 5.3: Section verticale des composantes zonales et méridiennes du courant mesurées par le L-ADCP (contour intervalle fixé tous les 10 cm/s) pour les stations 36 à 47.

6. Description des mesures de courantométrie VM-ADCP de coque

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 (L-ADCP) installé sur la bathysonde (voir la partie précédente et l'annexe 3). Le N. O. Alis est équipé depuis octobre 1999 d'un VM-ADCP fabriqué par la société RDI, un modèle BB-150. Cet appareil (« broadband » à 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 GPGGA par liaison directe RS-232, ainsi que des données d'attitude (cap, roulis, tangage), à une cadence de 0,6 s.

6.1 Acquisition

L'acquisition se fait sur un PC à l'aide du logiciel VM-DAS (version 1.42), avec enregistrement des données sur disque dur. La configuration d'acquisition est résumée dans le tableau 6.1. Avant le départ de la campagne, les tests logiciels de l'ADCP ont été effectués avec succès. L'acquisition 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-trois 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 nécessitant un espace disque important, de l'ordre de 3 Go pour un mois de campagne.

Tableau 6.1 : Caractéristiques d'acquisition du VM-ADCP

Acquisition BB-150 pour FLUSEC-01	
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	12/08/2007, 01:19 TU
Dernier profil	28/08/2007, 08:37 TU

6.2 Traitement des données

Le traitement est basé sur le logiciel CODAS-3 (Common Oceanographic Data Access System, version 3), développé à l'Université d'Hawaïi (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 avec les étapes suivantes :

- Constitution d'une base de données

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

- Vérification des profils relatifs

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.

- 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 environ 40-100 m). Ce courant est filtré (filtre de Blackman de ½ largeur 30 mn) et la vitesse du navire par rapport à cette couche lissée est stockée dans la base. Le courant absolu pourra être calculé à chaque niveau à partir de cette vitesse.

- Etalonnage

Deux types d'erreur interviennent dans le calcul des vitesses absolues de courant : l'erreur sur l'orientation horizontale de l'embase en coordonnées géographiques et l'erreur sur l'amplitude de la vitesse calculée par effet Doppler. L'erreur d'orientation provient de l'erreur sur les indications du 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. On a constaté pendant les 2 premiers jours de campagne une dérive de l'écart cap gyro – cap GPS, atteignant 0,3°, ce qui signalait un mauvais réglage de la correction automatique du gyro avec la latitude (Figure 6.1). Après correction de ce problème, l'écart est resté négligeable, de l'ordre de 0,1°. Cependant, à partir du changement de route vers l'Est (18/08) et surtout vers le Sud (22/08) l'écart a augmenté progressivement, atteignant 0,7° ; ceci peut suggérer que le gyro ne se compense pas parfaitement. L'angle de correction variable montré sur la figure 6.1 a été appliqué aux données.

Il a été montré (Pollard and 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 reportés dans le tableau 6.2. Les rotations et homothéties correspondantes sont appliquées aux profils relatifs et le calcul de navigation (4.3) est de nouveau effectué.

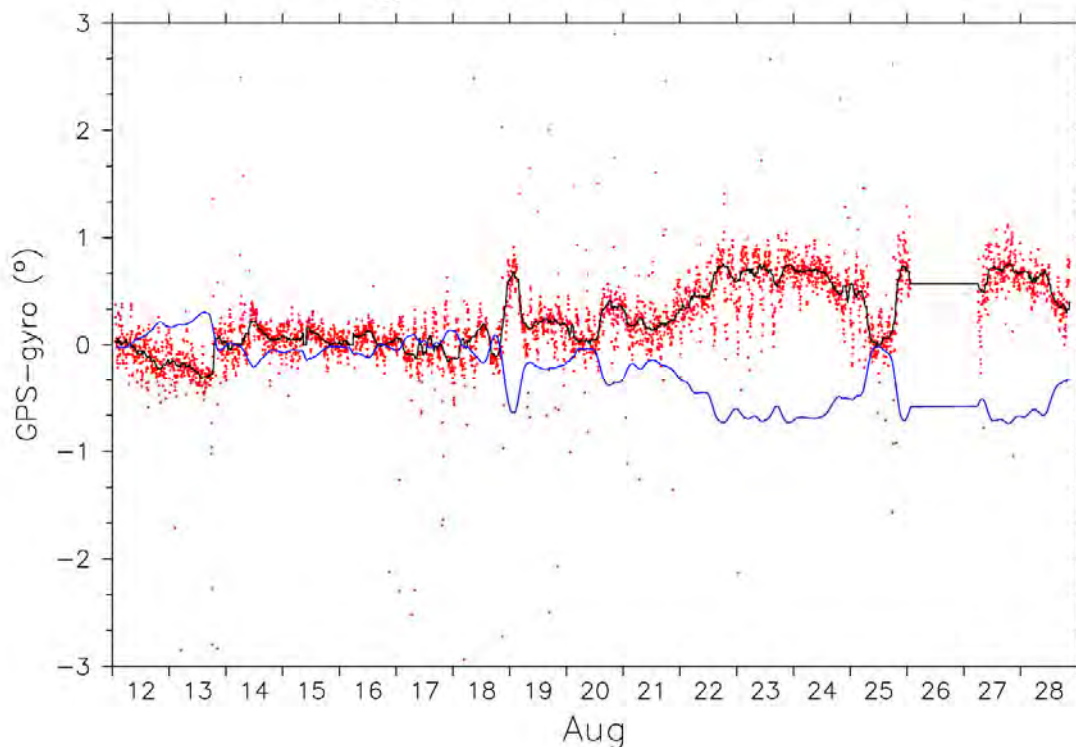


Figure 6.1 : Différence cap GPS - cap gyro au cours du temps avec la valeur moyenne à chaque profil (points rouges), après application d'un filtre médian sur 15 points (en noir), après changement de signe, interpolation des trous et passage d'une moyenne mobile sur 10 points (en bleu).

Tableau 6.2 : Valeurs des coefficients d'étalonnage déterminés après correction des erreurs dues au gyro du navire

FLUSEC-01	BB-150
A	1,000
ϕ	-0,4°

La valeur de A, est similaire à celles estimées pour les campagnes FRONTALIS-1 (0,999), FRONTALIS-2 (1,001) et FRONTALIS-3 (1,005). La valeur ϕ est du même ordre que pour les campagnes précédentes à bord de l'Alis (-0,4 à -1°). La Figure 6.2 présente les histogrammes des valeurs calculées de A, ϕ et de l'écart d'horloge ADCP-GPS qui est resté négligeable.

- 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 230 m en stations et de 200 m en route. Ces valeurs étaient de 285-245 m pendant FRONTALIS-1, et 235-200 m pour FRONTALIS-2 et FRONTALIS-3. On observe ainsi pas

ou peu de changement depuis les campagnes océanographiques du projet FRONTALIS réalisées entre 2001 et 2005.

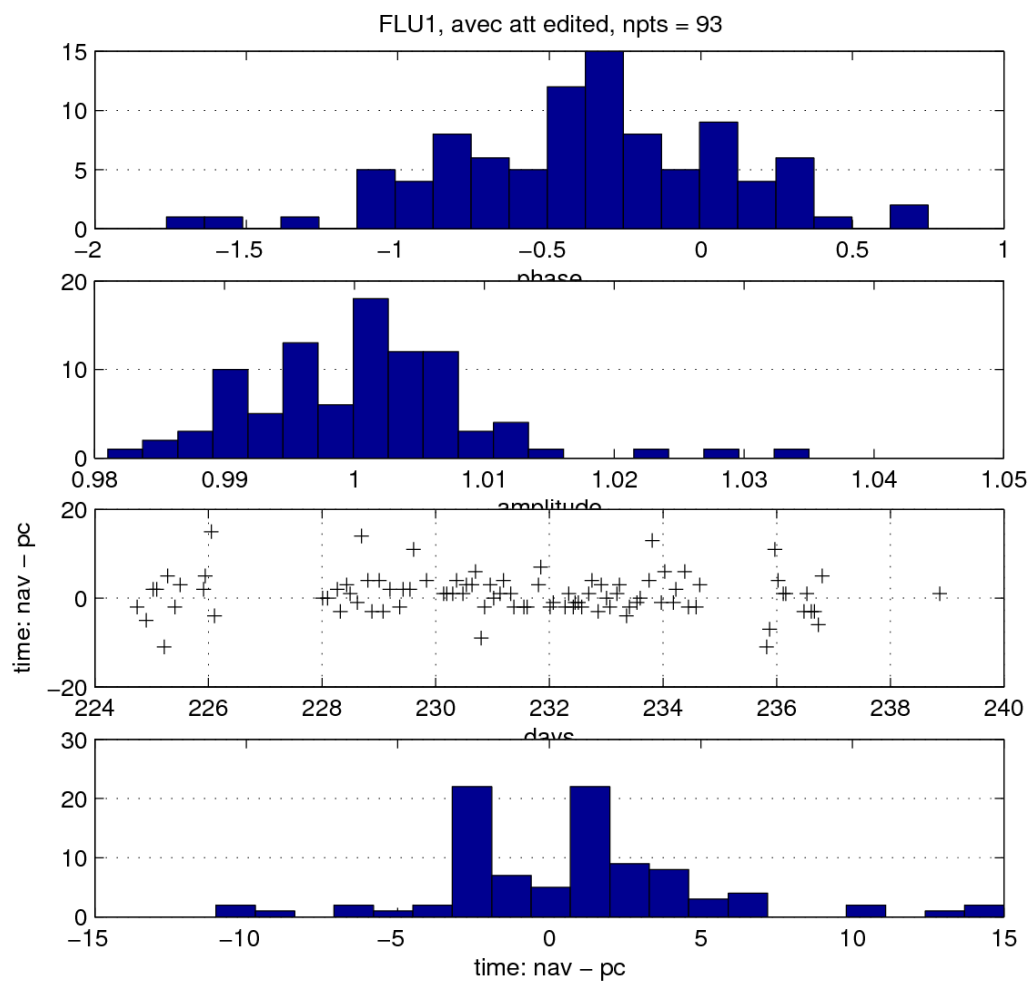


Figure 6.2: Histogrammes de A et ϕ et différences d'horloges GPS-ADCP après application de la correction GPS-gyro.

6.3 Coupes verticales des courants

Les figures 6.3 à 6.5 montrent les contours verticaux de la composante zonale U et méridienne V du courant pour les 3 principales sections de la campagne. Les vitesses sont comptées positives (négatives) vers l'est (ouest) et le nord (sud).

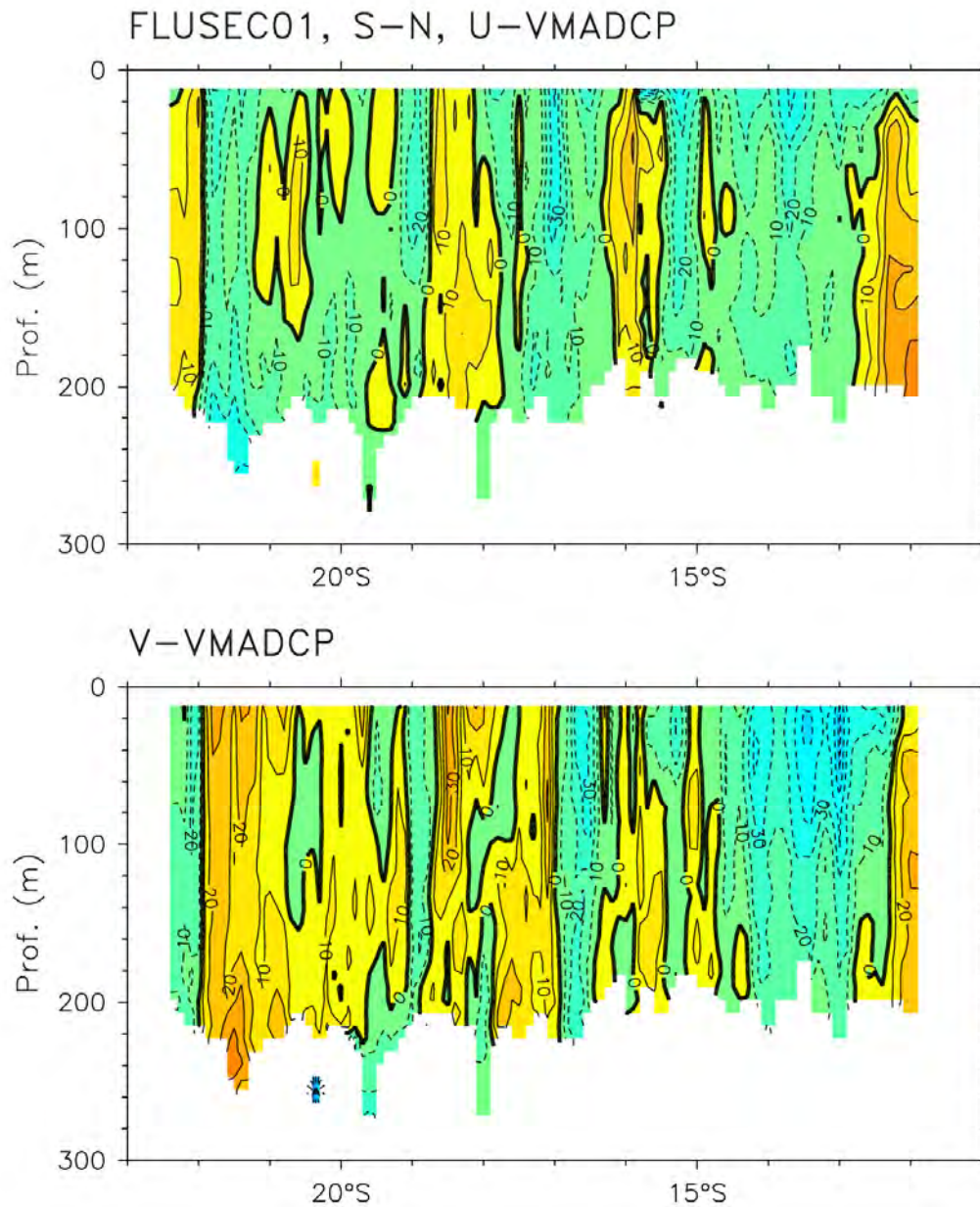


Figure 6.3 : Section des composantes du courant VM-ADCP de Nouméa à 12°S-154°E.

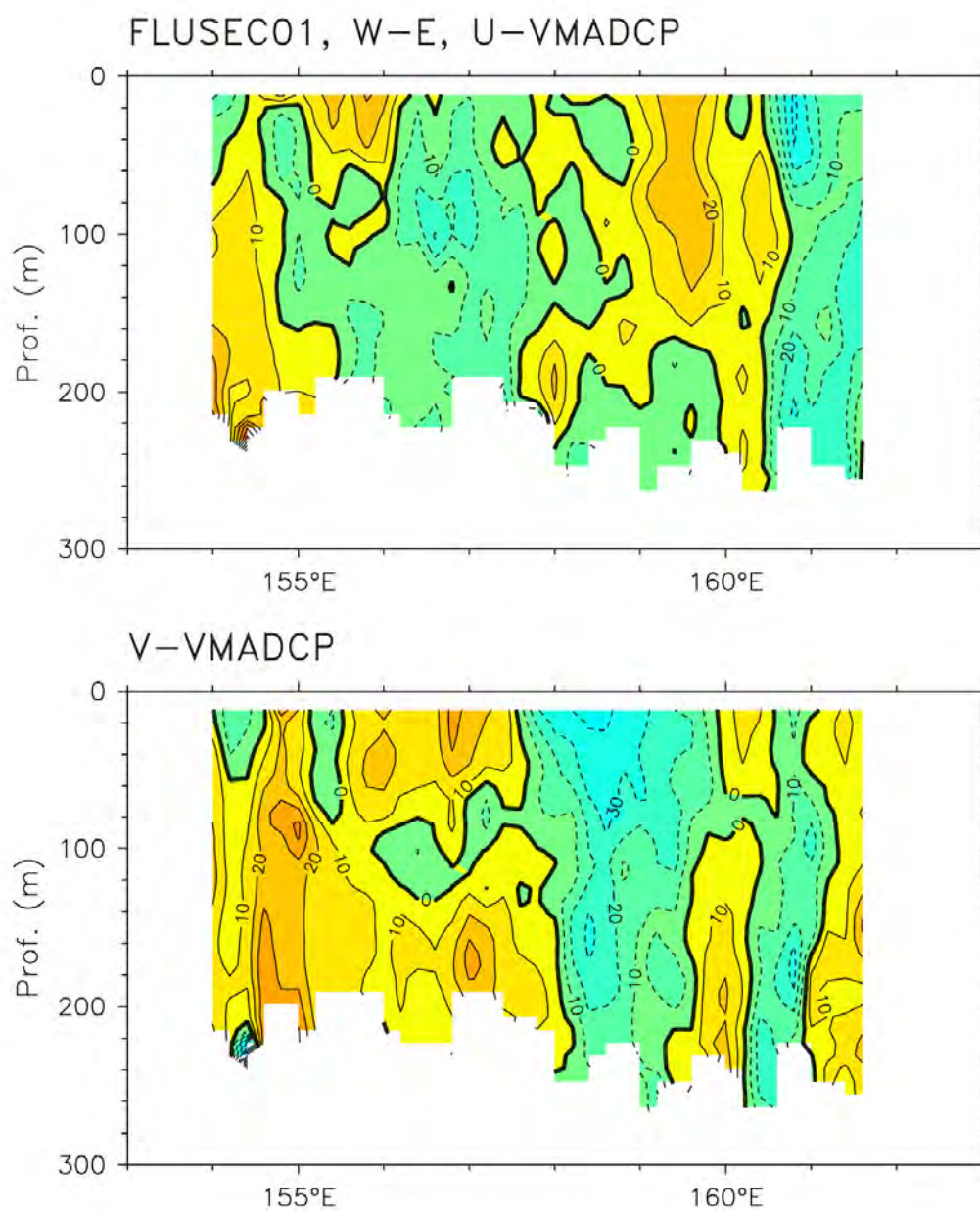


Figure 6.4 : Section quasi-zonale des composantes du courant VM-ADCP à l'entrée de la mer des Salomon, 12°S-154°E à 11°S-161.66°E.

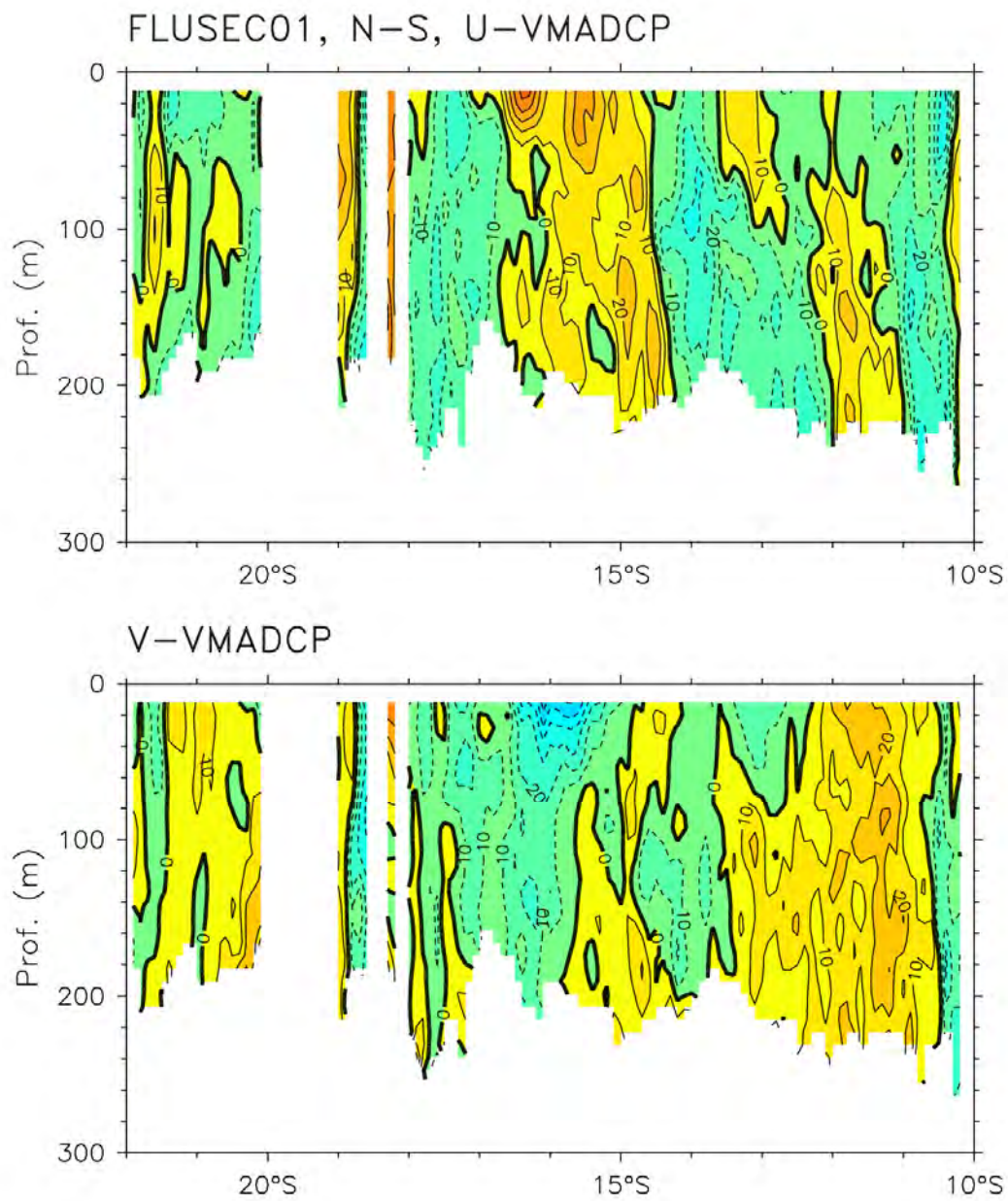


Figure 6.5 : Section des composantes du courant VM-ADCP de 10.20°S-160.40°E à Nouméa.

7. Description des mesures en continu de surface

7.1 Mesures météorologiques

Une station de données météorologiques de type Batos est installée à bord du N. O. Alis. Les paramètres mesurés en continu sont 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 traité toutes les minutes via le logiciel LabView. Les observations de vent et de la température de l'air ($^{\circ}\text{C}$) sont représentées toutes les 2 heures sur la figure 7.1, l'évolution temporelle des autres paramètres sur la figure 7.2 ci-dessous.

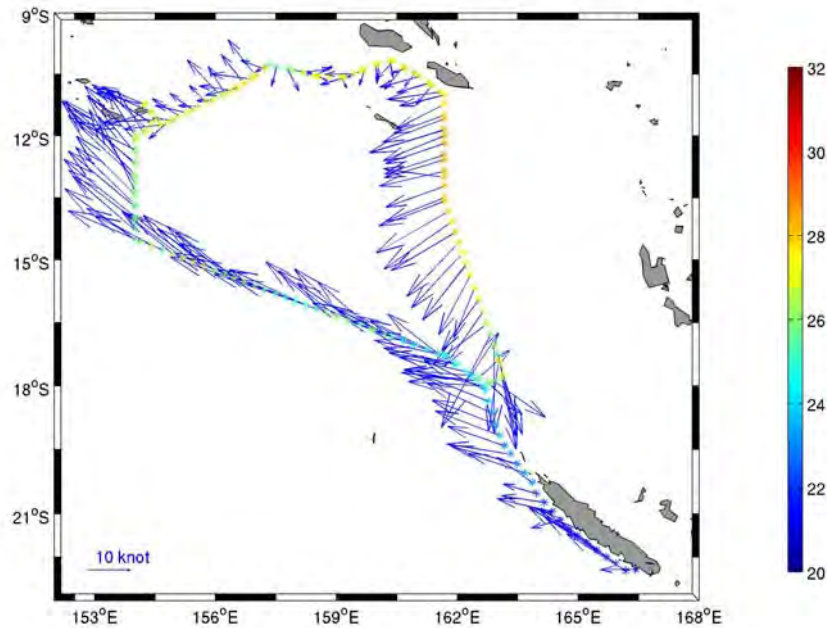


Figure 7.1 : Vent et température de l'air ($^{\circ}\text{C}$) relevés le long de la trajectoire par la station météorologique BATOS à bord du N. O. Alis. La flèche en bas indique l'échelle du vent et la barre colorée à droite donne l'échelle de la température de l'air. Les vents ont été moyennés tous les 10 minutes et sont représentés toutes les 2 heures.

7.2 Données du ThermoSalinoGraphe

La température et la salinité de surface ont été mesurées toutes les minutes pendant toute la durée de la campagne par un ThermoSalinoGraphe TSG-SBE21 du fabricant SeaBird. L'acquisition des données TSG et de la position géographique a été réalisée avec une interface développée sous le logiciel LabView. Le TSG SBE21 est muni d'un débulleur et l'installation est identique aux appareils gérés par l'ORE-SSS (<http://www.legos.obs-mip.fr/observations/sss/>) qui sont opérationnels sur les navires de commerce (Hénin and Grelet, 1996). Les capteurs de température et de conductivité du TSG ont été étalonnés chez SeaBird Inc., avec les spécificités suivantes :

SBE21, no 2642, pré-étalonné le 29/9/2006, post-étalonné le 3/7/2008, dérive négligeable en conductivité (en psu/mois) et de 0,0011 degC/an en température.

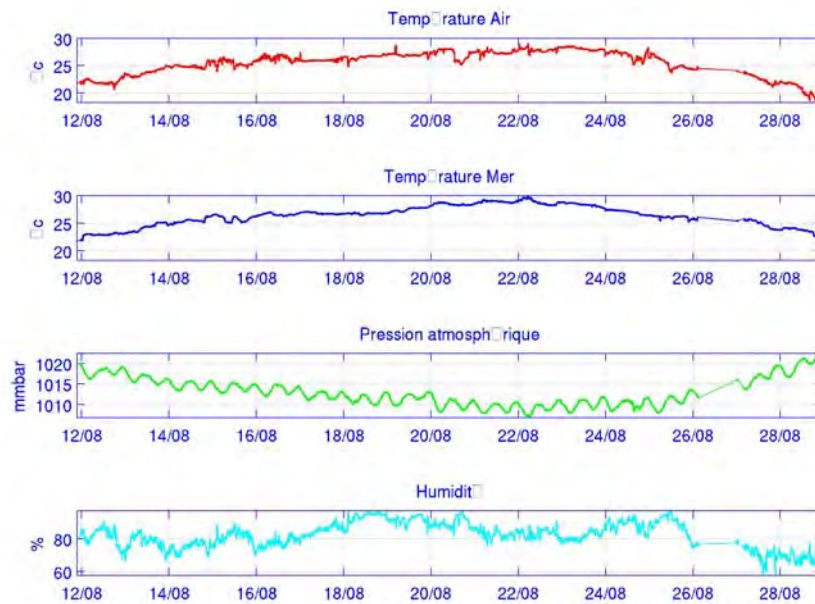


Figure 7.2 : Suivi temporel de la température de l'air, de la température de l'eau de mer, de la pression atmosphérique de surface et de l'humidité relative mesurées par la station Batos.

Les mesures ont été alors comparées aux prélèvements des échantillons effectués directement sur l'alimentation en eau du TSG21 et aux mesures de la bathysonde après calibration pour chaque station disponible et dont le premier niveau était inférieur ou égal à 10 m de profondeur. Cette comparaison a montré une dérive faible et linéaire lors de la campagne (Figure 7.3). Un biais chaud de 0,4°C a été soustrait au champ de température du TSG SBE21, une valeur similaire à celles mise en évidence lors des campagnes précédentes pour le N. O. Alis (cf. Maes *et al.*, 2006). La salinité a été corrigée suivant la relation linéaire suivante : $y = 0,001 t$ (nb de jour) + 0,0166

Après avoir corrigé les tendances linéaires, la moyenne et l'écart type des différences en salinité entre les mesures TSG et les échantillons sont de 0,0053 et de 0,036 respectivement. Ces chiffres sont basés sur un nombre d'échantillons égal à 48.

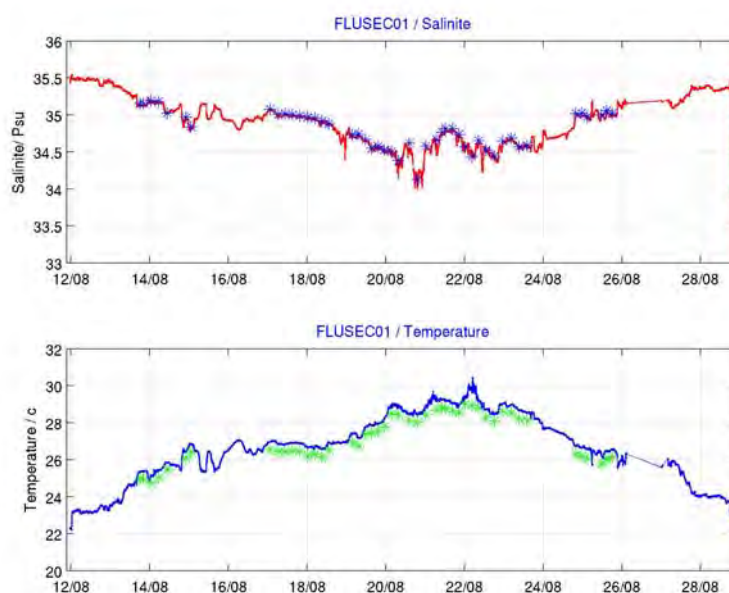


Figure 7.3 : Enregistrements de la salinité et de la température du TSG-SBE21. Les croix représentent les échantillons de salinité et les données CTD de la SBE911+.

8. Opérations d'opportunité

8.1 Mesures géochimiques

Généralités (extrait du rapport de M. Grenier, 2009) :

La famille des « Terres Rares » regroupent 14 éléments, le plus léger étant le lanthane La, le plus lourd le lutétium Lu. Elles ont un comportement chimique similaire défini par 4 électrons présents sur la couche de valence. Cependant, les processus géochimiques génèrent des fractionnements entre les différentes terres rares, liés à leur masse croissante et à la taille de leur rayon ionique. Ces fractionnements nous permettent de tracer par exemple les échanges entre les particules et le matériel dissous dans l'océan. D'autre part, les changements de concentrations d'une masse d'eau informent sur les éventuels contacts qu'elle a pu avoir avec d'autres masses d'eau l'environnant lors de son parcours ou avec des marges continentales. Cependant, si la quantité de terres rares qu'une masse d'eau reçoit est égale à celle qu'elle perd (par exemple par précipitation et sédimentation), les concentrations restent identiques et ne peuvent laisser soupçonner quelque processus. Pour accéder à ces informations « masquées », on mesure en parallèle la composition isotopique du néodyme Nd, quatrième élément de la famille des terres rares. Parmi les 7 isotopes de cet élément, c'est le rapport $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ qui présente un intérêt géochimique et auquel on fait référence par l'usage du terme de « composition isotopique ». L'isotope ^{143}Nd est radiogénique, c'est-à-dire stable mais produit par désintégration radioactive du ^{147}Sm . De ce fait, la composition isotopique du Nd d'une roche est fonction de son histoire géochimique. La distribution d' ϵ_{Nd} dans les différentes formations géologiques est donc hétérogène. On mesure des valeurs variant de $\epsilon_{\text{Nd}} = -40$ sur les vieux continents à $\epsilon_{\text{Nd}} = +10$ sur les îles volcaniques (Jeandel *et al.*, 2007), ce qui en fait un traceur de source de matière à l'océan très efficace.

Prise des échantillons :

Les concentrations en Nd étant très faibles dans l'océan (de l'ordre de 10^{-12} g/g d'eau de mer) des précautions particulières ont été prises dans la préparation du matériel et dans la prise des échantillons d'eau de mer. Les ressorts des bouteilles Niskin ont ainsi été inter-changés par des tuyaux en silicone. Le matériel de stockage et de prélèvement a été lavé à l'acide et rincé avec de l'eau distillée pendant plusieurs jours. Les recommandations pour les prélèvements et les quantités nécessaires en volume ont été fournies par François Lacan (LEGOS). Les manipulateurs de la prise de ces échantillons pendant la campagne FLUSEC-01 ont été G. Eldin et A. Melet.

Résultats des mesures :

Les résultats pour les compositions isotopiques de Nd établis par Grenier (2009) confirment l'existence d'apports et de soustraction d'éléments lithogéniques dans les régions de la mer de Corail, mer des Salomon et mer de Bismarck (Figure 8.1). Ces points avaient déjà été suggérés par les travaux de Lacan et Jeandel (2001) mais ils apportent des éléments nouveaux. Tout d'abord, il apparaît que des apports lithogéniques ont lieu entre la « gyre » sud pacifique et la mer de Corail (potentiellement l'archipel du Vanuatu). Ensuite, ces enrichissements ont apparemment lieu progressivement en mer de Corail et en mer des Salomon, puis dans la mer de Bismarck. Ceci tranche avec des interprétations précédentes qui situaient la majeure partie des enrichissements en mer de Bismarck. Ces conclusions valent pour les eaux de surface, celles de la thermocline, qui alimentent le sous courant équatorial et les eaux intermédiaires.

Contacts : Catherine Jeandel et François Lacan (LEGOS).

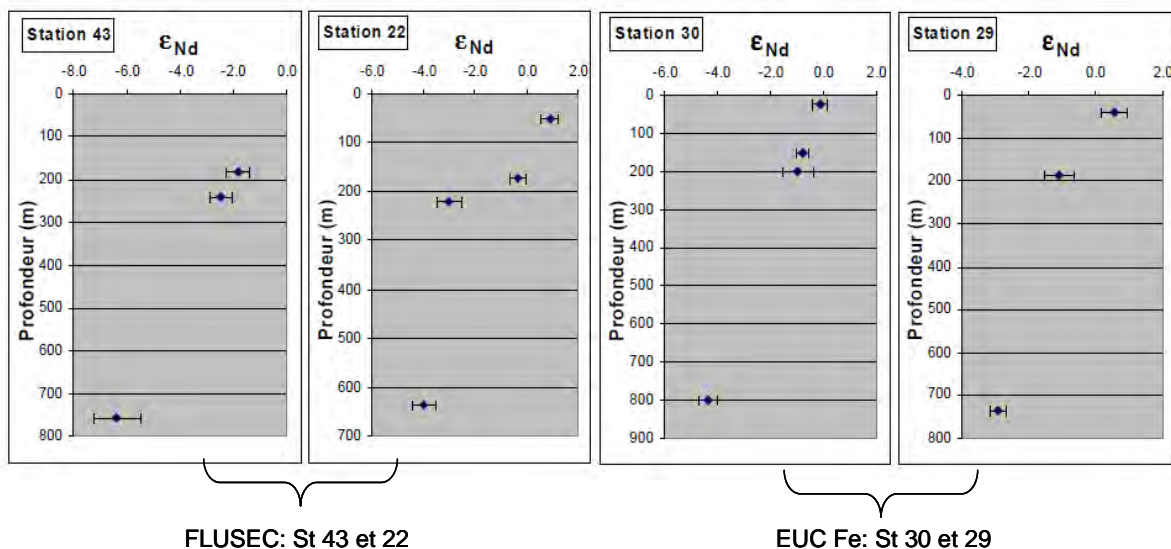


Figure 8.1 : Composition isotopique de néodyme des stations de FLUSEC-01 et EUC-Fe en fonction de la profondeur ; ϵ_{Nd} est sans unité (extrait de Grenier, 2009).

8.2 Mesures des sondes XCTD

Afin de pallier aux éventuels problèmes techniques de treuil et/ou des conditions de navigation difficiles rendant impossible l'utilisation de la bathysonde, des sondes XCTD sont embarquées en secours à bord du N. O. Alis depuis les campagnes SECALIS. Ces sondes permettent ainsi de compléter une section et 4 tirs ont été effectués en route pendant la campagne FLUSEC-01 (voir l'encadré de la figure 8.2). Le matériel utilisé a été acquis au près de la société Tsurumi-Seiki Co., LTD., et il est du type CT01 Sippican prévu pour une utilisation entre 0 et 1000 m de profondeur. Le traitement de ces données se base sur une comparaison avec les profils CTD des stations 41 et 42. Une comparaison au niveau des eaux intermédiaires montre une différence systématique de la salinité de l'ordre de 0,035 ; cet ordre de grandeur est consistant avec les résultats de comparaisons similaires établies par Mizumo et Watanabe (1998). Les valeurs corrigées ont été interpolées sur une grille tous les 2 m afin de s'affranchir des effets des très petites échelles et de la présence de bruit de mesure (Gille *et al.*, 2009 ; Tanguy *et al.*, 2009). Le capteur de conductivité s'ajustant plus lentement que celui de température, les données dans les couches proches de la surface ne sont pas exploitables (typiquement entre 4 et 6 m). Tous les profils de température et de salinité sont représentés sur la Figure 8.2 ci-dessous.

8.3 Déploiement de flotteurs autonomes APEX du réseau Argo

Dans le cadre du programme international Argo (<http://www.argo.net>) deux flotteurs autonomes du type APEX ont été fournis par le CSIRO (Hobart) et ont été déployés en concertation avec ce groupe en mer de Corail. Ces flotteurs collectent tous les 10 jours des profils de température et de salinité de la colonne d'eau (0-2000 m) et fournissent des estimations pertinentes sur les courants profonds lors de leurs déplacements à une profondeur de parking fixée à 1000 m (cf. Maes *et al.*, 2007). Un bref résumé des conditions d'acquisition des données est rappelé ci-dessous pour ces deux flotteurs. Les données de ces flotteurs sont accessibles depuis le centre de données CORIOLIS (<http://www.coriolis.eu.org>).

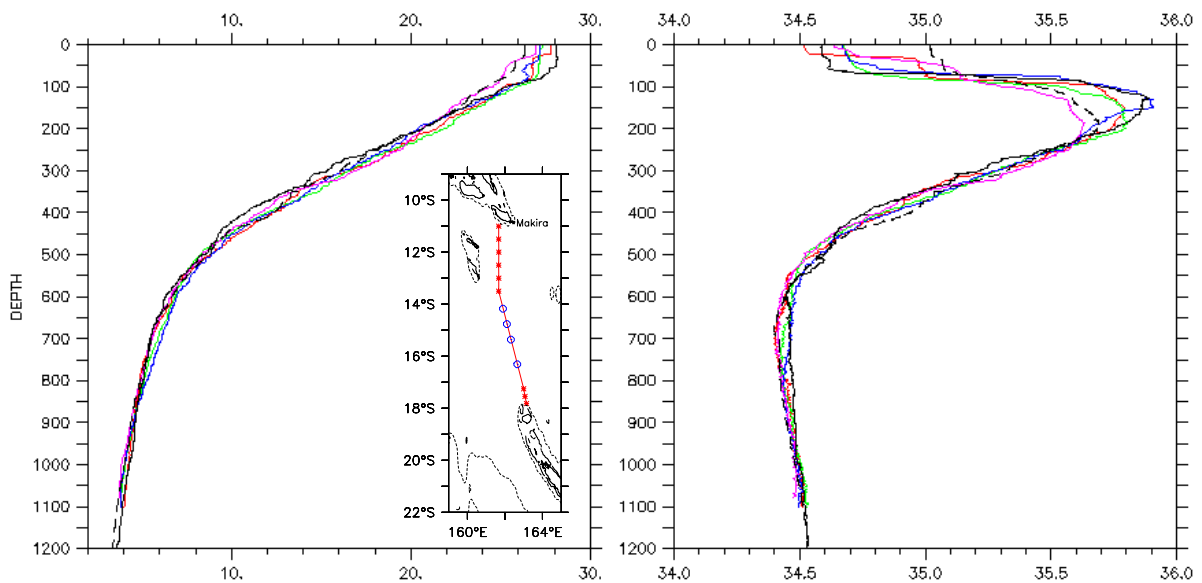


Figure 8.2 : Profils verticaux de la température potentielle et de la salinité issus des sondes XCTD (en couleur) ; pour comparaison les profils CTD des stations 41 et 42 sont représentés en noir (respectivement en continu et en pointillé). La position géographique de ces tirs XCTD est donnée dans l'encart (en bleu) avec la route du navire (en rouge).

- Déploiement d'un flotteur APEX Id-WMO 5901626. Malgré plusieurs tentatives d'immersion ce flotteur n'a jamais fonctionné dans des conditions normales.
- Déploiement du flotteur APEX Id-WMO 5901627 ; mise à l'eau à 14° 31'S – 154° 01'E le 17/08/2007 à 2h13 (GMT). Les Figures 8.3 et 8.4 montrent respectivement les positions successives de ce flotteur en mer de Corail et les diagrammes temps-profondeur de la température potentielle et de la salinité ajustées.

Le P.I. de ces flotteurs APEX du réseau Argo est Susan Wijffels (CSIRO, Australie).

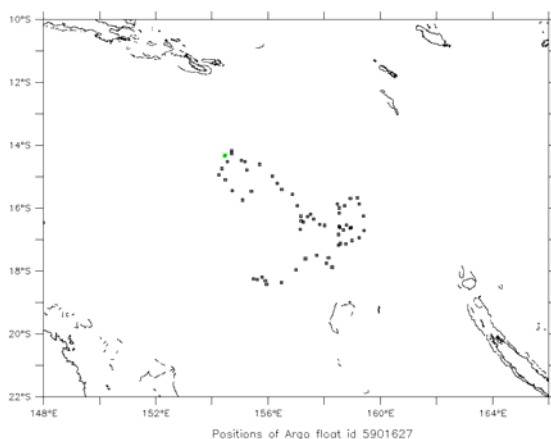


Figure 8.3 : Positions géographiques des profils acquis par le flotteur APEX Id-WMO 5901627

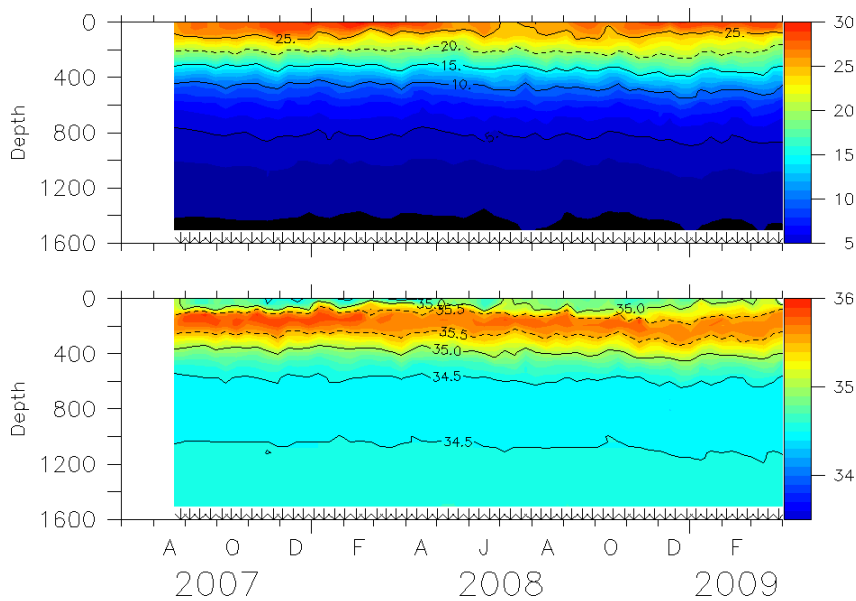


Figure 8.4 : Séries temporelles de la température (haut) et de la salinité (bas) issues des profils collectés par le flotteur APEX Id-WMO 5901627

8.4 Mise à l'eau d'une mission « Spray-Glider »

The FLUSEC-01 cruise corroborated with an experimental glider monitoring of the Low Latitude Western Boundary Currents of the Solomon Sea as the New Guinea Coastal Undercurrent (NGCU). Thanks to the PMEL/SCRIPPS/IRD collaboration, SPRAY gliders are regularly deployed between the PNG and the Solomon Islands to survey total mass and heat transport into the Solomon Sea.

'Spray' (<http://spray.ucsd.edu/>), as shown in the photos 8.1, is an underwater glider developed by Scripps and Woods Hole scientists (Sherman *et al.*, 2001) to provide a small long-range autonomous platform for long-term ocean measurements. 'Spray' uses primary-lithium-battery power and a hydraulic pump to periodically change its volume and to glide upwards and downwards. This results in a see-saw path at descent/ascent angles of 18-25° and forward speeds of 25-35 cm/s. Heading and ascent/descent rate are controlled without control surfaces by moving weight (battery packs) inside the hull to change roll and pitch, much as a hang glider is controlled. Depth capabilities range from 200 m to 1500 m while operating lifetimes range from a few weeks to several months. At the surface Spray rolls 90° to raise one of its wings that contains a combined GPS/Iridium antenna. At the surface, GPS is used to locate the vehicle and satellite data relay is used to send this location and other data to shore while allowing operators to send back changes to the mission. Sensors that have been used include: Modified Sea Bird 41 CP CTD with seawater pump; Sea Point Chlorophyll Fluorometer; and a Tritech PA200 acoustic altimeter for bottom avoidance. In addition to the sensors above, the Spray measures the horizontal current averaged over its operating depth. The measured (from pressure) vertical velocity and a field- and laboratory-verified model of gliding dynamics are used to infer the glider velocity through the water (this assumes that the vertical ocean velocity is much smaller than the horizontal current). Comparing dead reckoning based on this velocity with the actual distance made good (from GPS navigation) provides a measure of ocean velocity averaged over the glider's range of depths.

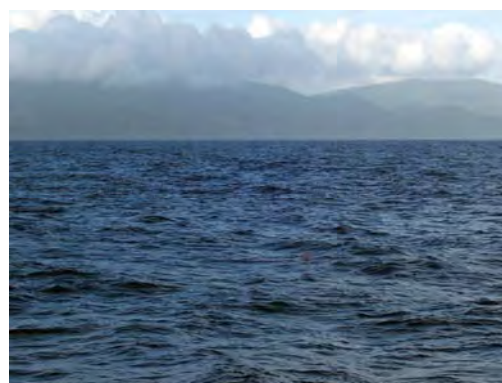
The first deployment in the Solomon Sea was made during the FLUSEC-01 cruise at the southeastern extremity of PNG. It was launched on 18 Aug 2007 from R/V Alis, near Rossel Island, PNG (photos 8.1 and figure 2.1). It was recovered on 6 Nov 2007 near Gizo, Solomon Islands, with a local boat.

Data were available on line during the mission at http://spray.ucsd.edu/cgi-bin/archive_init.pl?start_archive=ARCHIVE+DATA. The general structure of the file is a two-line header and a sequence of text blocks each describing a subsequent dive. Each dive block consists of a two-line header followed by a line for each measurement depth.

Profiles of temperature and salinity are available every 5-6 km along the glider's track. Figure 8.5 shows the vertical sections of these data. The maximum of salinity, characteristic of thermocline water, is clearly observed and the spreading of the isotherms to the west indicates that the NGCU is an undercurrent.

The absolute cross track geostrophic current, estimated from the combination of the geostrophic current relative to 500 m and the depth-averaged velocity estimated by the glider drift, confirms the NGCU as an undercurrent with its core at 250 m depth when entering into Milne Bay between the points A and B (Figure 8.6). During this mission, the glider measured an equatorward transport of 18 Sv through the Solomon Sea, and about half of this flowed into Milne Bay.

Contacts: Lionel Gourdeau (IRD/LEGOS) et William Kessler (PMEL/NOAA).



Photos 8.1 : The Spray glider fixed on the desk of the R/V Alis (©IRD, C. Maes) and, at sea, in the vicinity of the Rossel Island (©IRD, G. Eldin)

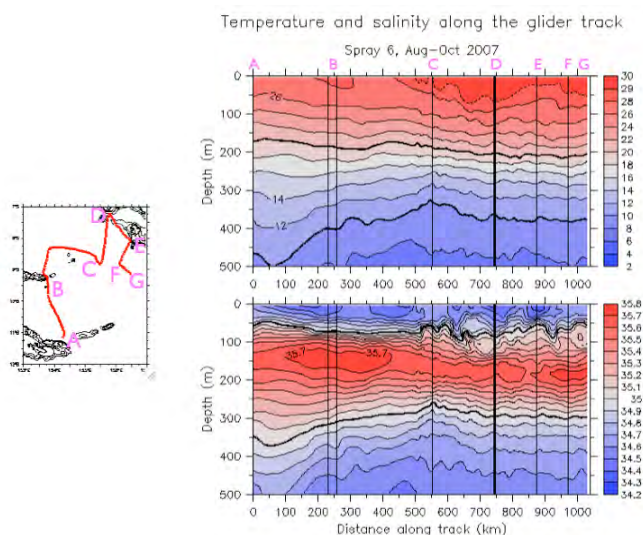


Figure 8.5 : Temperature (top) and salinity (bottom) sections along the glider track. Distances are in km from the location of deployment (point A).

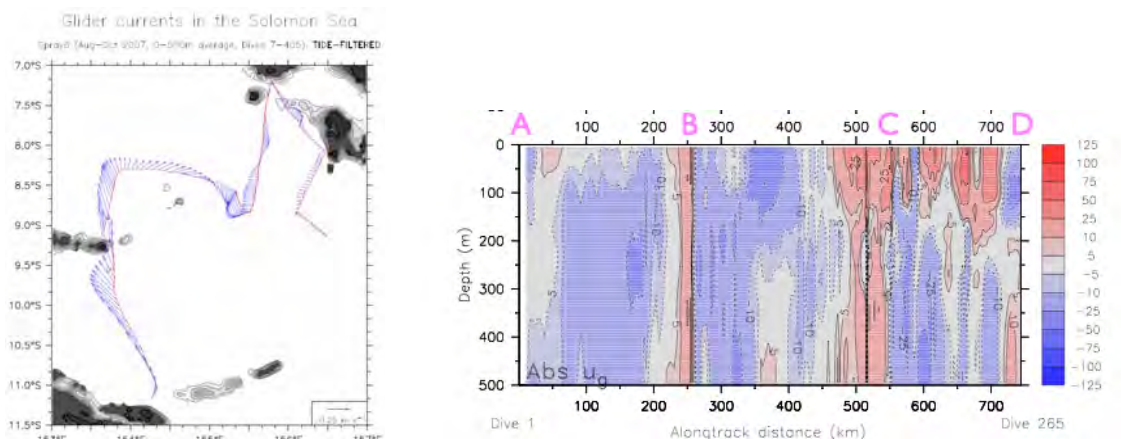


Figure 8.6 : Depth averaged glider currents once the data have been tide filtered (left) and vertical section of absolute cross track geostrophic velocity (right). Distances are in km from the location of deployment (point A, see Fig. 8.5).

9. Références

- Bahr, F., E. Firing and S. Jiang, Acoustic Doppler current profiling in the western Pacific during the US-PRC TOGA Cruises 5 and 6, *JIMAR Contr. 90-0228, U. of Hawaii*, 162 pp., 1990.
- Carpenter, J. H., The Chesapeake Bay Institute technique for the Winkler dissolved oxygen method. *Limnol. Oceanogr.*, 10, 141-143, 1965.
- DOE, 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., 1994.
- Eldin, G., T. Delcroix, and M. Rodier, The frontal area at the eastern edge of the western equatorial Pacific warm pool in April 2001, *J. Geophys. Res.*, 109, doi:10.1029/2003JC002088, 2004.
- Fischer, J., and M. Visbeck, Deep Velocity Profiling with self-contained ADCPs, *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 764-773, 1993.
- Frenay, L., Validation et comparaison du modèle ROMS au regard de la campagne FLUSEC-01 (Août 2007), Stade de 2nd année de l'école d'ingénieur ENSTA, France, 24 pp., 2008.
- Ganachaud, A., *et al.*, Southwest Pacific Ocean Circulation and Climate Experiment (SPICE)—Part I. Scientific Background. International CLIVAR Project Office, CLIVAR Publication Series No. 111, NOAA OAR Special Report, NOAA/OAR/PMEL, Seattle, WA, 37 pp, 2007.
- Ganachaud, A., L. Gourdeau, and W. Kessler, Bifurcation of the subtropical south equatorial current against New Caledonia in December 2004 from an hydrographic inverse box model, *J. Phys. Oceanogr.*, 38, 2072-2084, 2008a.
- Ganachaud, A., *et al.*, Southwest Pacific Ocean Circulation and Climate Experiment—Part II. Implementation plan. International CLIVAR Project Office, CLIVAR Publication Series No. 133, NOAA OAR Special Report, 36 pp., 2008b.
- Garcia, H. E., and L. I. Gordon, Oxygen solubility in seawater: Better fitting equations, *Limnology and Oceanography*, 37, 1307-1312, 1992.
- Gille, S. T., A. Lombrozo, J. Sprintall, and G. Stephenson, Anomalous spiking in spectra of XCTD Temperature profiles, *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 26, 1157-1164, 2009.
- Gourdeau, L., W. Kessler, R. Davis, J. Sherman, C. Maes, and E. Kestenare, Zonal jets entering the Coral sea, *J. Phys. Oceanogr.*, 38, 715-725, 2008.
- Grenier, M., Sources et transports de matériel lithogénique dans le Pacifique équatorial: suivi lagrangien et traceurs géochimiques. Rapport de stage de Master 2 réalisé au LEGOS/Toulouse en février-juin 2009, Université P. Sabatier, Toulouse, France, 34 pp, 2009.
- Hénin, C. and J. Grelet, A merchant ship thermo-salinograph network in the Pacific Ocean. *Deep-Sea Res. I*, 43, 1833-1855, 1996.

- Jeandel, C., Arsouze T., Lacan F., Dutay J.-C., Ayoub N., and Techine P., Nd isotopic compositions and concentrations of the lithogenic inputs into the ocean: a compilation, with an emphasis on the margins. *Chemical Geology* 239, 156–164, doi:10.1016/j.chemgeo. 2007.
- Joyce, T. and C. Corry, Requirements for WOCE hydrographic programme data reporting, WHP Office Report 90-1, WOCE Report n°67/91, Woods Hole, Mass., USA, 1994.
- Lacan, F., and C. Jeandel, Tracing Papua New Guinea imprint on the central Equatorial Pacific Ocean using neodymium isotopic compositions and Rare Earth Element patterns, *Earth Planet. Sc. Lett.*, 186, 497-512, 2001.
- Lagarias, J. C., J. A. Reeds, M. H. Wright, and P. E. Wright, Convergence Properties of the Nelder-Mead Simplex Method in Low Dimensions, *SIAM Journal of Optimization*, 9, 112-147, 1998.
- Maes, C., Océanographes des mers du Sud, 50 ans d'océanographie physique dans l'Océan Pacifique sud-ouest, *MetMar*, 213, 4-11, 2006.
- Maes, C., L. Gourdeau, X. Couvelard, and A. Ganachaud, What are the origins of the Antarctic Intermediate Waters transported by the North Caledonian Jet, *Geophys. Res. Let.*, 34, L21608, doi:10.1029/2007GL031546, 2007.
- Maes, C., On the ocean salinity stratification observed at the eastern edge of the equatorial Pacific warm pool, *J. Geophys. Res.*, 113, C03027, doi:10.1029/2007JC004297, 2008.
- Melet, A., L. Gourdeau, W. Kessler, J. Verron, and J.-M. Molines, Thermocline circulation in the Solomon Sea : A modeling study. *J. Phys. Oceanogr.*, in press, 2009.
- Millard, R., WHP operations and methods, <http://whpo.ucsd.edu/manuals.html>, 1993.
- Millero, F. J. and A. Poisson, International one-atmosphere equation of the state of Sea Water, *Deep Sea Res.*, 28, 625-629, 1981.
- Mizumo, K., and T. Watanabe, Preliminary results of in-situ XCTD/CTD comparison test, *J. Oceanogr.*, 54, 373-380, 1998.
- Murphy, D., N. Larson and B. Edwards, Improvements to the SBE 43 Oxygen Calibration Algorithm, SEABIRD technical papers, 2008.
http://www.seabird.com/technical_references/paperindex.htm
- Owens, W. et R. Millard, A new algorithm for CTD oxygen calibration. *J. Phys. Oceanogr.*, 15, 621-631, 1985.
- Pollard, R. and J. Read, A method for calibrating ship-mounted acoustic Doppler profilers, and the limitations of gyro compasses, *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 6, 859-865, 1989.
- Ridgway, K. R., and J. R. Dunn, Mesoscale structure of the mean East Australian Current system and its relationship with topography, *Prog. Oceanogr.*, 56, 189–222, 2003.
- Sherman, J., R. E. Davis, W. B. Owens, and J. Valdes, The autonomous underwater glider “Spray”, *IEEE Oceanic Eng.*, 26, 437–446, 2001.
- Tanguy, Y., S. Arnault, and Lattes, P., Isothermal, mixed, and barrier layers in the subtropical and tropical Atlantic Ocean during the ARAMIS experiment, *Deep Sea Res.*, in press, 2009.

Appendum : Liste des récents rapports de missions en mer du centre IRD de Nouméa

- Ganachaud, A., G. Eldin, M. Rodier, R. Chuchla, F. Gallois, et A. Lapetite, Rapport de la campagne FRONTALIS-2 à bord du N. O. Alis du 22 avril au 22 mai 2004. *Rapports de missions*, Sciences de la Mer, Océanographie Physique, Centre IRD de Nouméa, Nouvelle Calédonie, no 18, 185 pp, 2006.
- Ganachaud, A., A. Vega, F. Gallois, B. Vignal, L. Jamet, M. Rodier, L. Gourdeau, et G. Alory, Rapport de la campagne SECALIS-2 du 4 au 18 décembre 2004. *Rapports de missions*, Sciences de la Mer, Océanographie Physique, Centre IRD de Nouméa, Nouvelle Calédonie, no 19, 77 pp, 2006.
- Ganachaud, A., A. Vega, M. Rodier, R. Le Borgne, D. Varillon, F. Soul, C. Maes, J-M. Boré, et A. Lapetite, Rapport des missions EMERLIS-CoDys à bord du N. O. Alis du 14 au 17 décembre 2005 et du 9 au 19 avril 2006. *Rapports de Missions*, Sciences de la Mer, Océanographie Physique, Centre IRD de Nouméa, Nouvelle Calédonie, no 22, 79 pp, 2008.
- Gourdeau L., *et al.*, Rapport de la mission SECALIS-3 à bord du N. O. l'Alis du 11 au 24 juillet 2005. *Rapports de missions*, Sciences de la Mer, Océanographie Physique, Centre IRD de Nouméa, Nouvelle Calédonie, no 21, 80 pp, 2007.
- Gourdeau L., *et al.*, Rapport de la mission SECALIS-4 à bord du N. O. l'Alis du 7 au 22 novembre 2006. *Rapports de Missions*, Sciences de la Mer, no 23, Centre IRD de Nouméa, BP A5, Nouvelle-Calédonie, no 23, 79 pp, 2008
- Maes, C., E. Kestenare, A. Ganachaud, F. Gallois, M. Rodier, D. Varillon, G. Eldin, R. Chuchla, et A. Lapetite, Rapport de la mission FRONTALIS 3 à bord du N. O. Alis du 22 avril au 19 mai 2005. *Rapports de missions*, Sciences de la Mer, Océanographie Physique, Centre IRD de Nouméa, Nouvelle Calédonie, no 20, 167 pp, 2006.

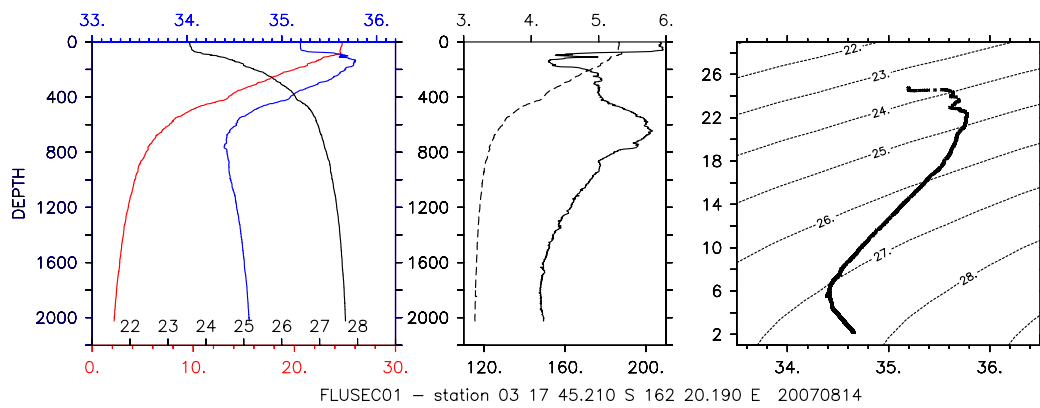
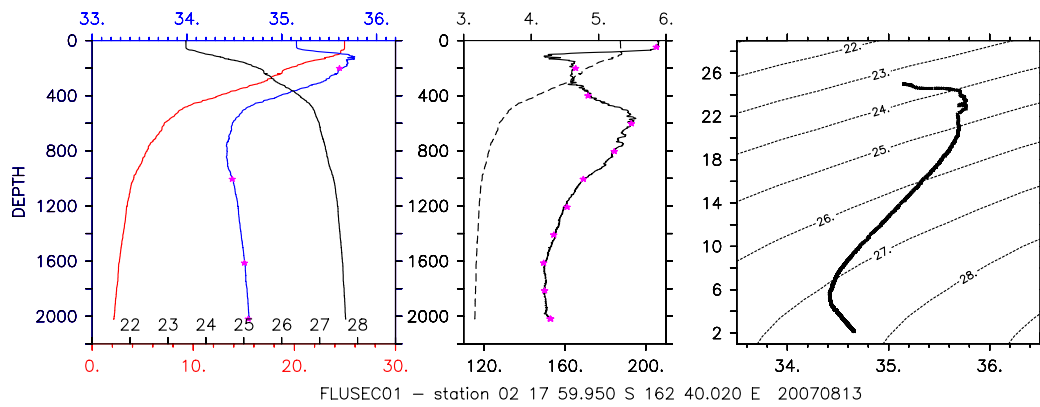
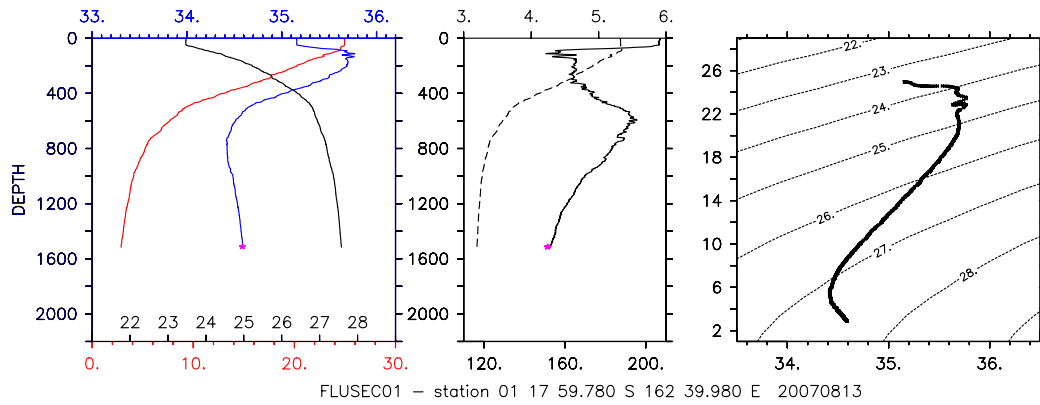
10. Annexes

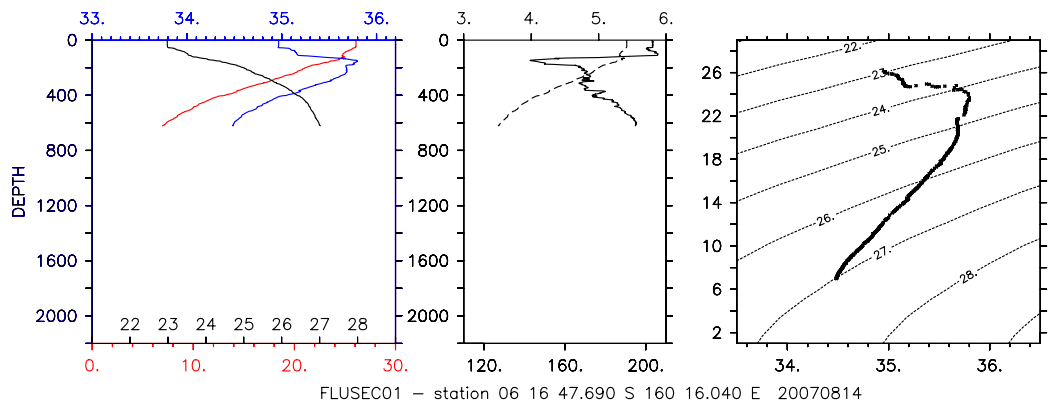
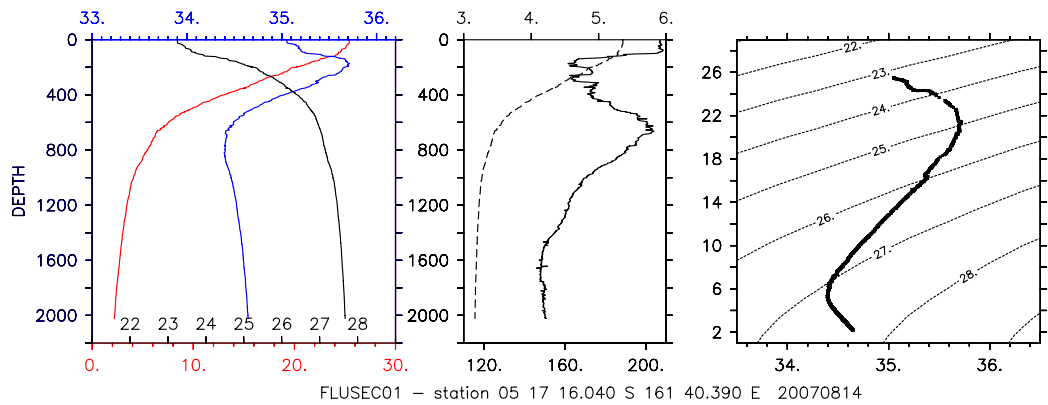
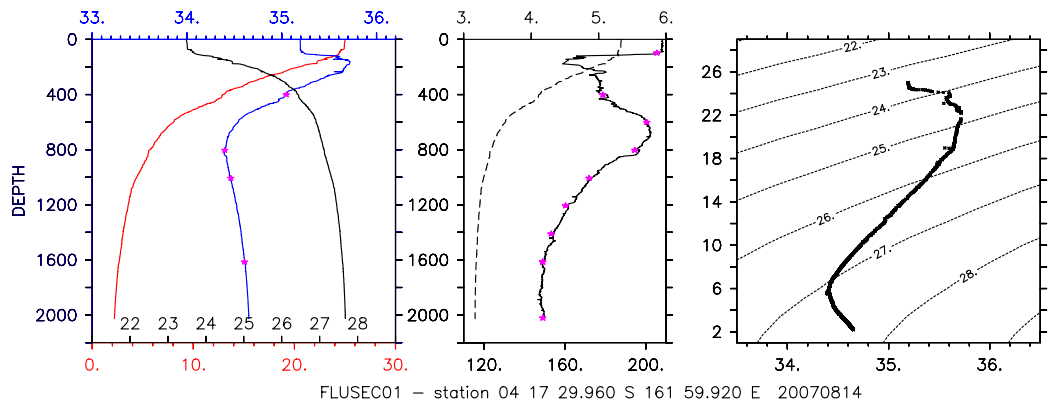
Annexe 1: chronologie détaillée de la campagne

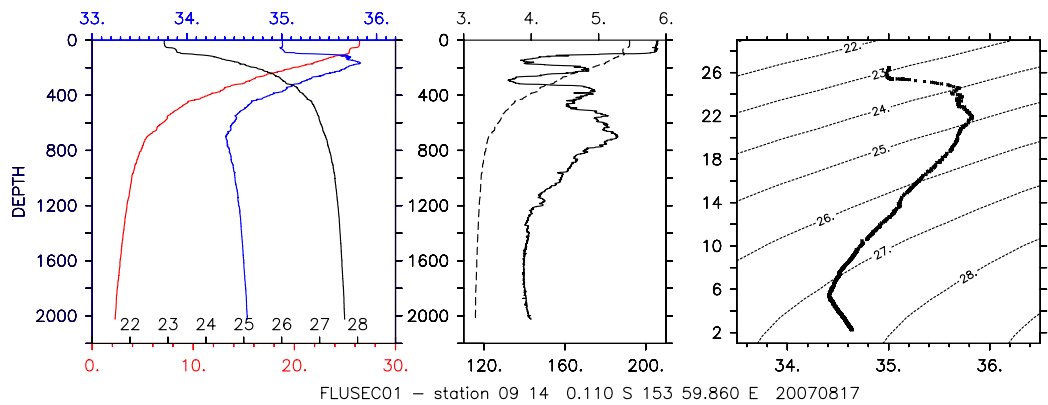
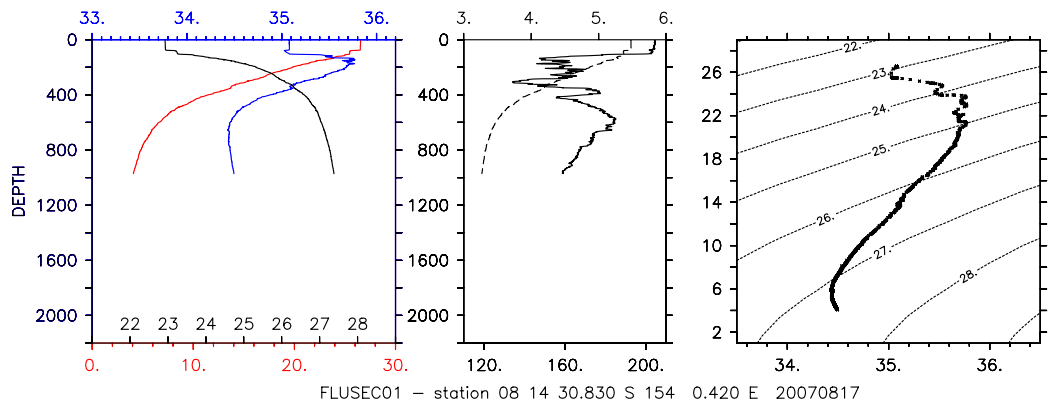
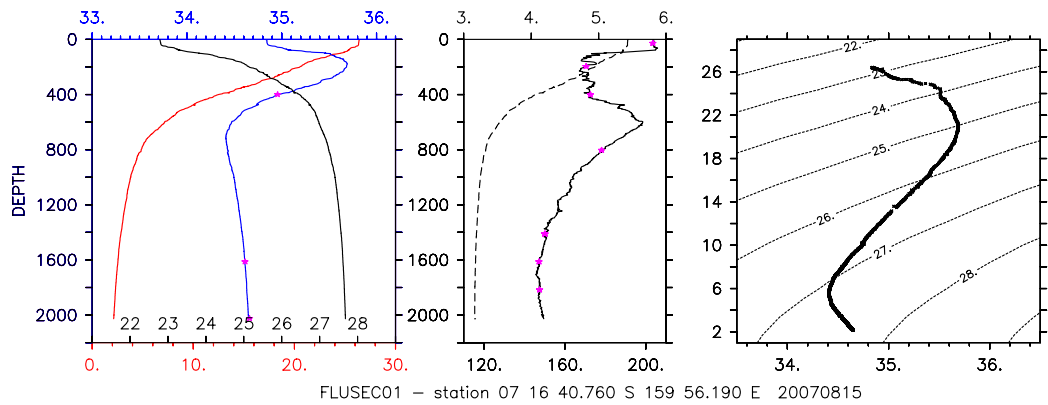
Station	Date	Heure	Latitude (°S)	Longitude (°E)	Profondeur (m)	Durée
01	13/08/2007	18 :09	17.9971	162.666	1516	1h42m
02	13/08/2007	20 :16	17.9992	162.667	2022	2h14m
03	14/08/2007	00 :53	17.7533	162.336	2025	1h40m
04	14/08/2007	05 :21	17.4990	161.998	2026	1h40m
Flotteur Apex 5901626	14/08/2007	07 :11	17.4300	161.916		
05	14/08/2007	10 :44	17.2528	161.666	2023	1h11m
06	14/08/2007	22 :11	16.7947	160.267	622	4h38m
07	15/08/2007	01 :19	16.6795	159.936	2027	3h32m
08	17/08/2007	01 :34	14.5000	154.000	972	0h55m
Flotteur Apex 5901627	17/08/2007	02 :13	14.5100	154.001		
09	17/08/2007	06 :32	14.4999	154.001	2025	1h34m
10	17/08/2007	10 :38	13.6745	153.996	2023	1h32m
11	17/08/2007	15 :04	13.3316	153.998	2023	1h48m
12	17/08/2007	19 :29	13.0031	153.998	2026	1h56m
13	18/08/2007	00 :22	12.6690	154.004	2023	1h46m
14	18/08/2007	04 :48	12.3335	153.999	2024	1h50m
15	18/08/2007	08 :59	11.9986	154.001	1819	1h49m
16	18/08/2007	13 :14	11.8628	154.322	1822	1h56m
Déploiement du « Spray » glider	18/08/2007	21 :00	11.2333	154.233		Fin à 23h
17	19/08/2007	03 :37	11.7263	154.628	2024	1h41m
18	19/08/2007	07 :22	11.6105	154.943	2023	1h40m
19	19/08/2007	11 :44	11.4321	155.293	2023	1h47m
20	19/08/2007	15 :29	11.2804	155.589	2024	1h47m
21	19/08/2007	19 :19	11.1157	155.930	2023	1h42m
22	19/08/2007	23 :10	10.97385	156.237	2024	1h49m
Prélèvements Géochimie						
23	20/08/2007	03 :26	10.8241	156.534	2025	1h45m
24	20/08/2007	07 :49	10.6071	156.884	2024	1h48m
25	20/08/2007	14 :25	10.2571	157.330	2023	1h48m
26	20/08/2007	19 :22	10.3922	157.929	1617	1h28m
27	21/08/2007	00 :28	10.5380	158.483	2023	1h34m
28	21/08/2007	06 :53	10.5718	159.187	2022	1h56m
29	21/08/2007	10 :13	10.4800	159.433	1014	0h53m
30	21/08/2007	12 :22	10.3975	159.625	2025	1h38m
31	21/08/2007	16 :47	10.2289	160.035	2023	1h37m
32	21/08/2007	20 :37	10.1647	160.390	2018	1h32m

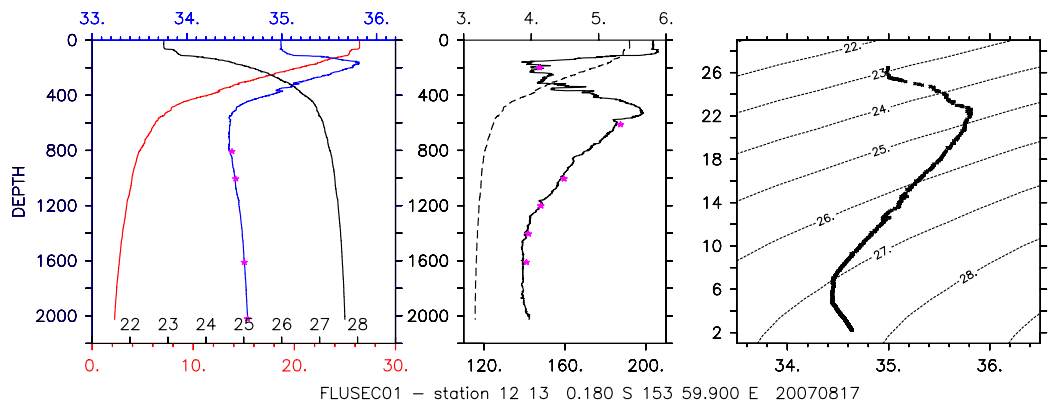
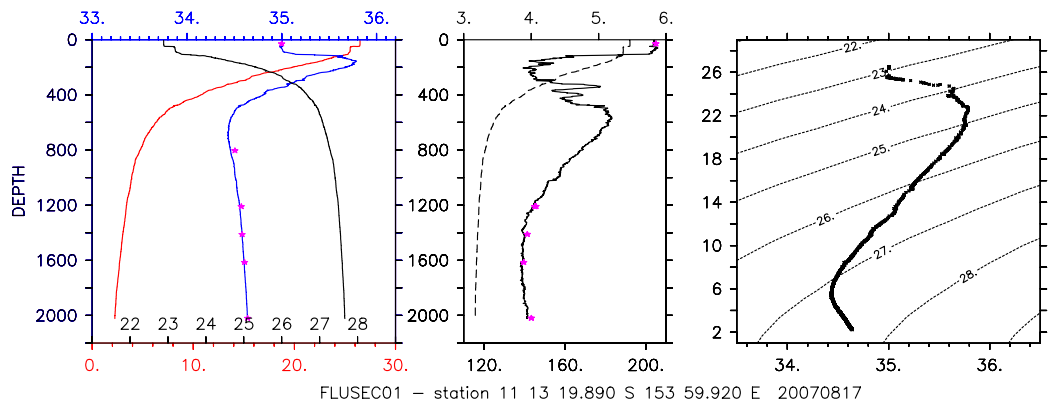
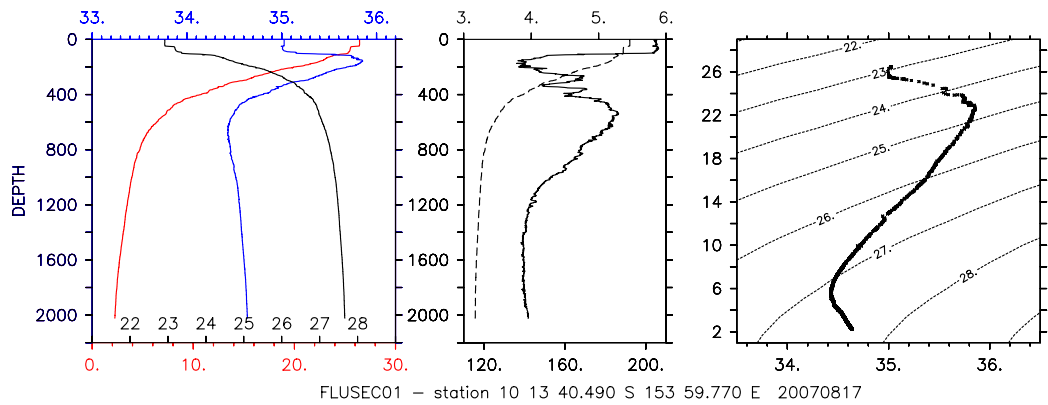
33	22/08/2007	00 :18	10.3190	160.647	2024	1h31m
34	22/08/2007	04 :38	10.5002	161.000	2025	1h11m
35	22/08/2007	08 :44	10.7493	161.333	2014	1h25m
36	22/08/2007	13 :12	11.0000	161.667	2024	1h26m
37	22/08/2007	18 :17	11.4994	161.666	2025	1h33m
38	22/08/2007	23 :29	11.9998	161.672	2024	1h34m
39	23/08/2007	04 :32	12.5004	161.665	2023	1h17m
40	23/08/2007	09 :22	13.0011	161.671	2027	1h37m
41	23/08/2007	14 :13	13.5002	161.666	2024	1h40m
XCTD	23/08/2007		14.1733	161.895	1100	
XCTD	24/08/2007		14.7646	162.104	1100	
XCTD	24/08/2007		15.3604	162.317	1100	
XCTD	24/08/2007		16.3092	162.658	1080	
42	24/08/2007	19 :55	17.2505	162.999	2024	1h23m
43	24/08/2007	23 :25	17.5454	163.069	2026	1h38m
Prélèvements Géochimie						
44	25/08/2007	02 :55	17.8176	163.150	2029	1h06m
45	25/08/2007	11 :38	17.7408	162.349	2024	1h45m
46	25/08/2007	14 :46	17.6761	162.607	2024	2h10m
47	25/08/2007	18 :06	17.6329	162.830	2023	1h41m

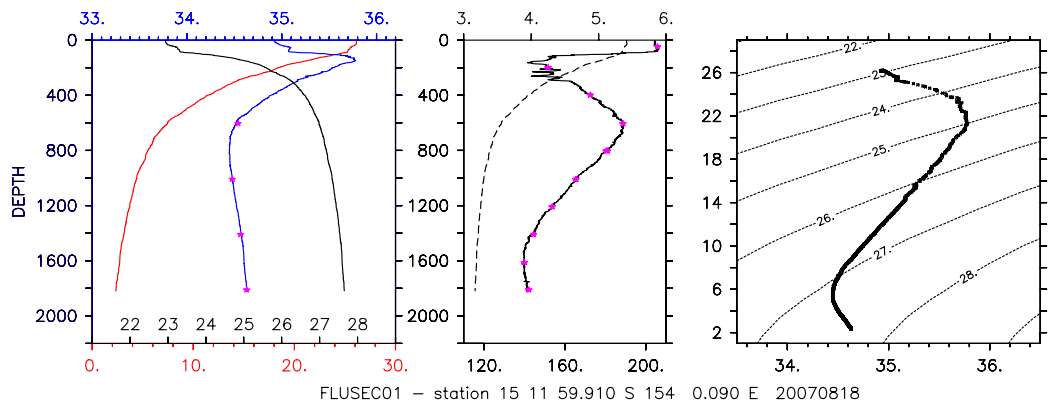
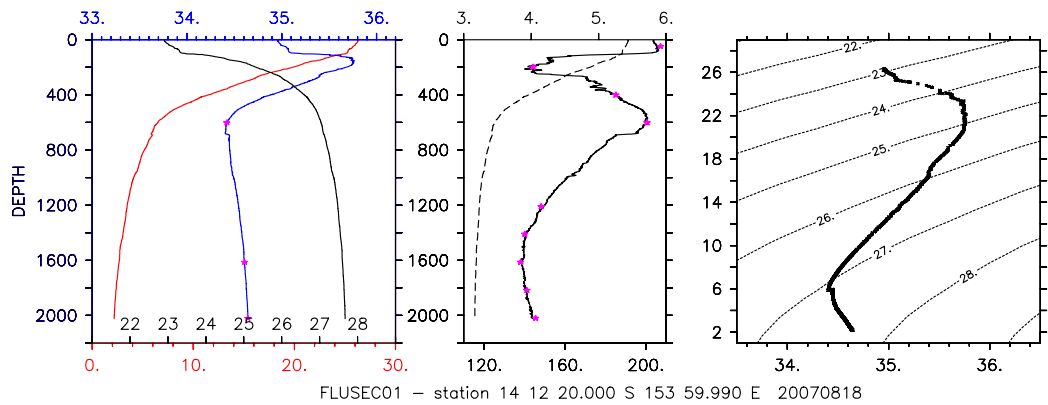
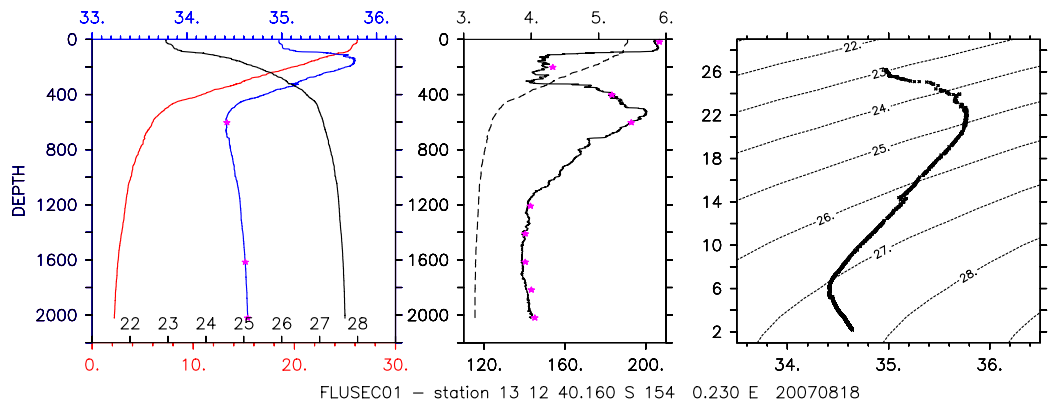
Annexe 2 : Représentation verticale des profils hydrologiques CTD-O₂

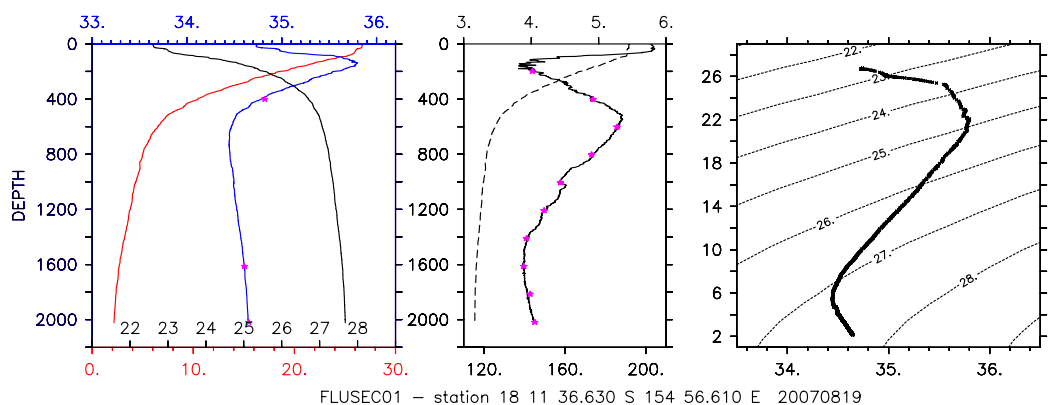
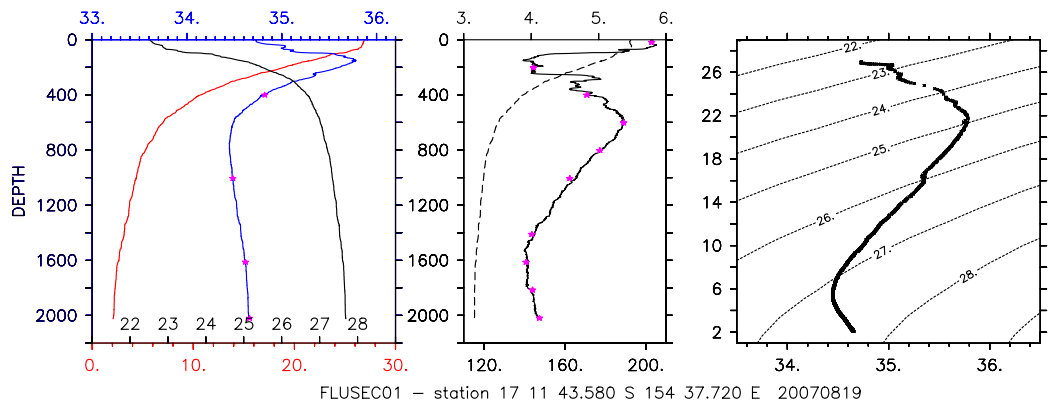
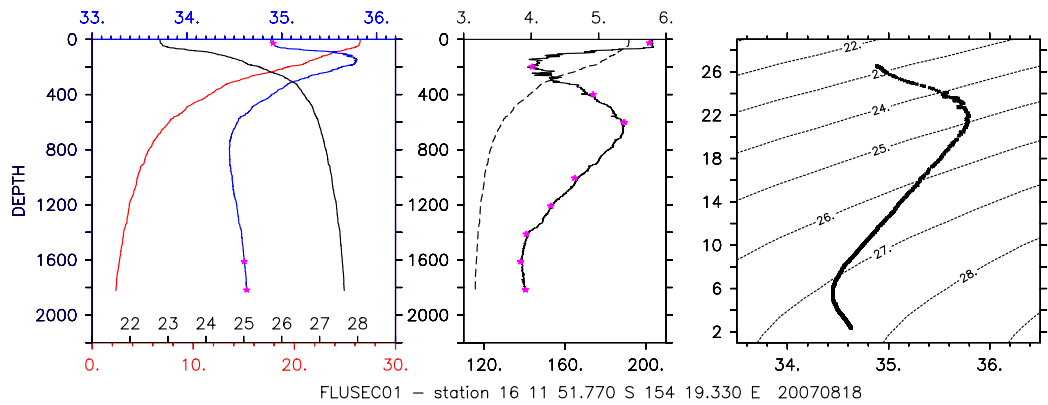


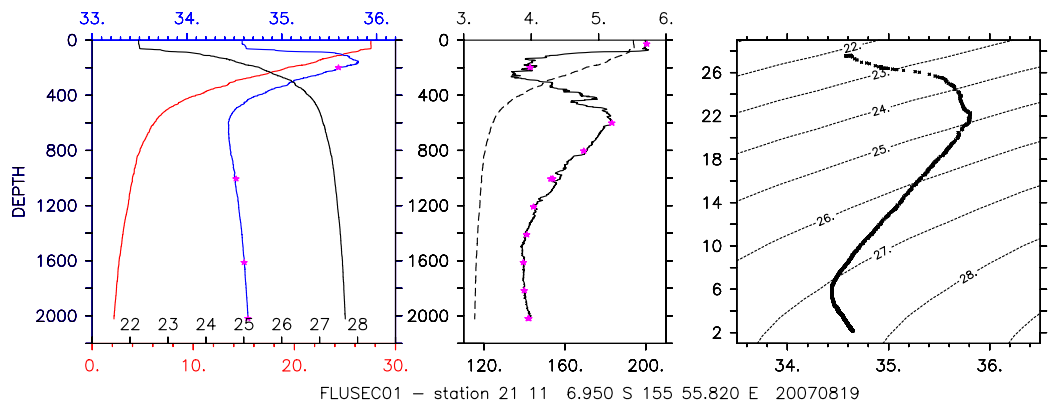
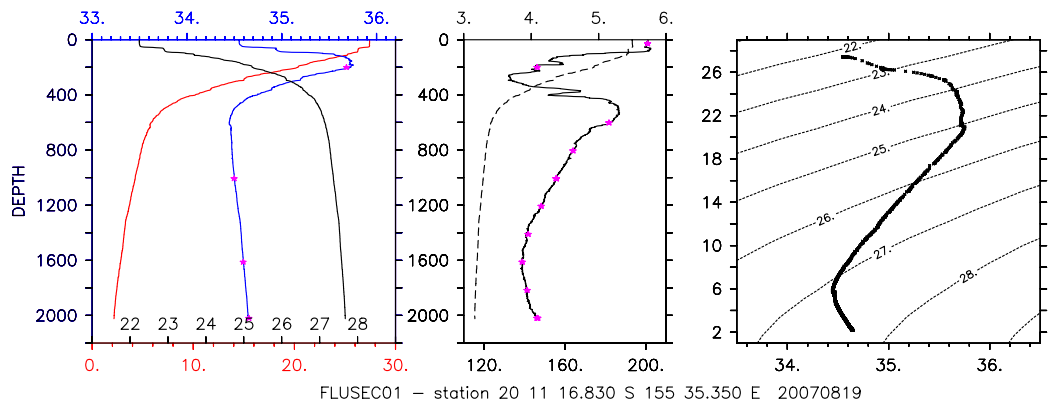
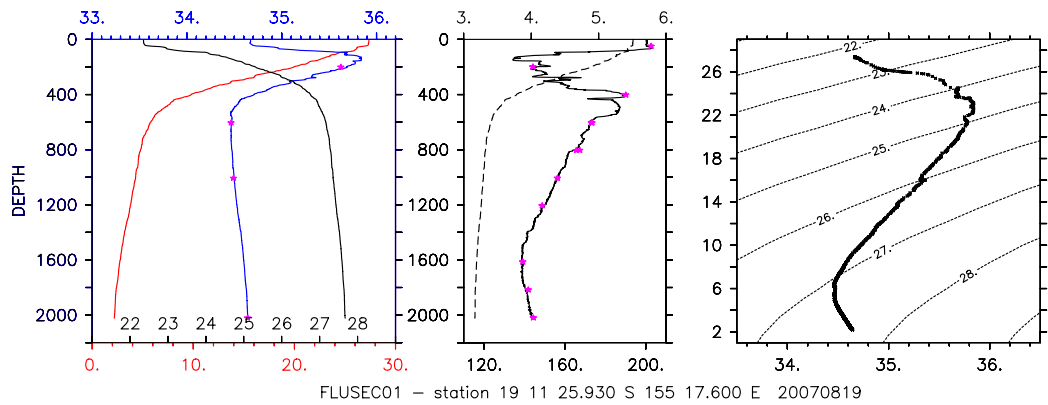


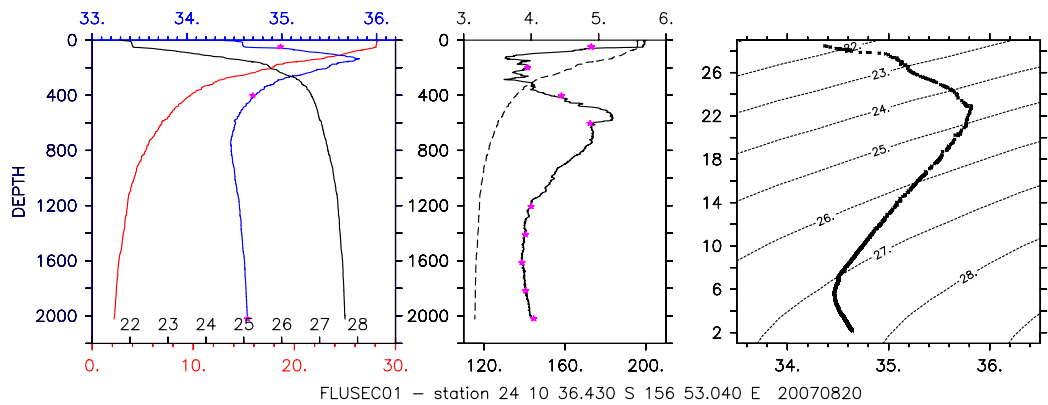
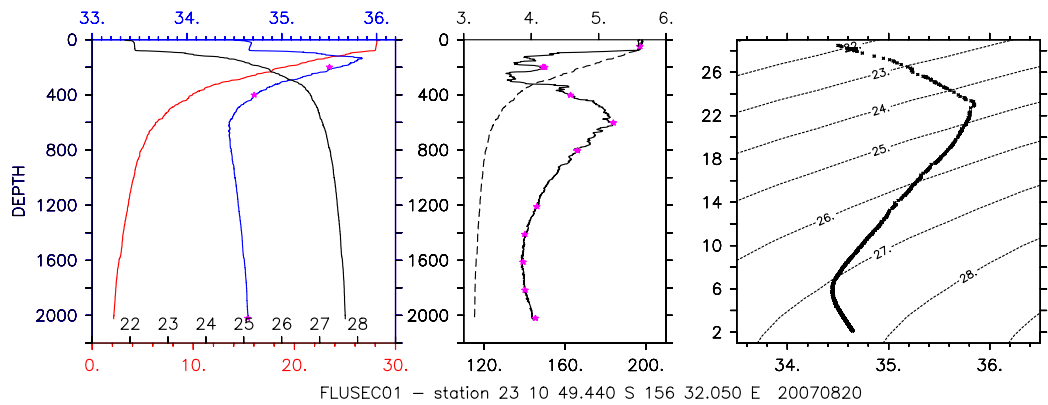
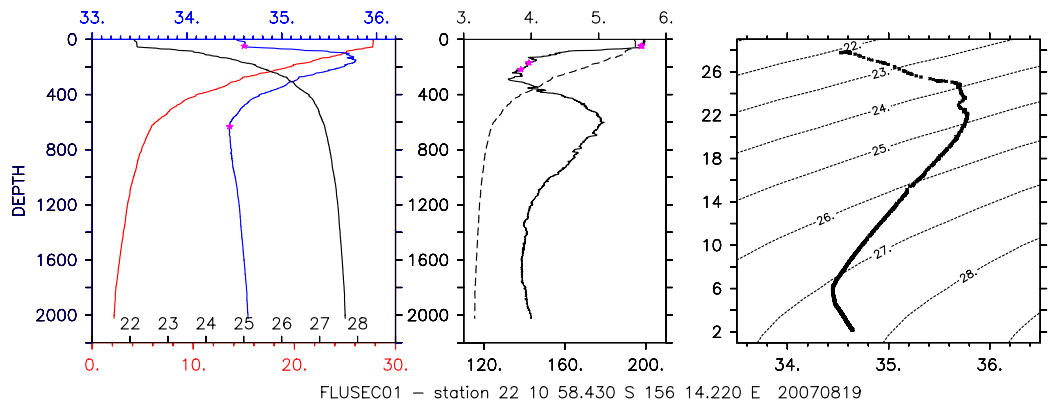


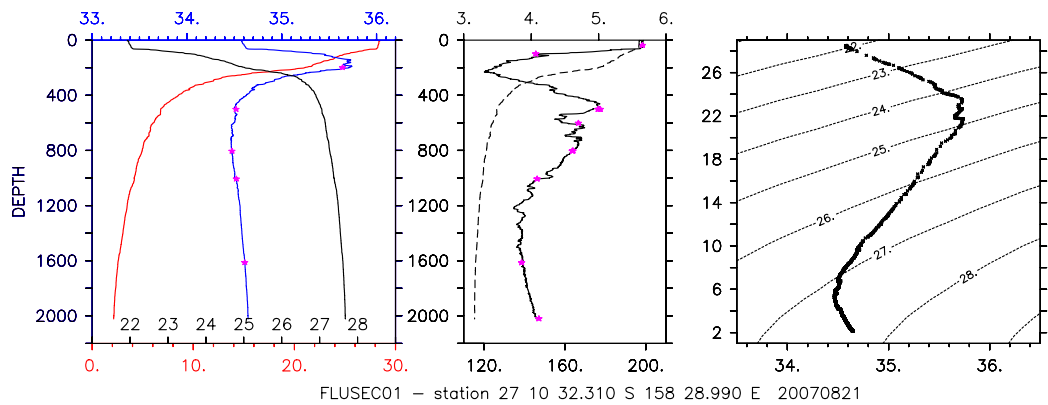
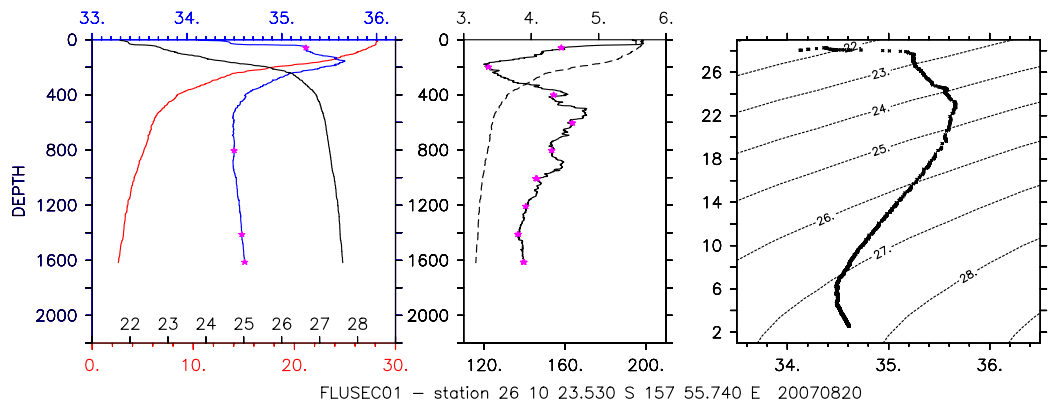
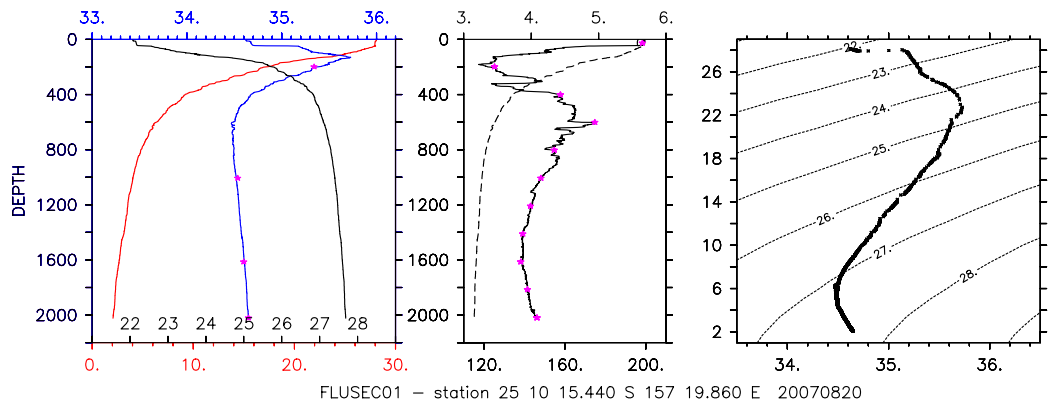


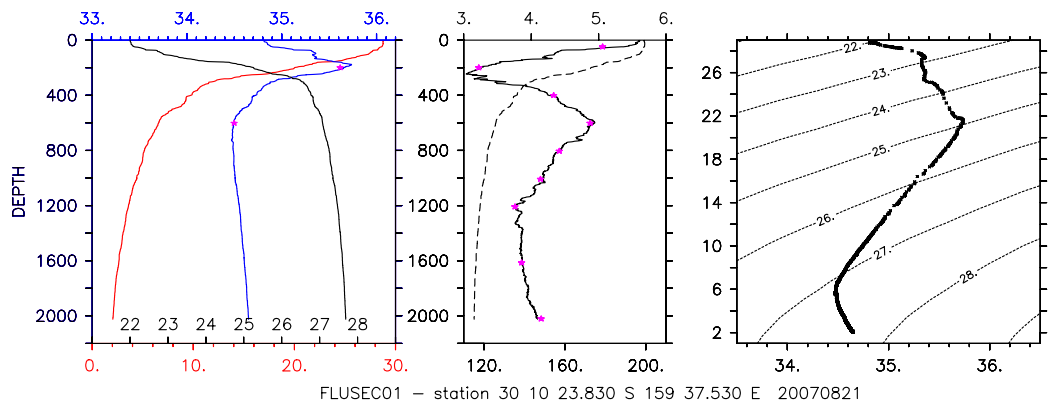
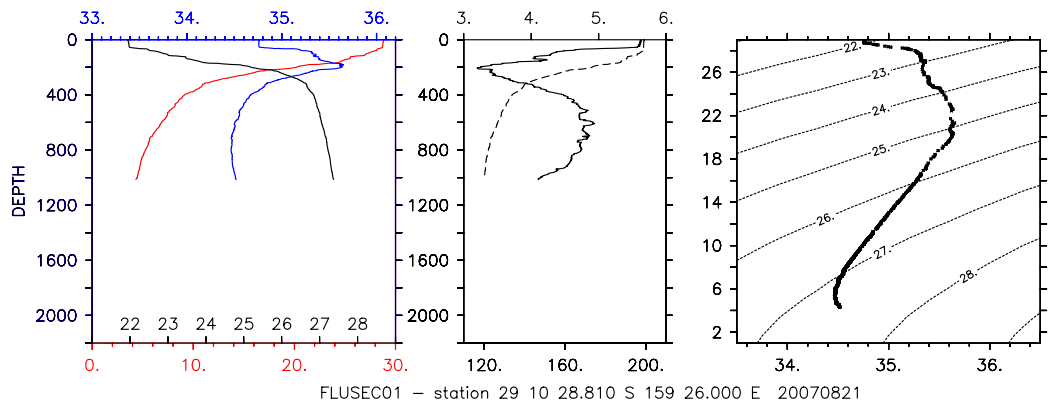
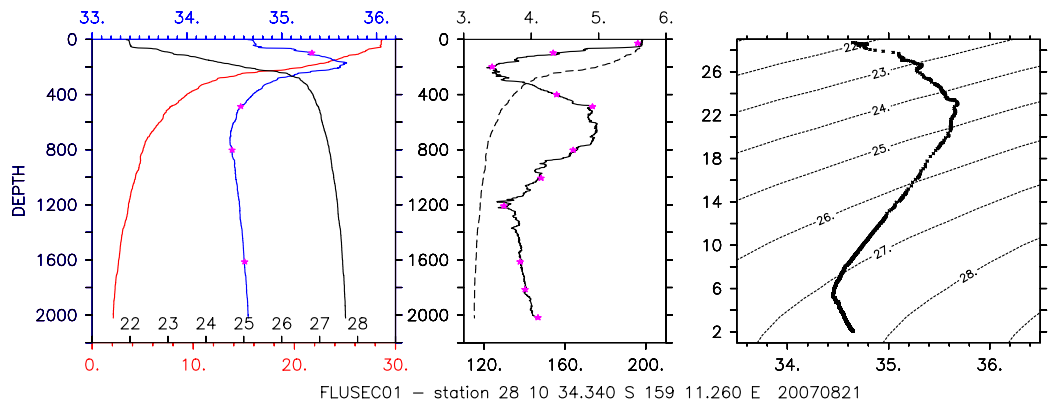


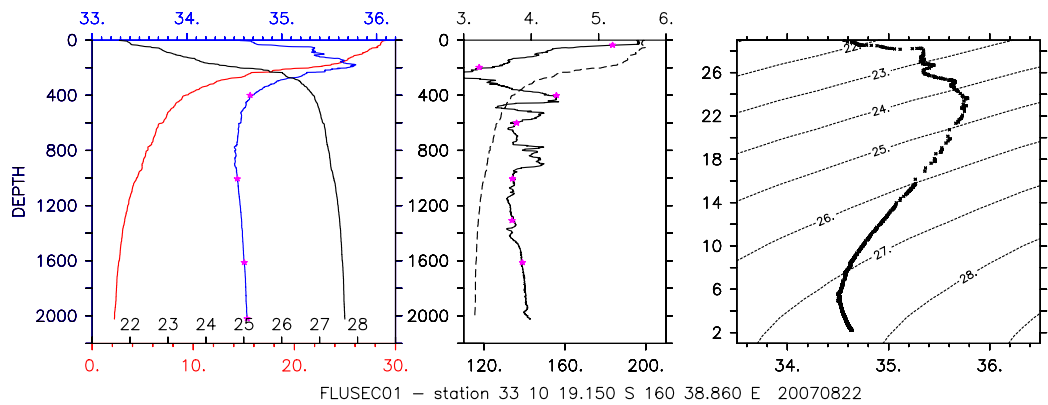
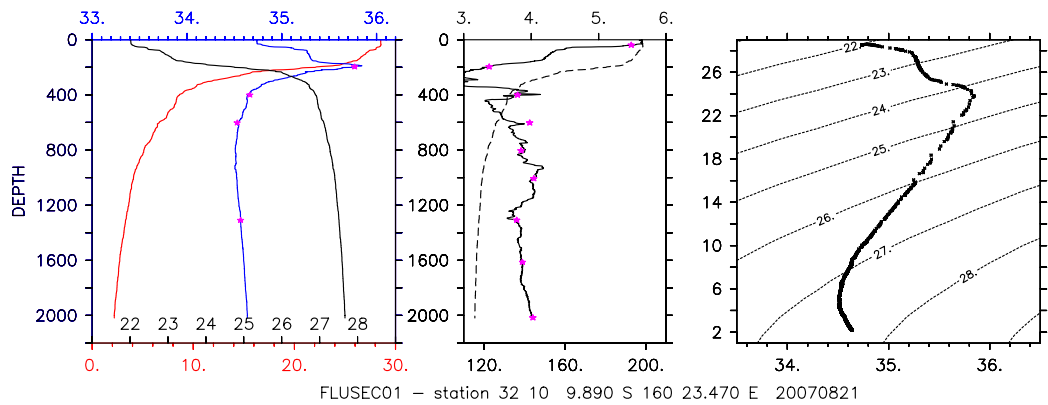
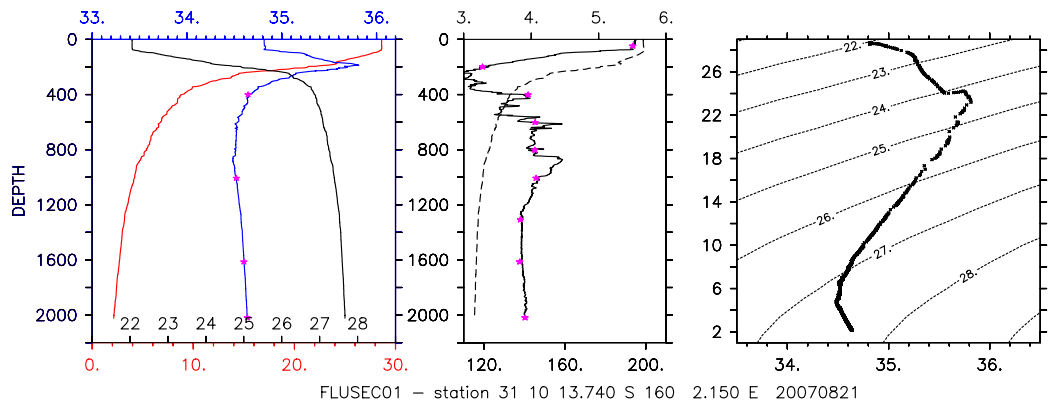


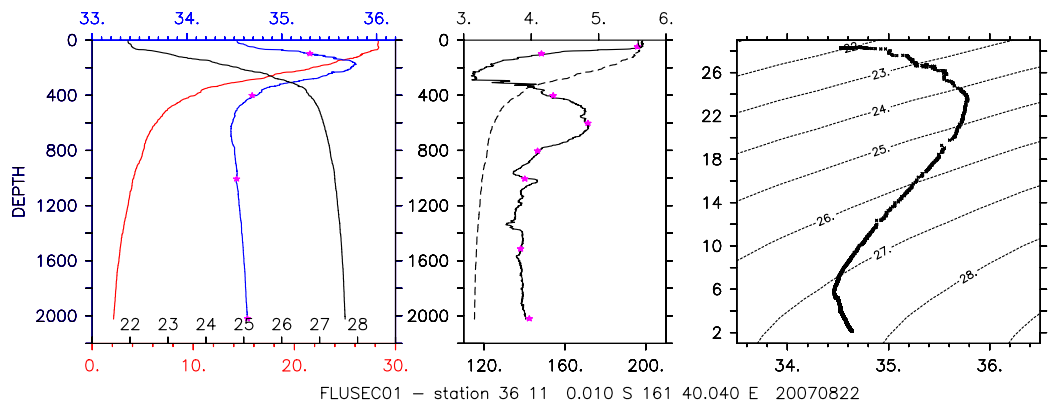
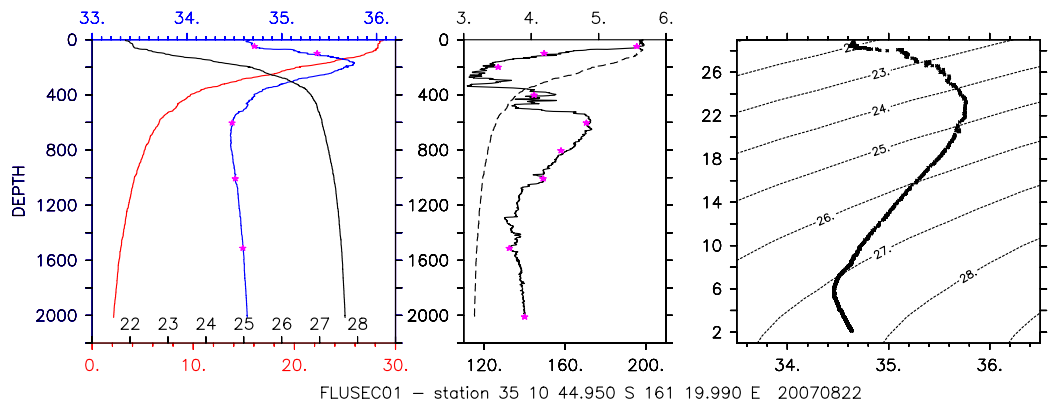
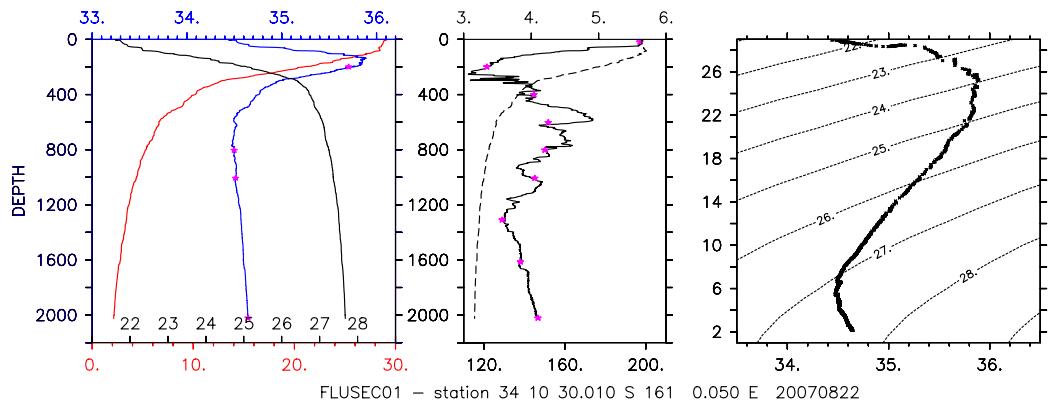


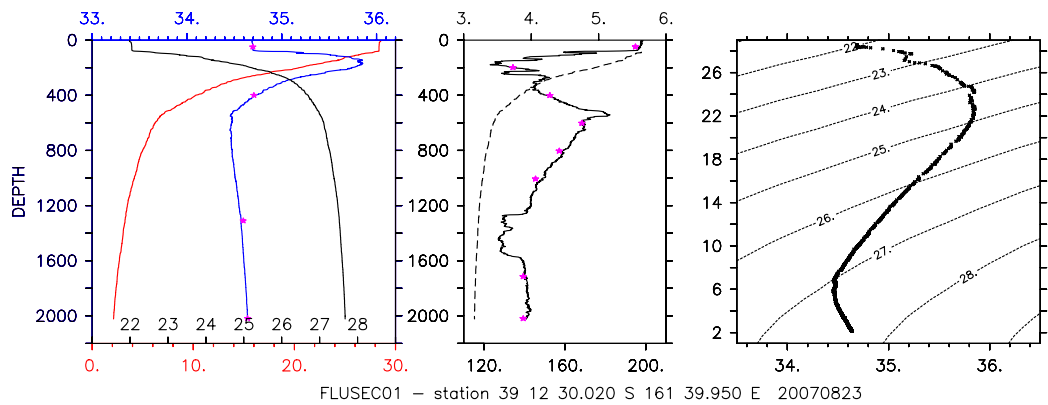
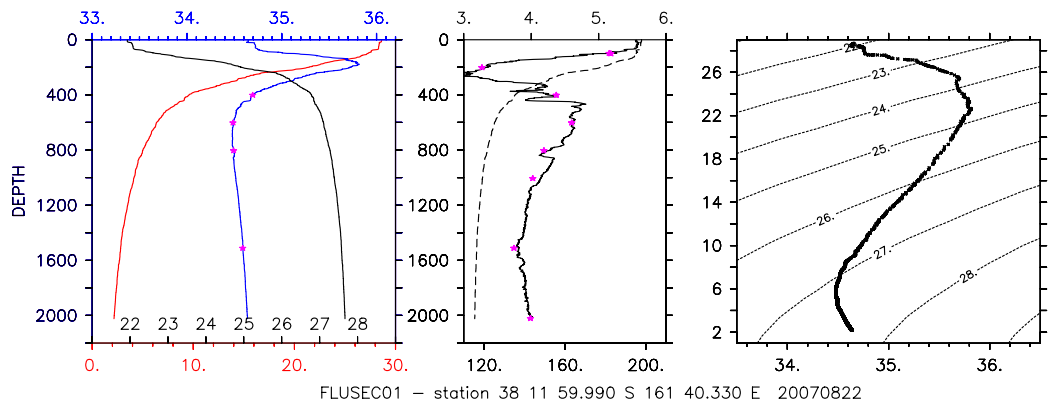
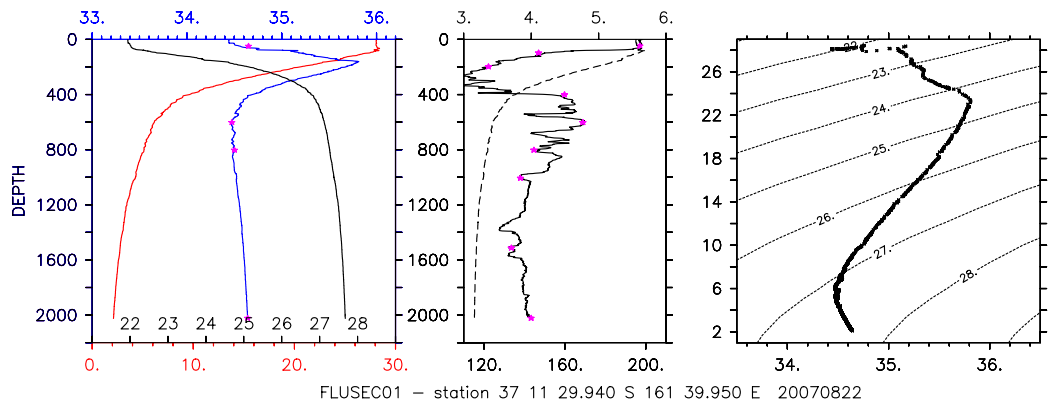


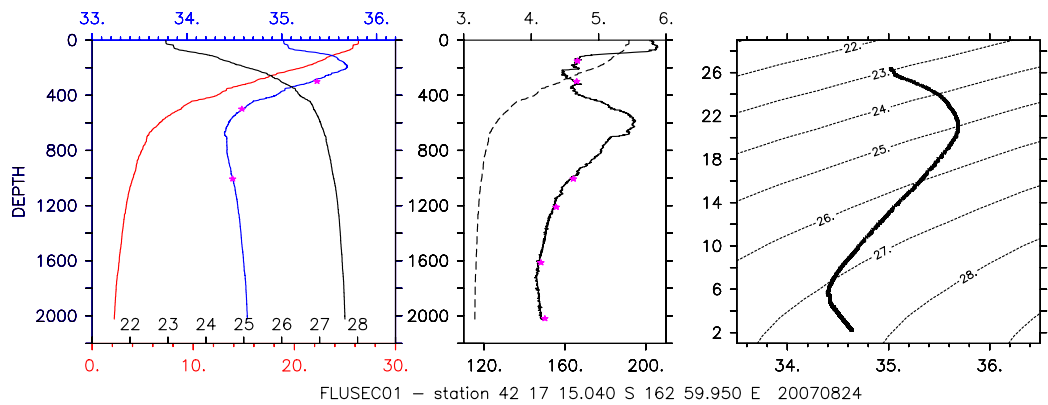
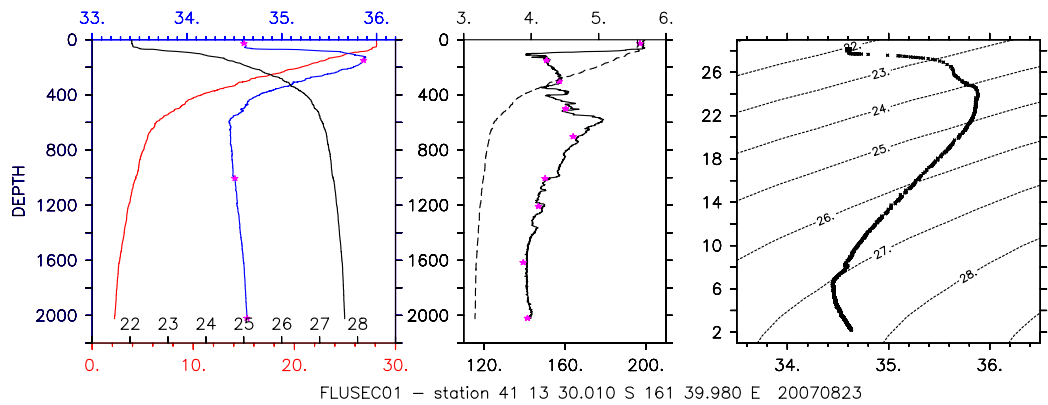
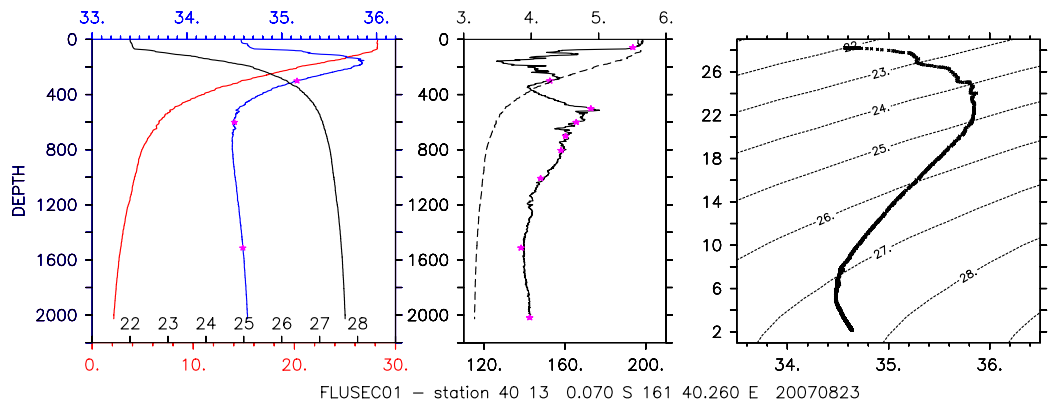


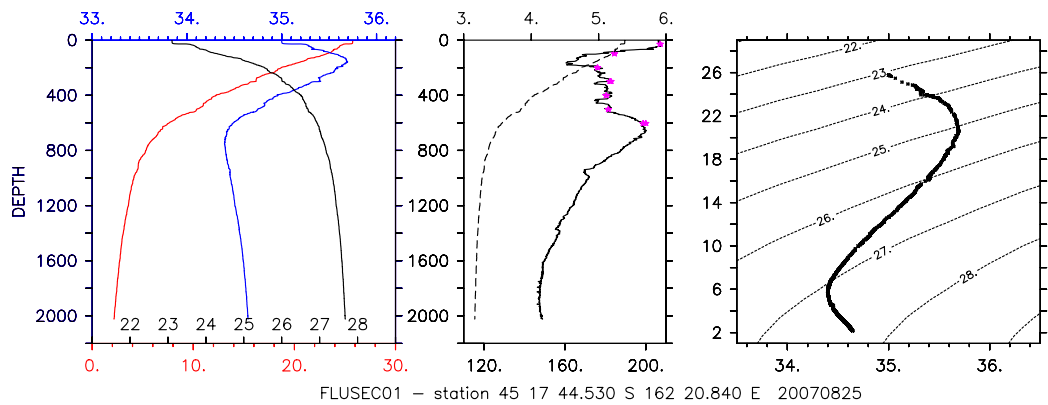
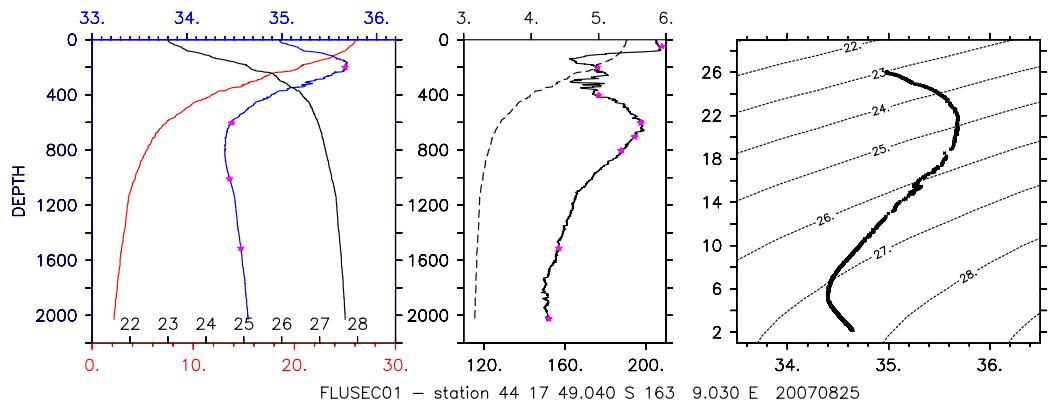
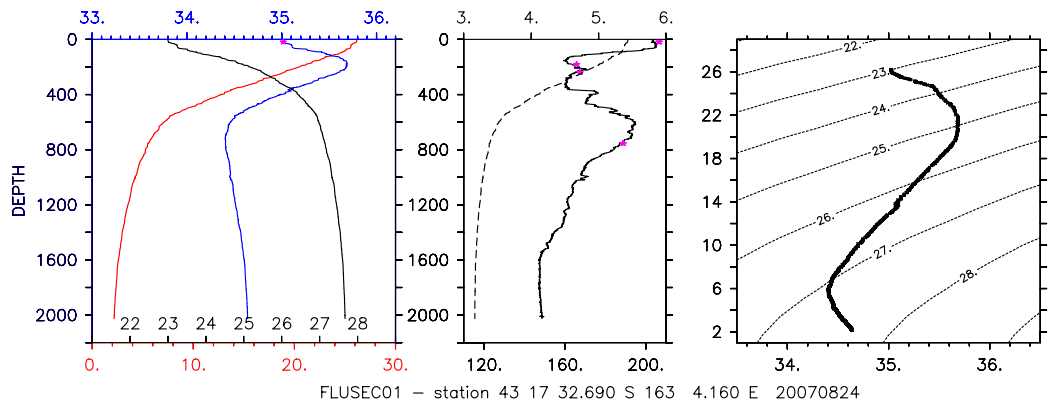


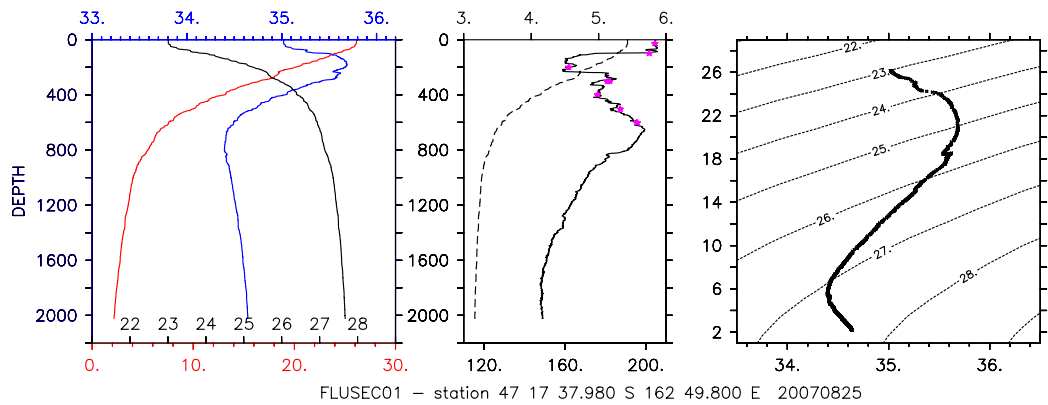
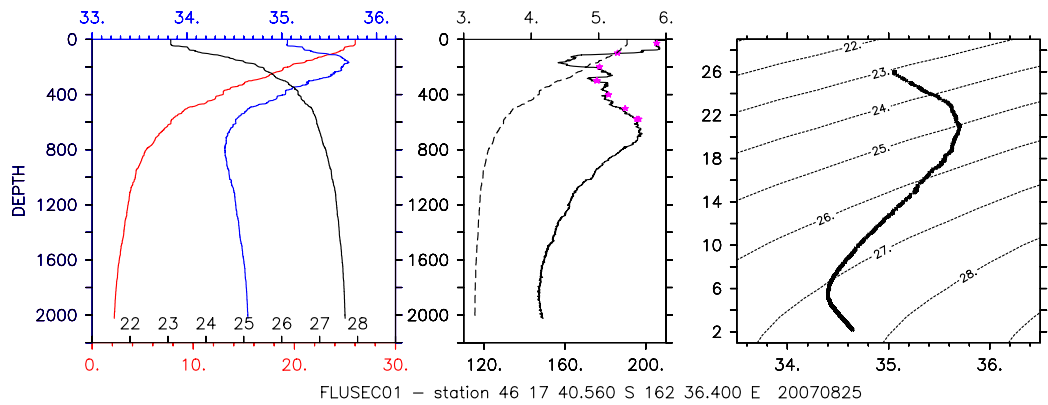






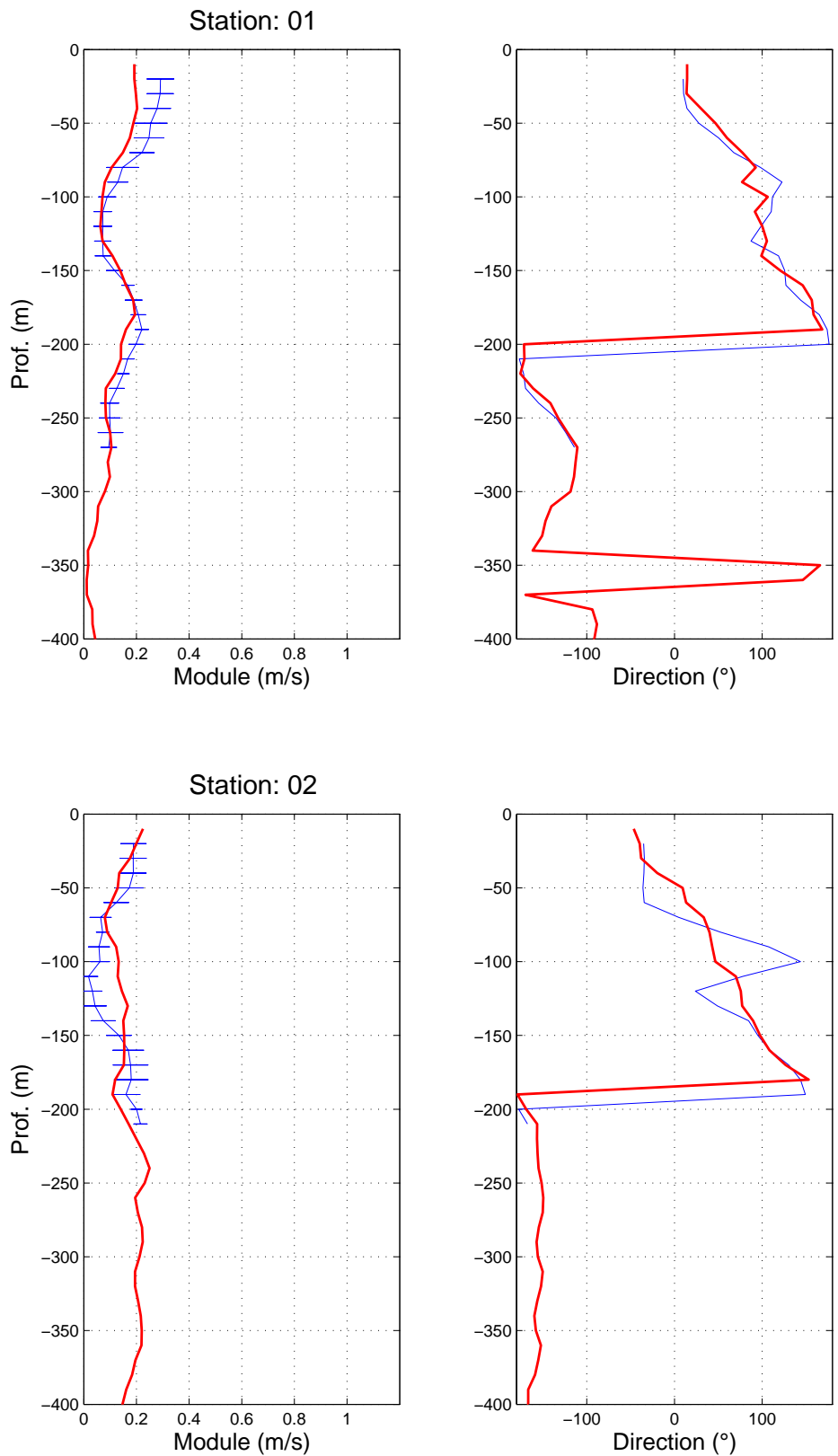




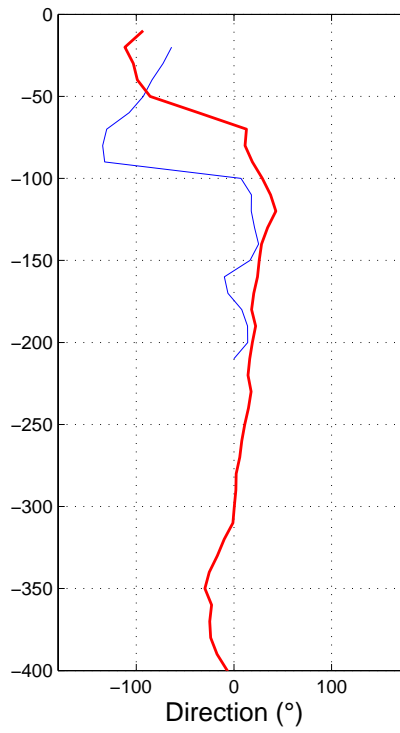
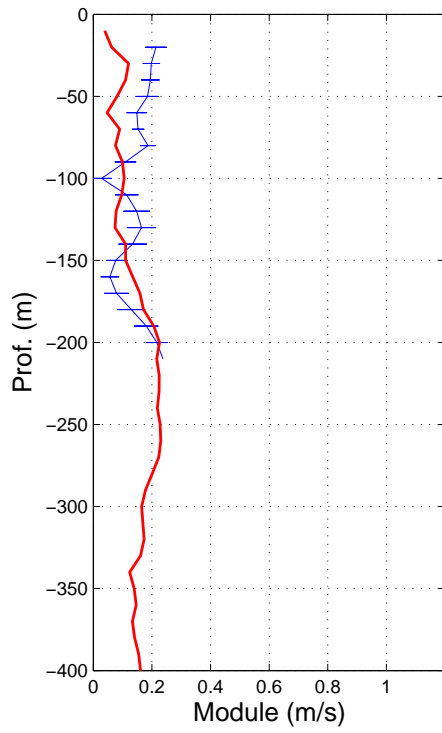


Annexe 3 : Représentation verticale des profils de courantométrie ADCP

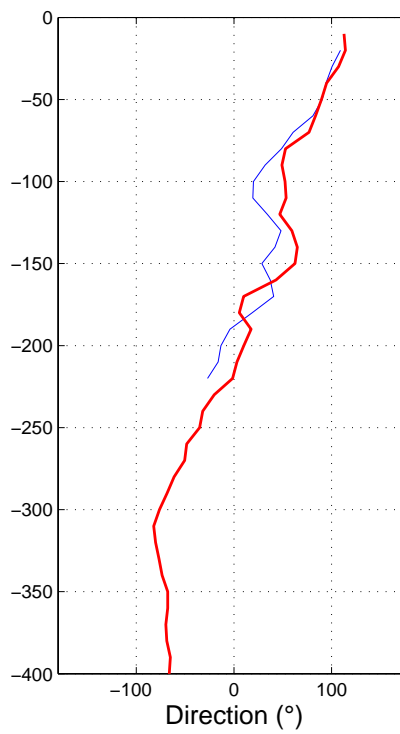
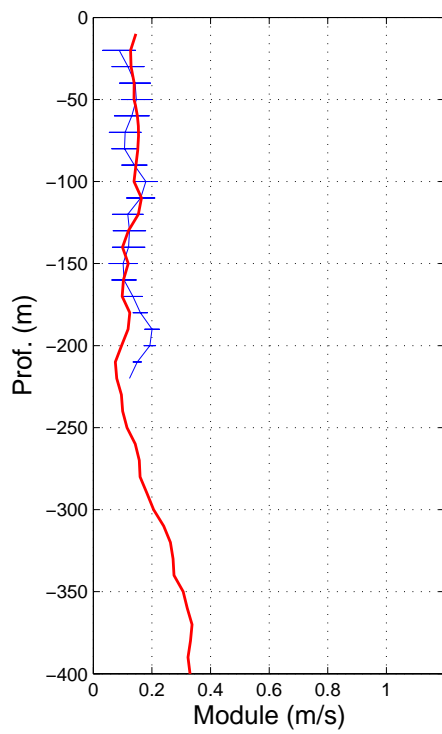
Module et direction du courant en fonction de la profondeur pour chaque station L-ADCP valide (trait gras en rouge). Moyenne du courant VM-ADCP correspondant et écart type du module (trait fin en bleu).



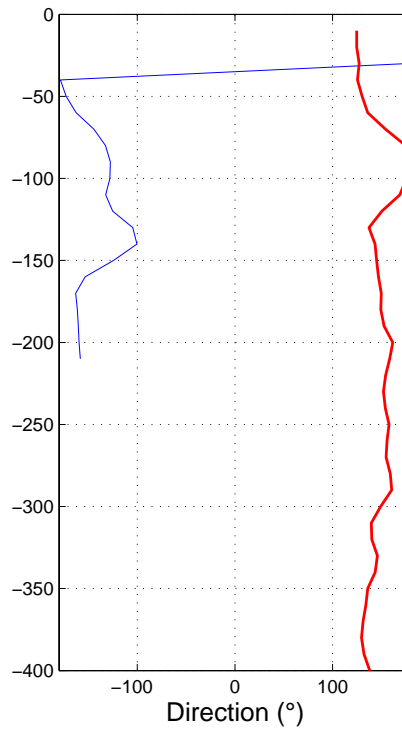
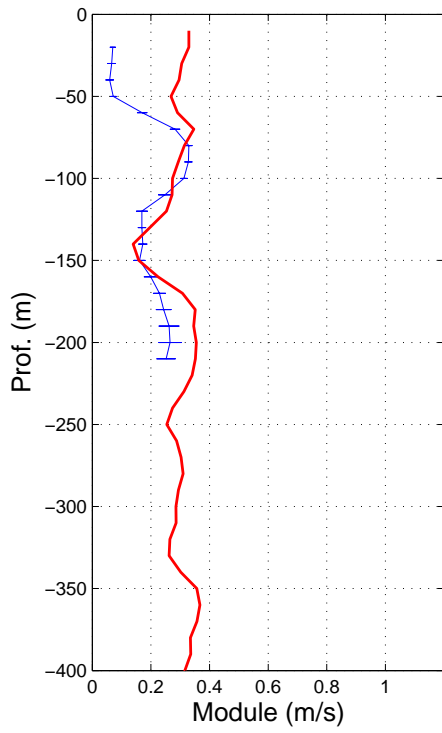
Station: 03



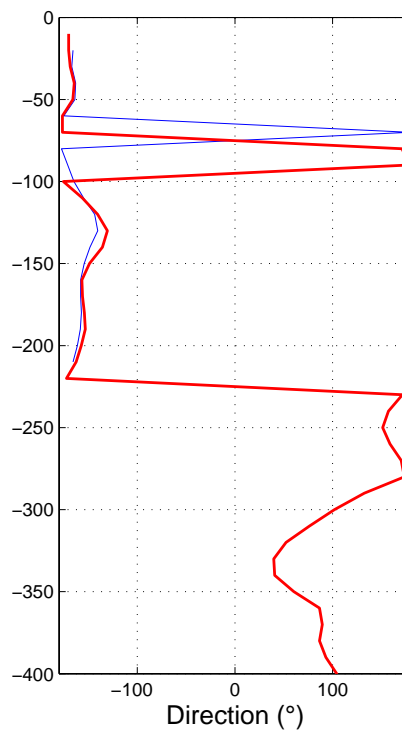
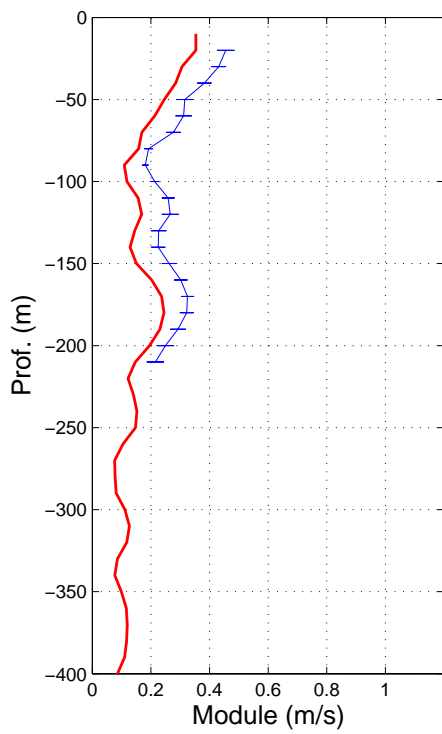
Station: 04



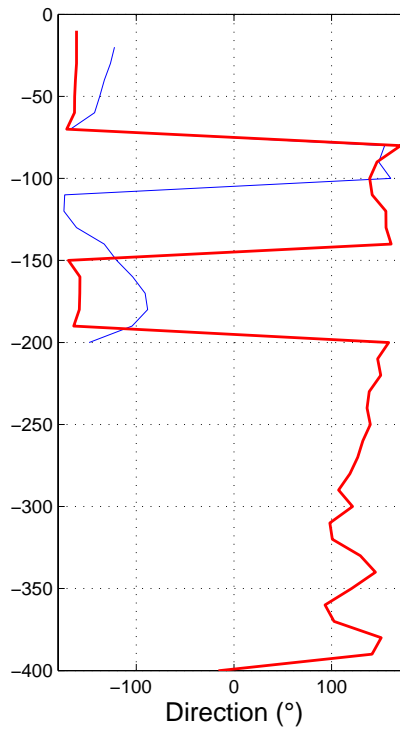
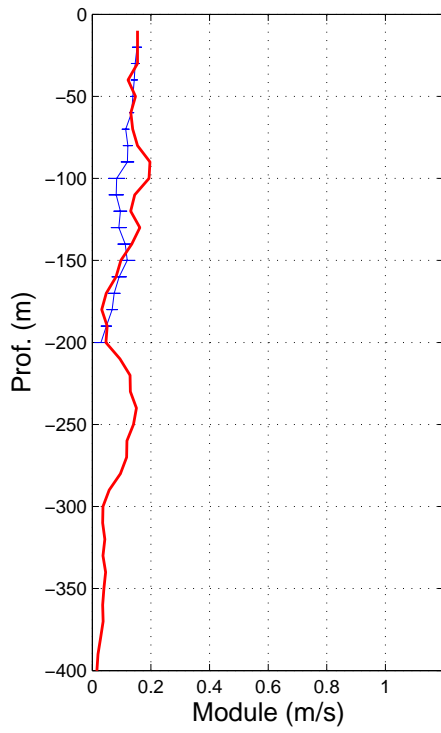
Station: 06



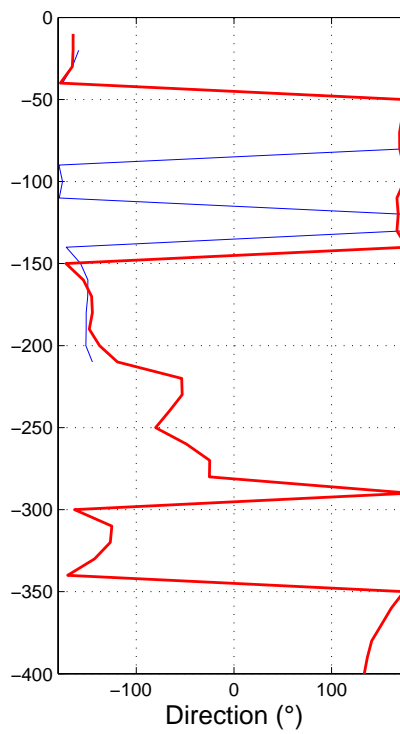
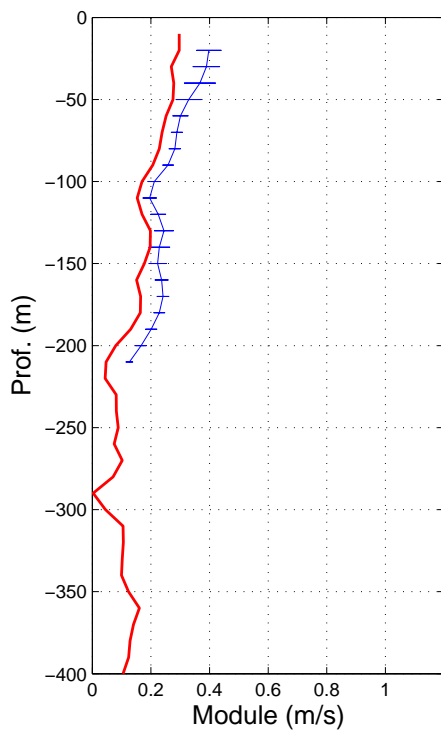
Station: 07



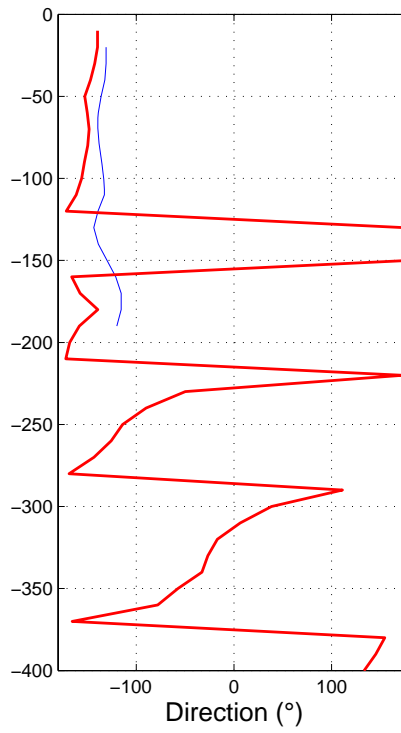
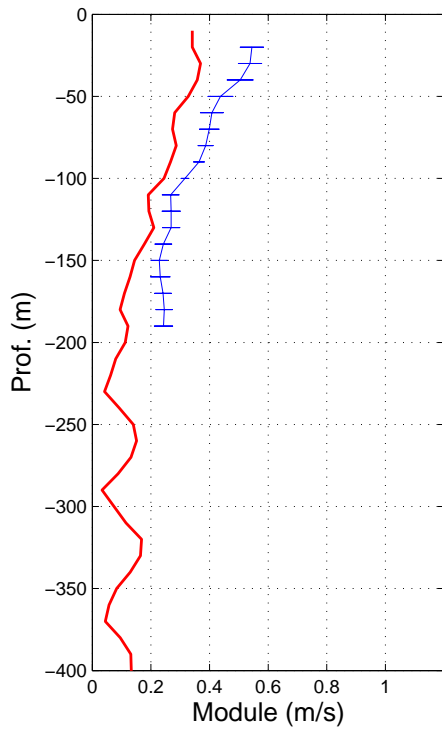
Station: 08



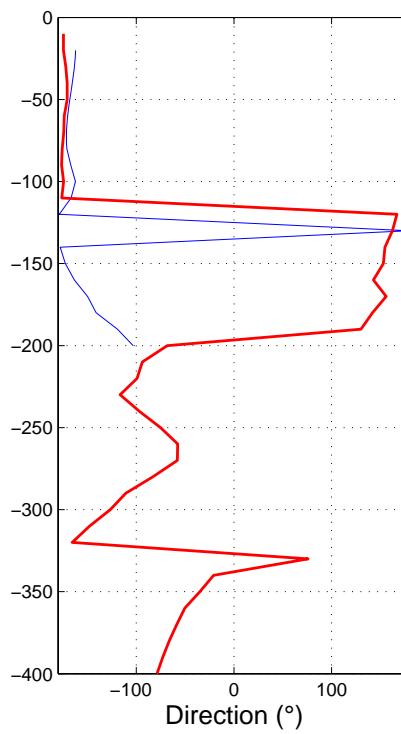
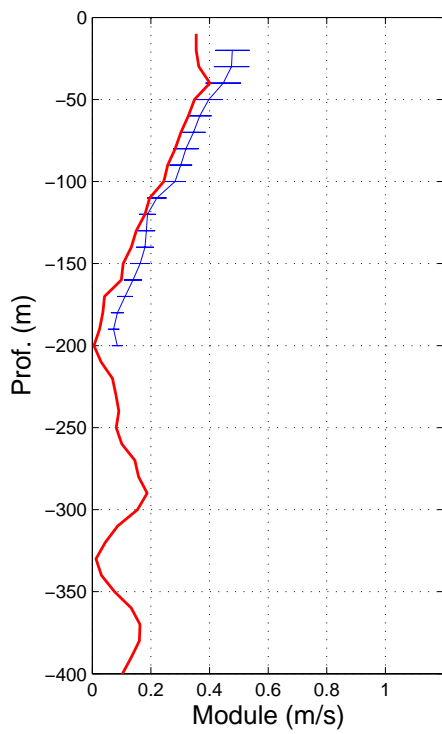
Station: 09



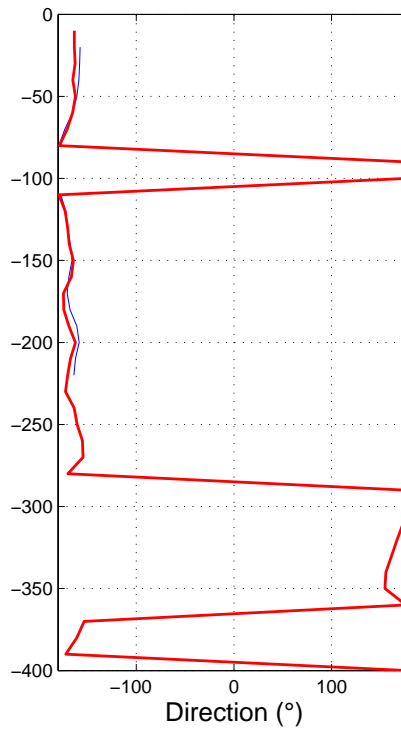
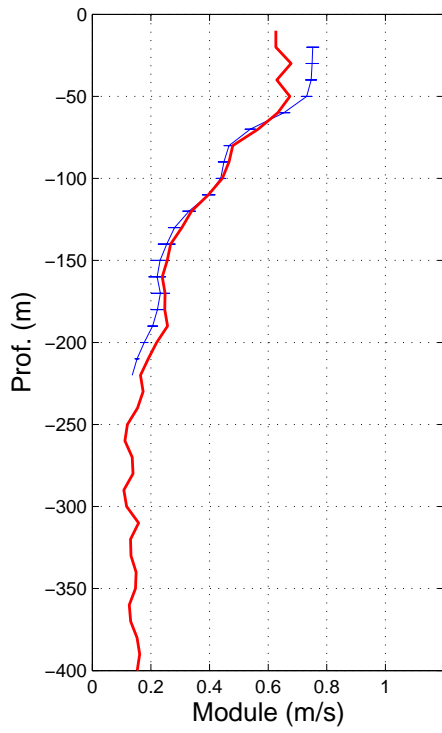
Station: 10



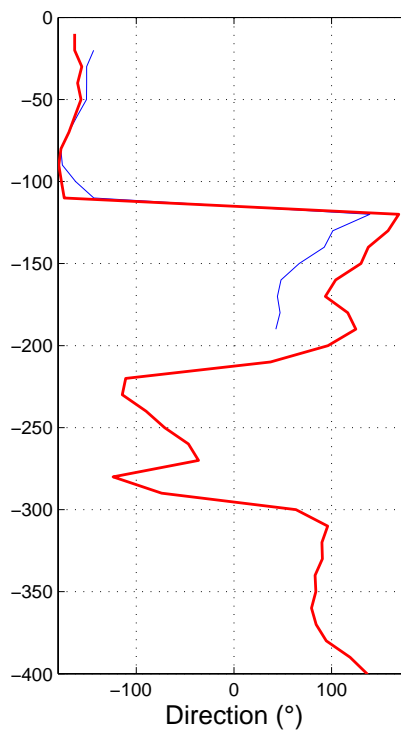
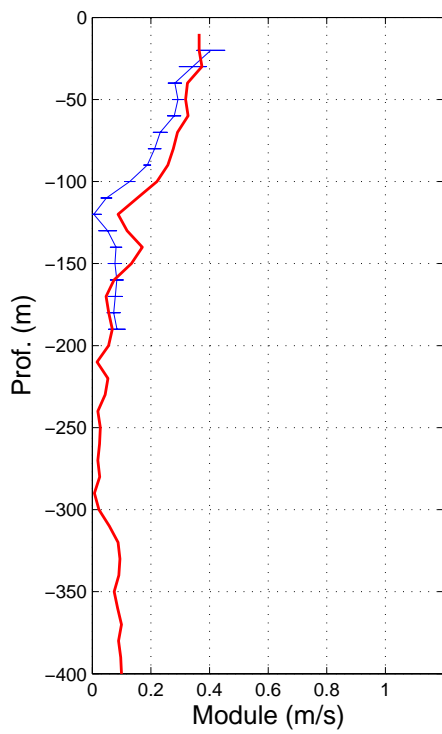
Station: 11



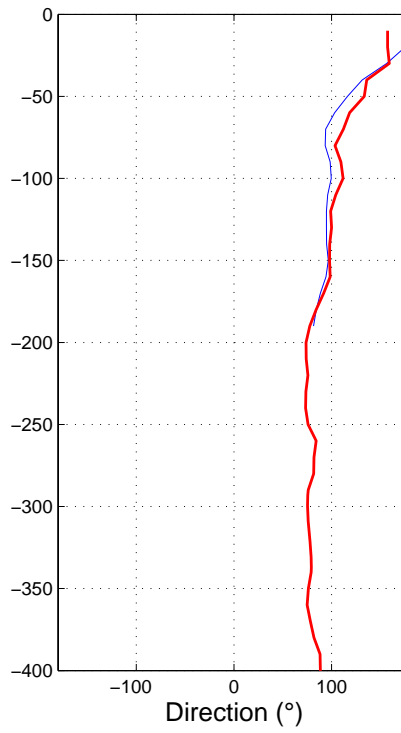
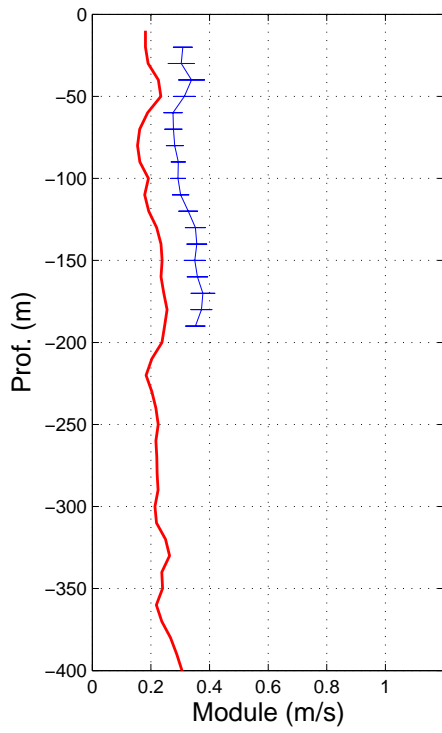
Station: 12



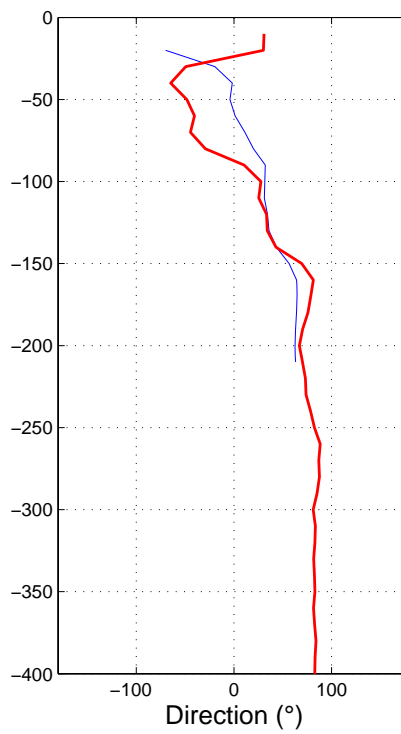
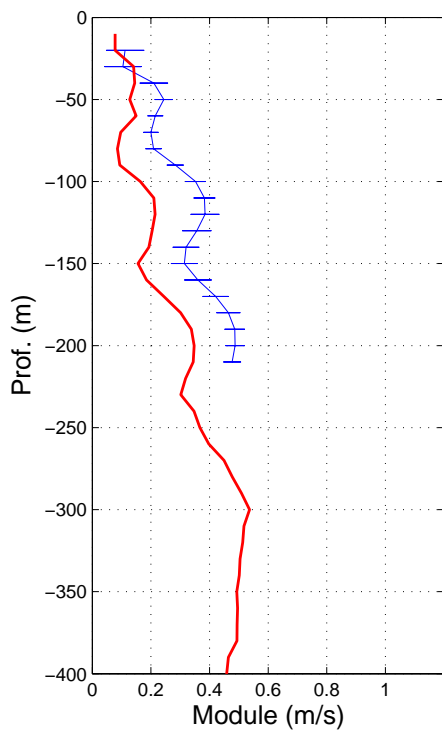
Station: 13



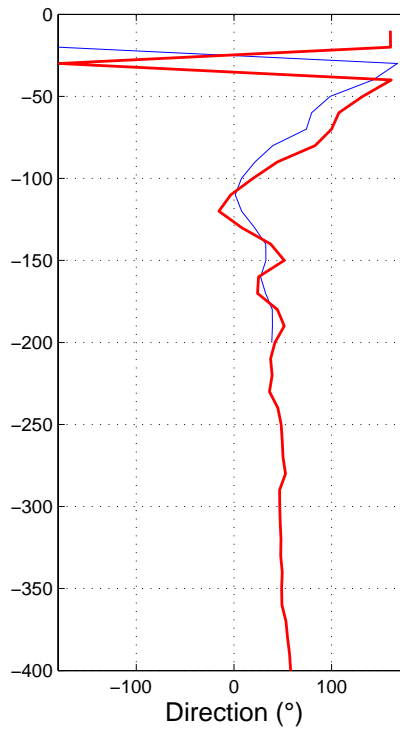
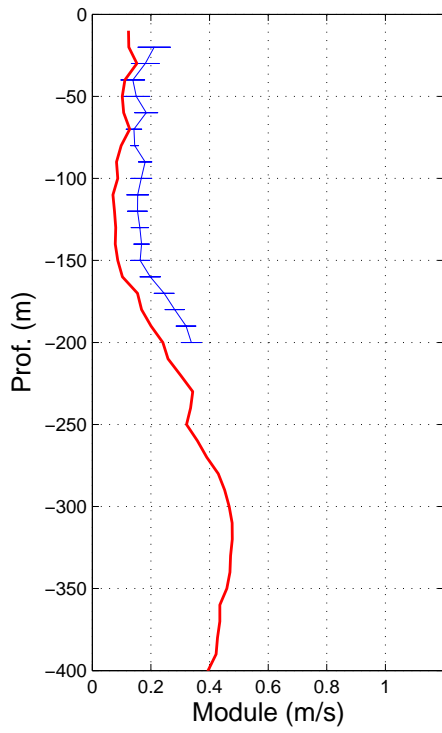
Station: 14



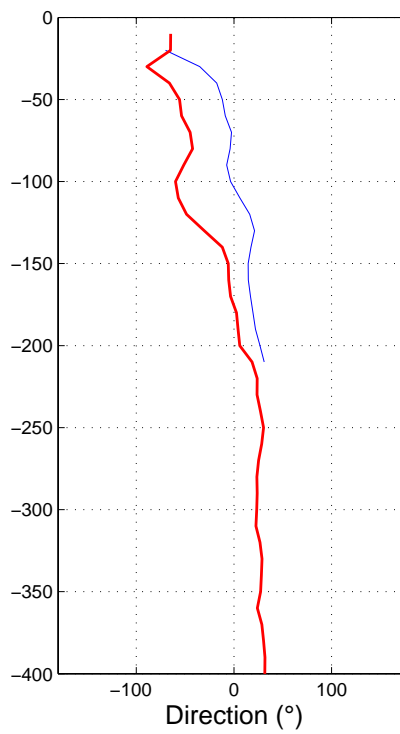
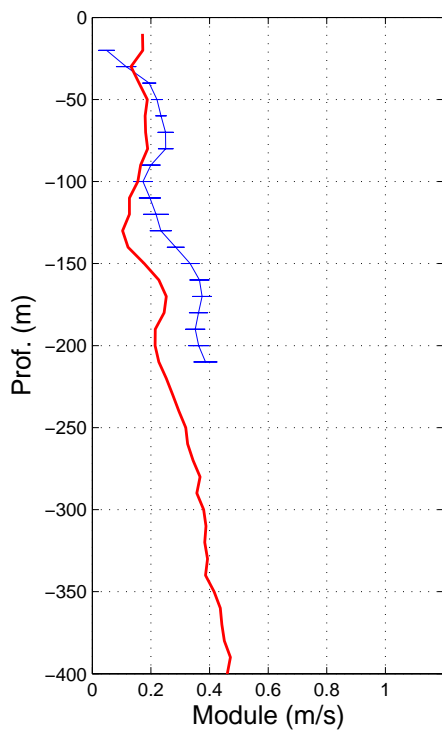
Station: 15



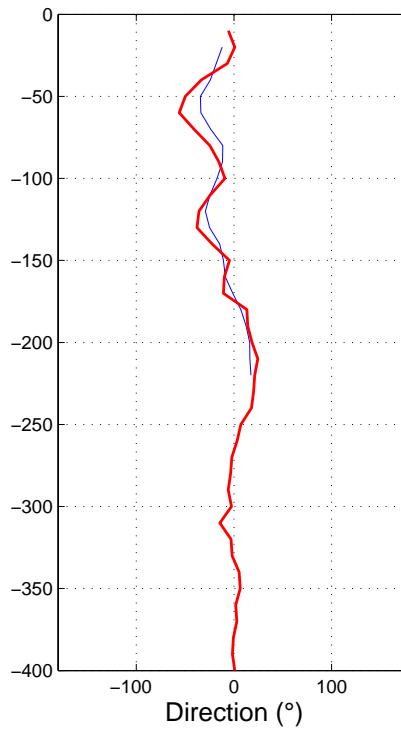
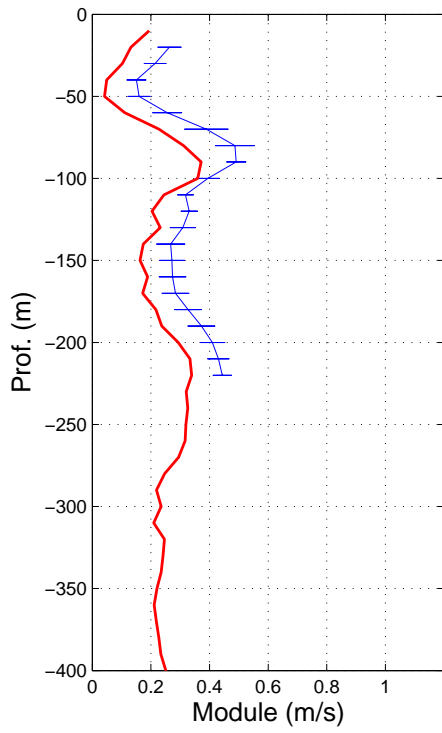
Station: 16



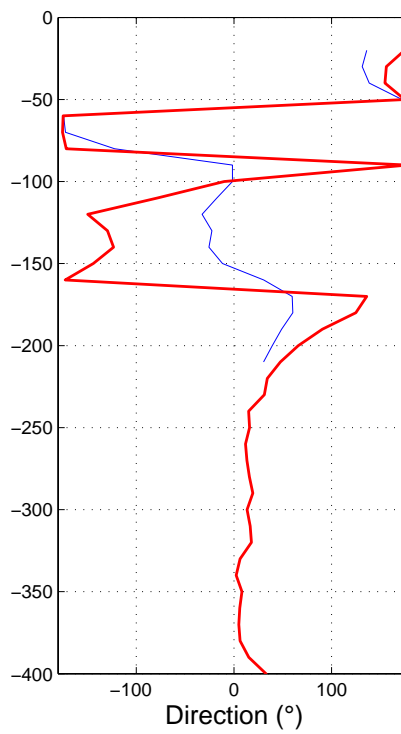
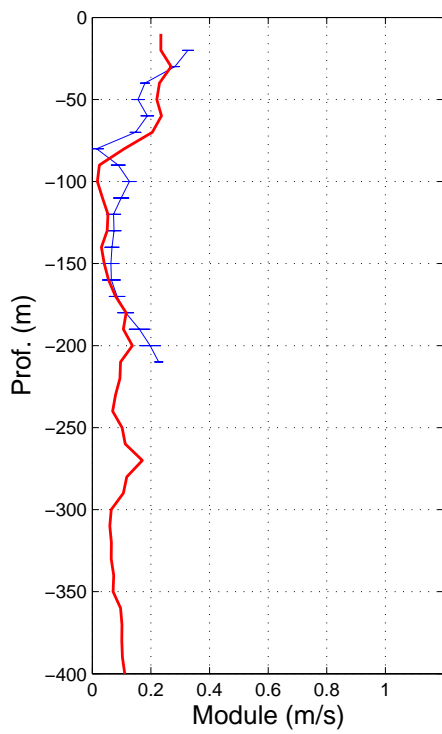
Station: 17



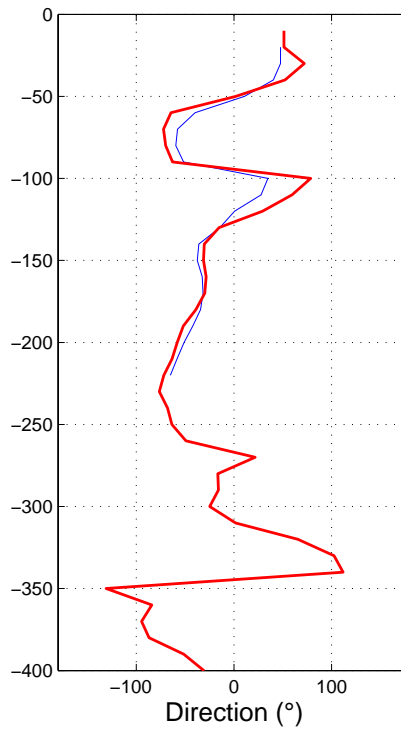
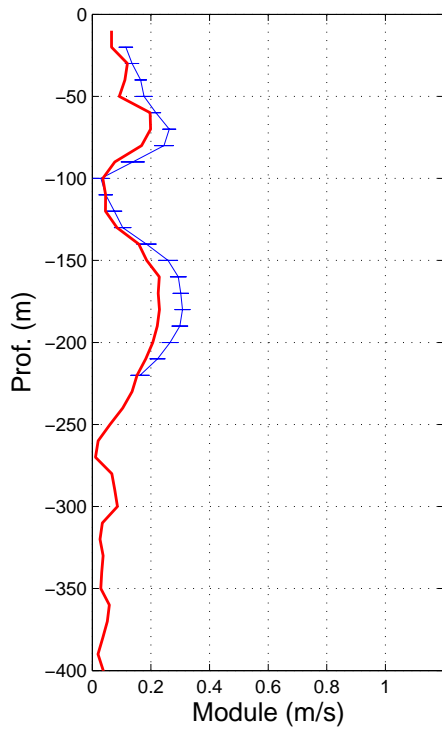
Station: 18



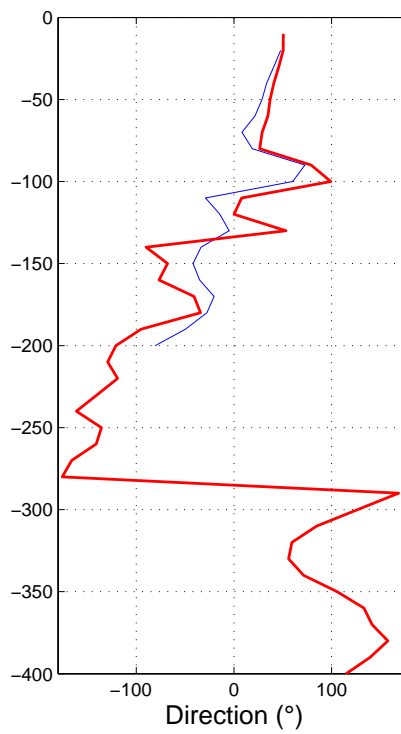
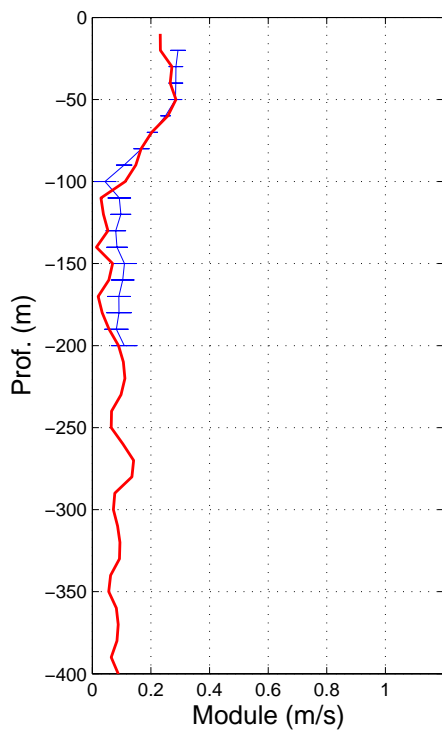
Station: 19



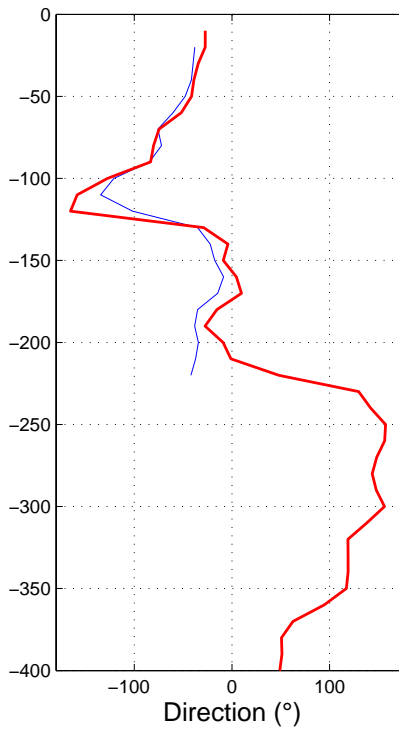
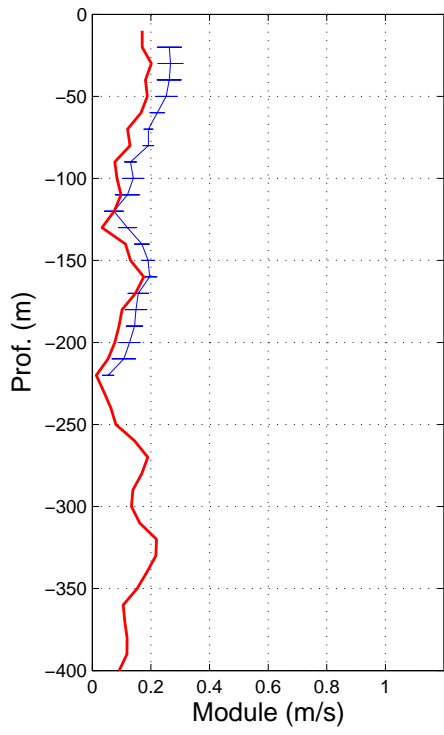
Station: 20



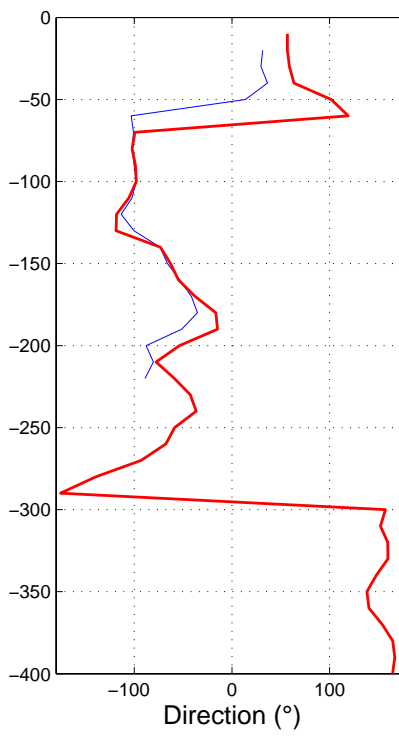
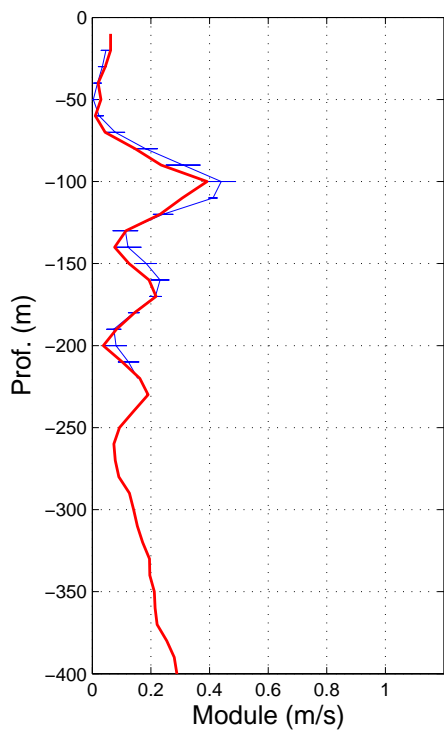
Station: 21



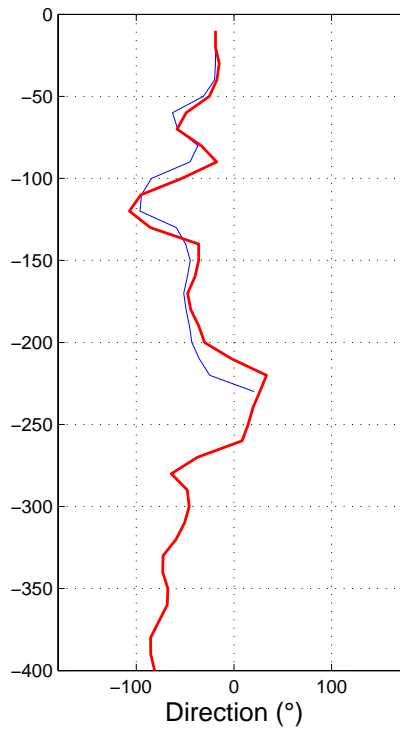
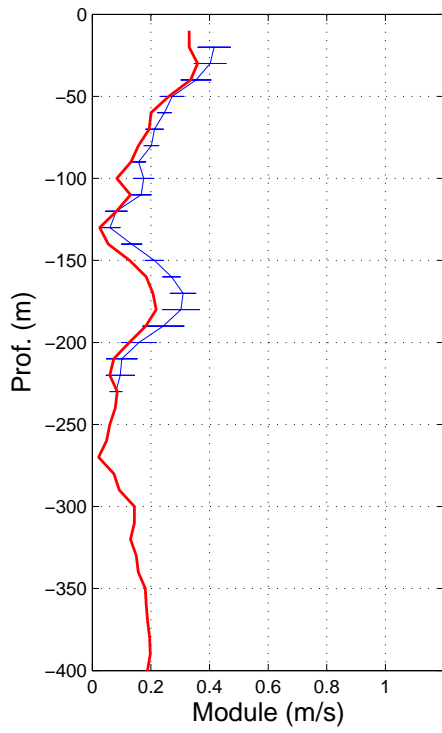
Station: 22



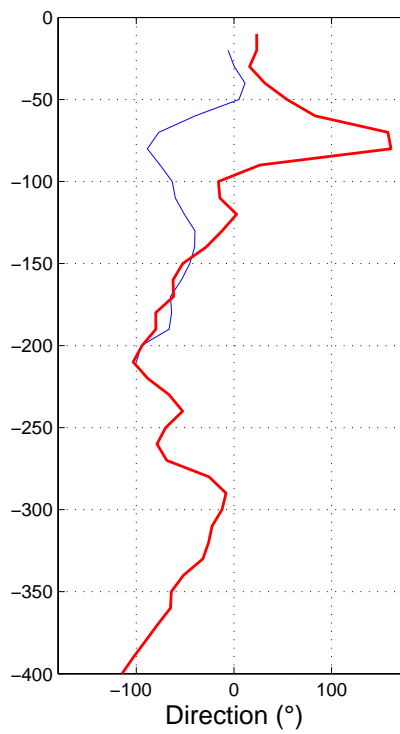
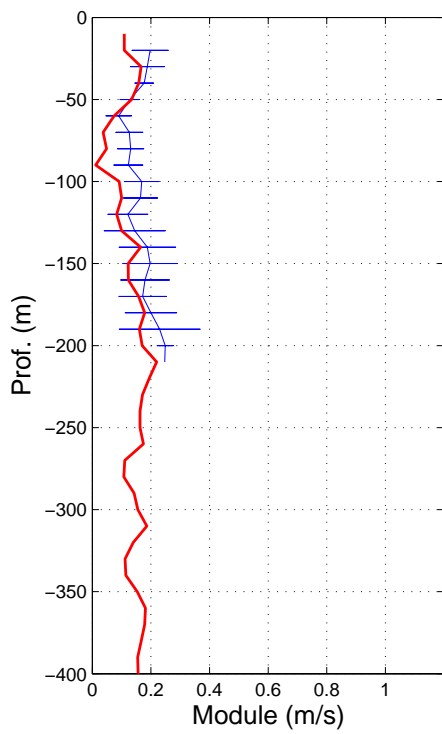
Station: 23



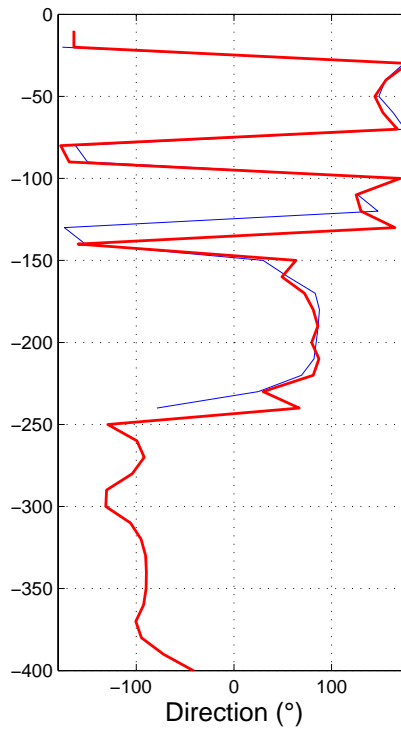
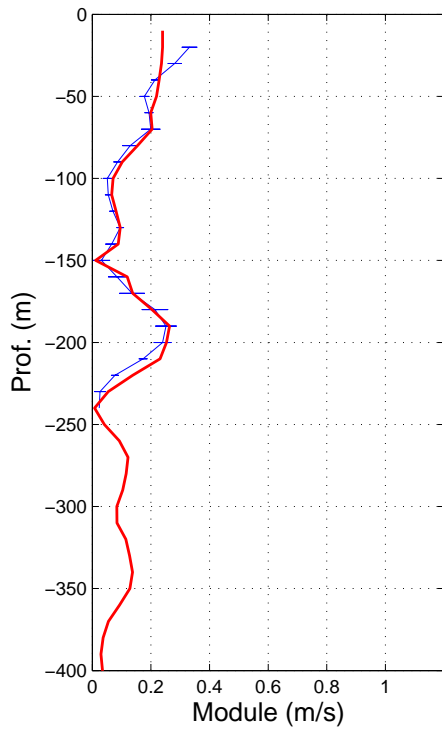
Station: 24



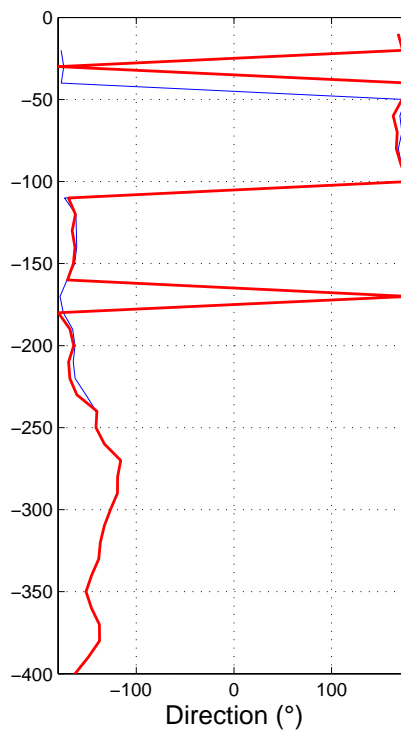
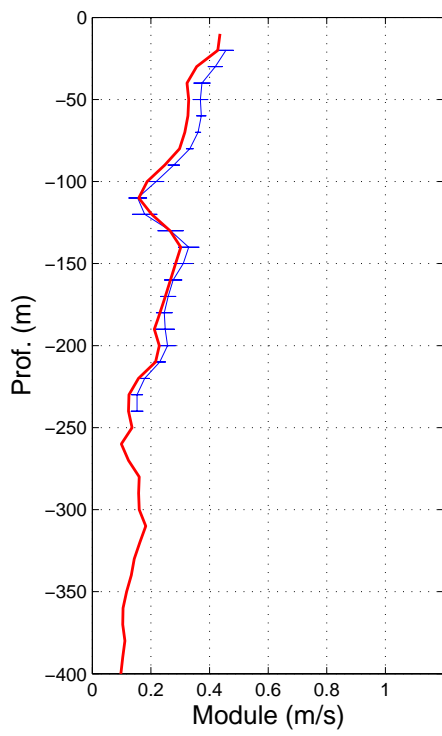
Station: 25



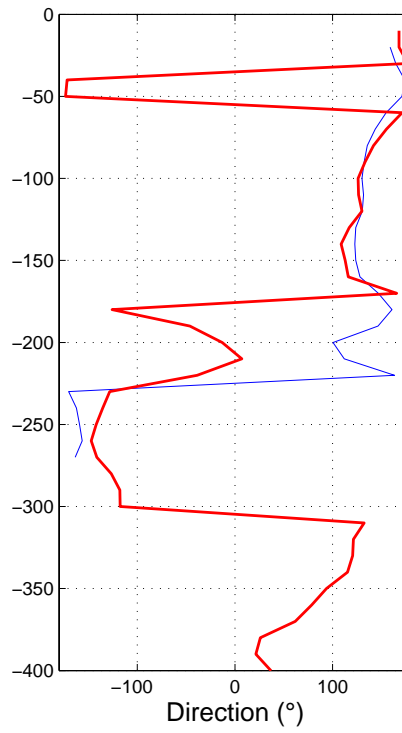
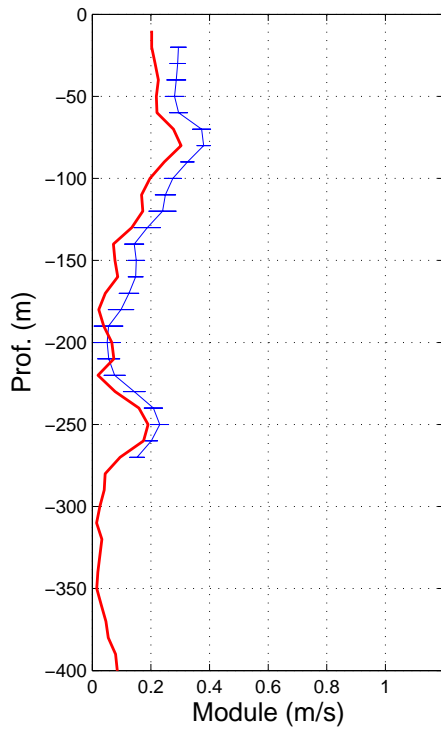
Station: 26



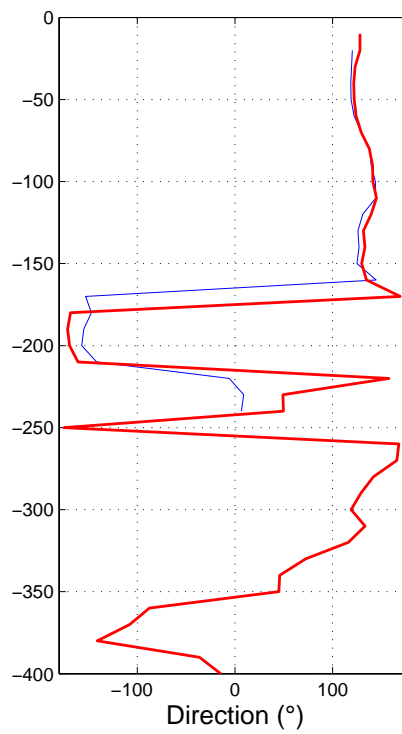
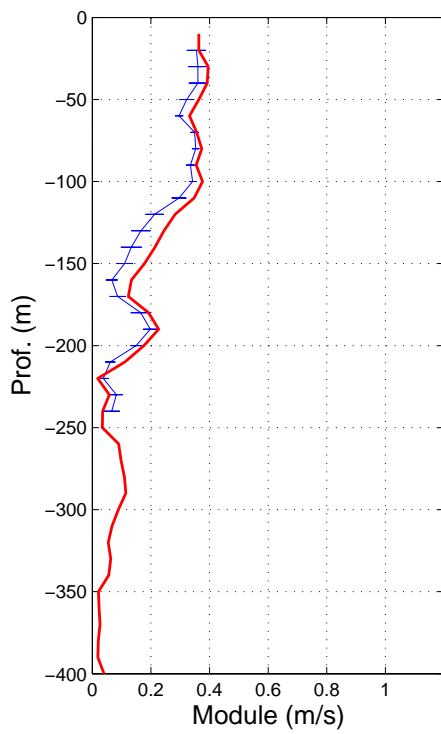
Station: 27



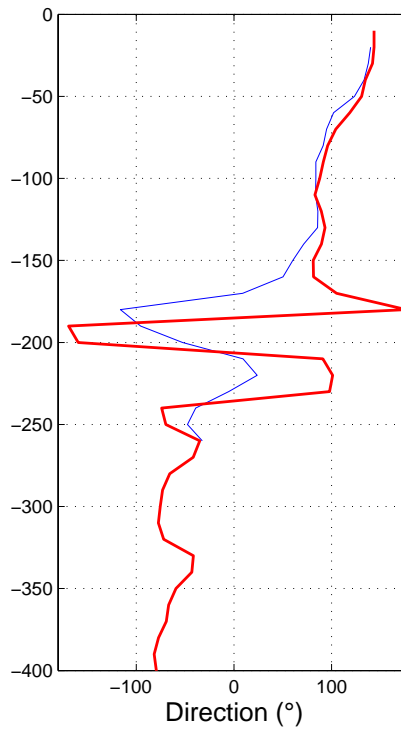
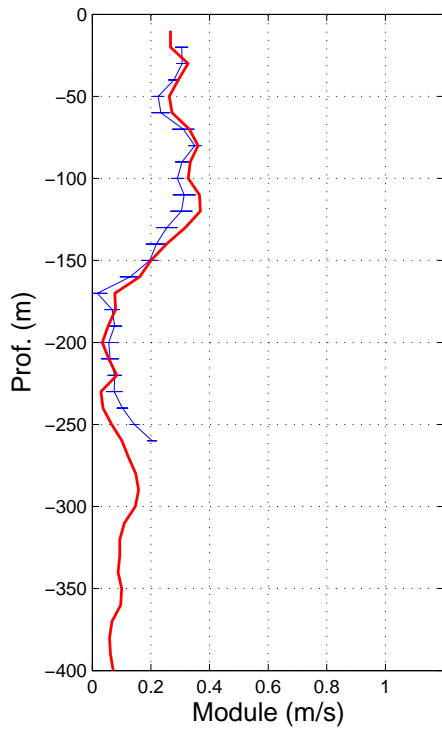
Station: 28



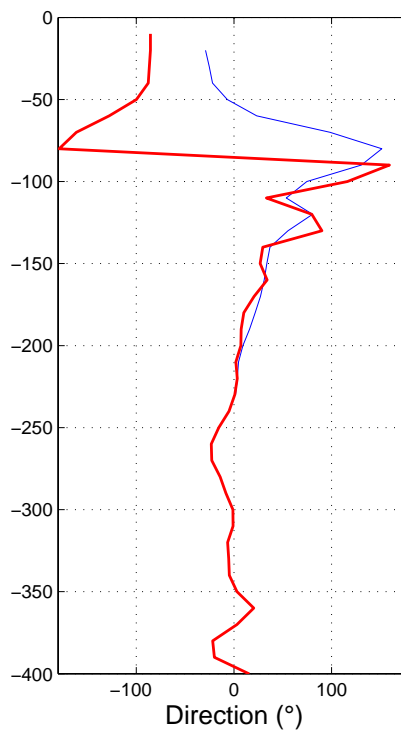
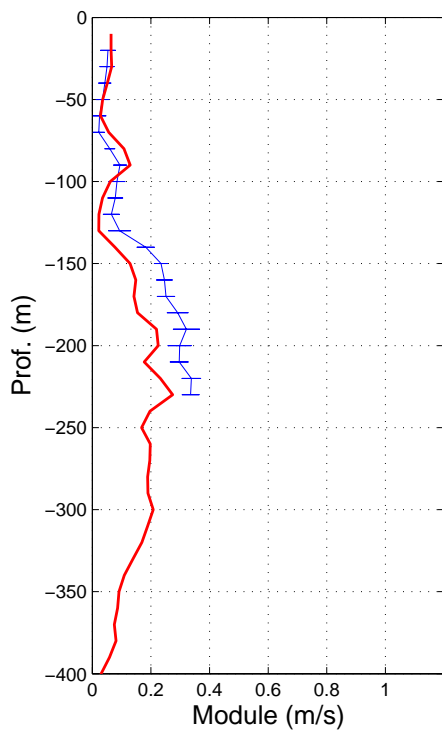
Station: 29



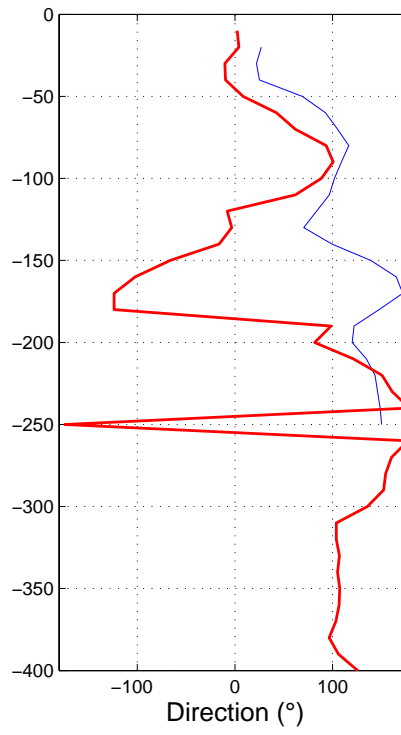
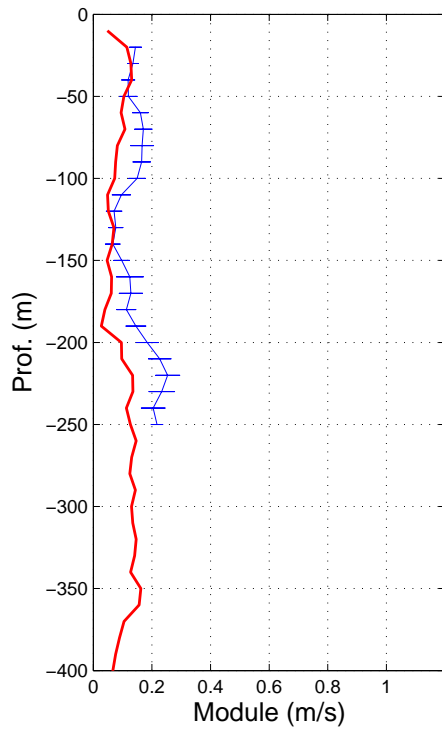
Station: 30



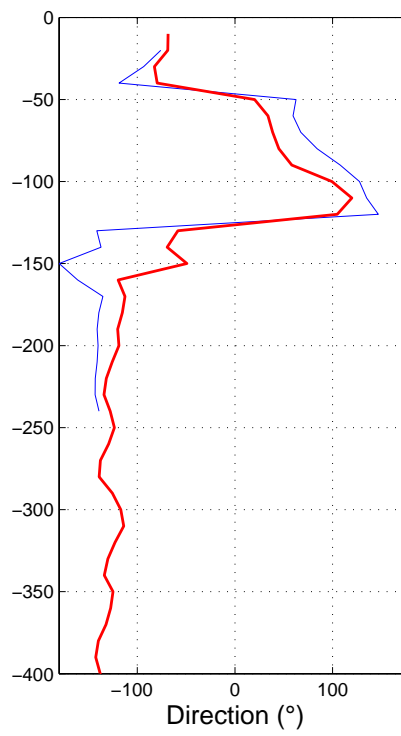
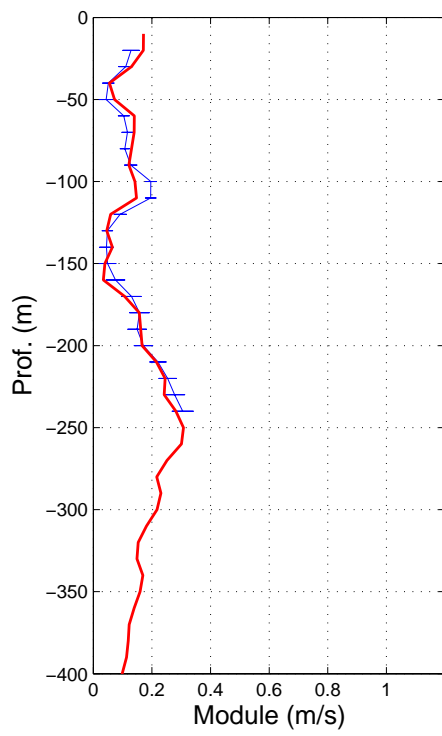
Station: 31



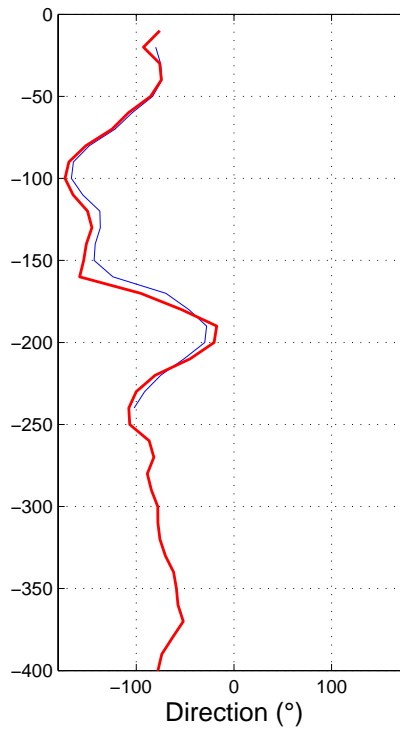
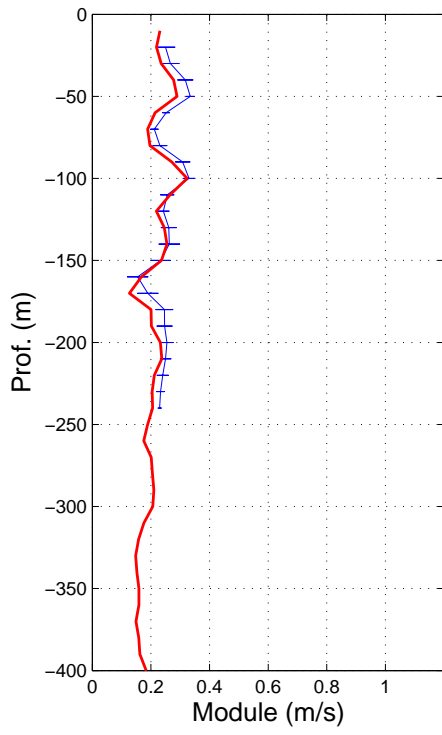
Station: 32



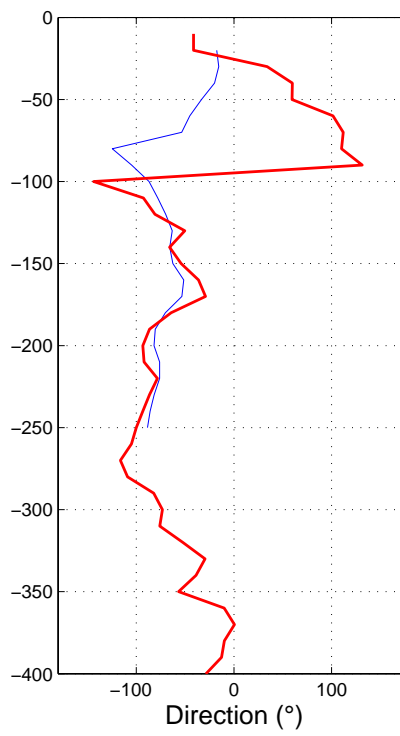
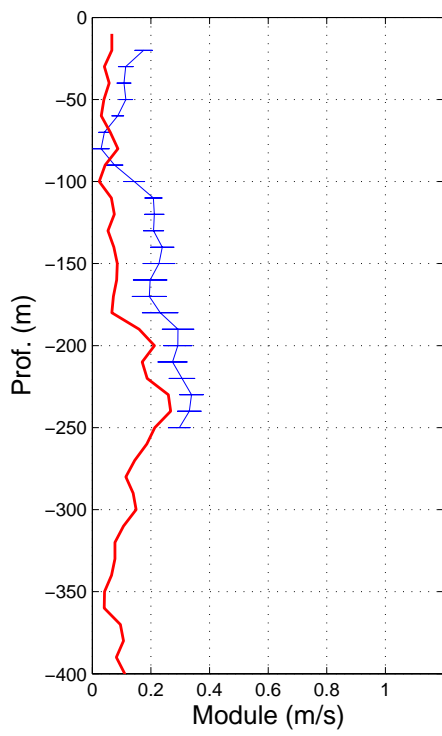
Station: 33



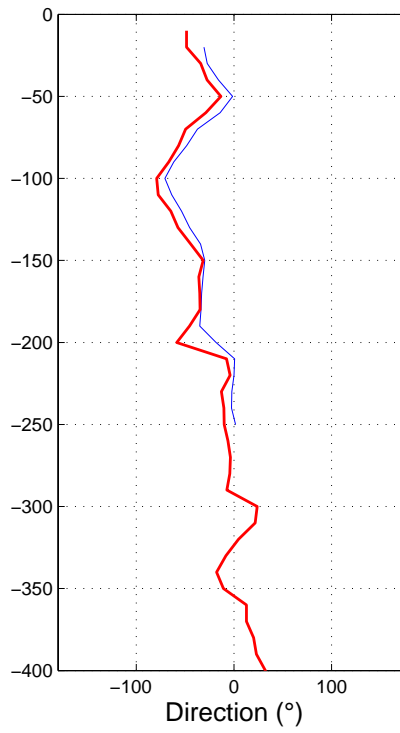
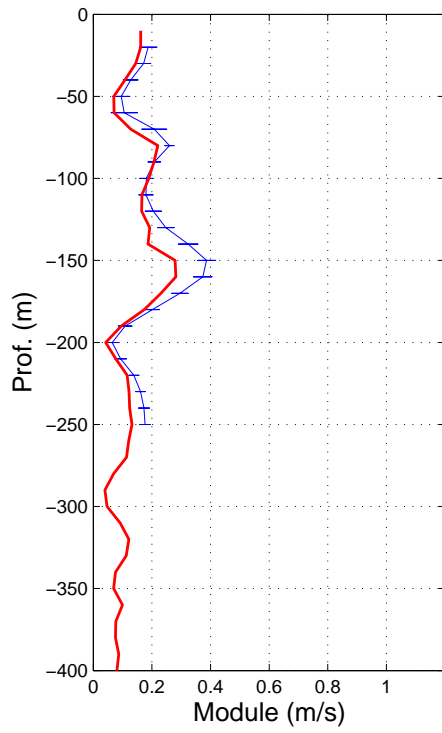
Station: 34



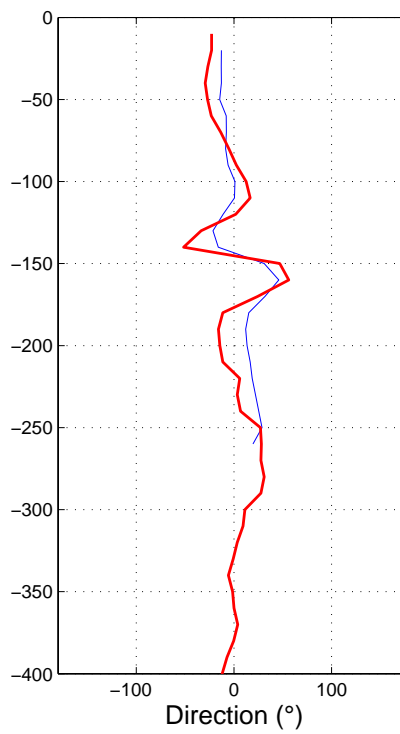
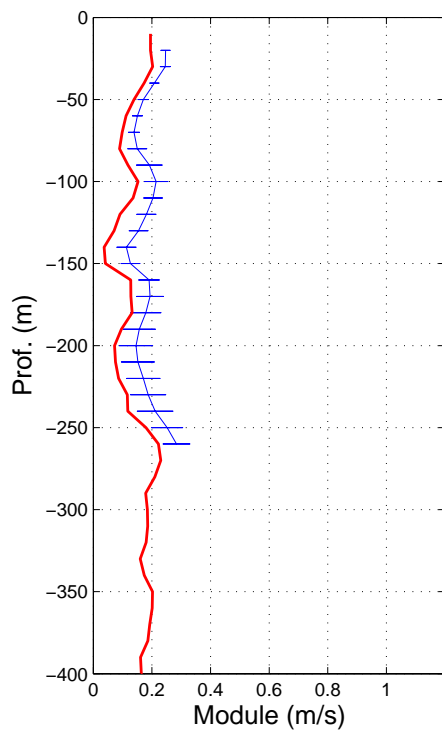
Station: 35



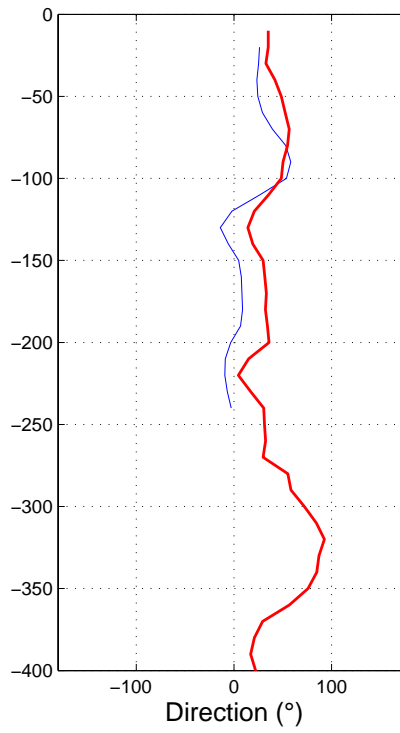
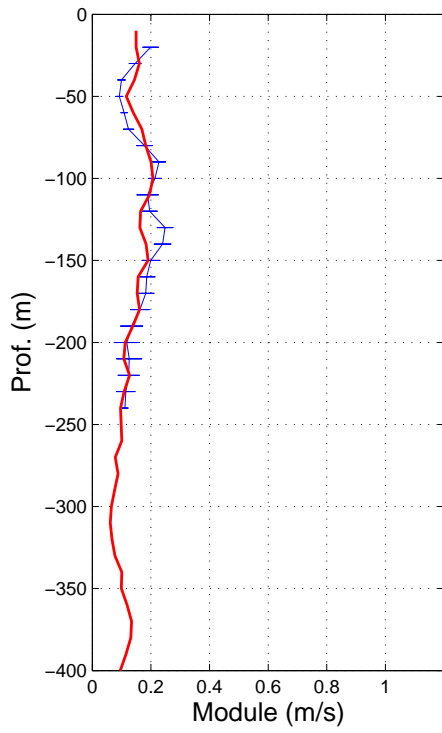
Station: 36



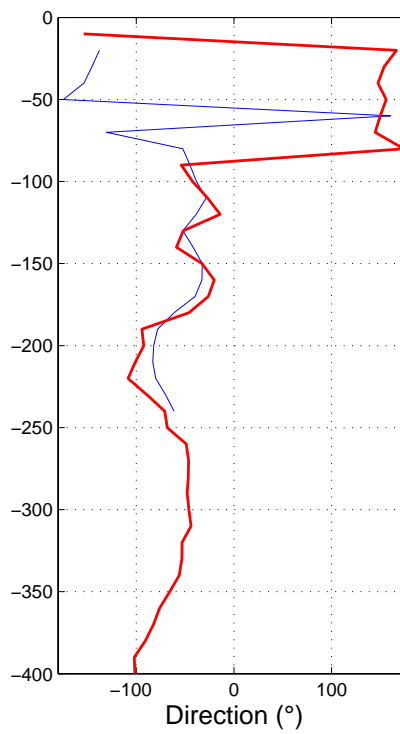
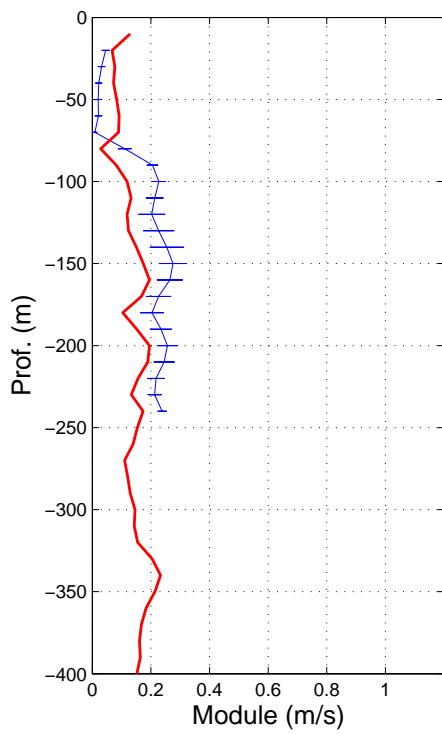
Station: 37



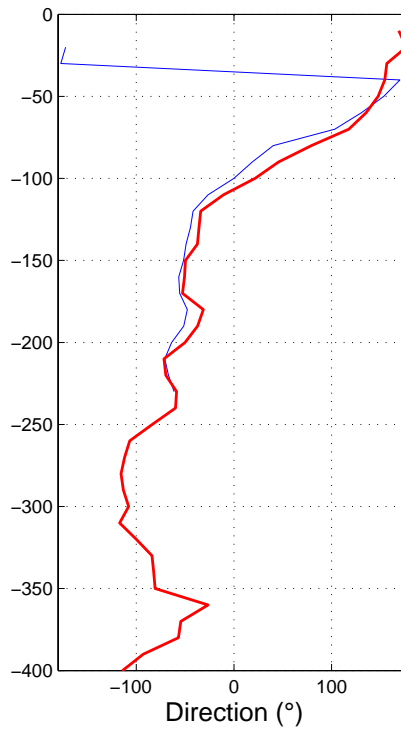
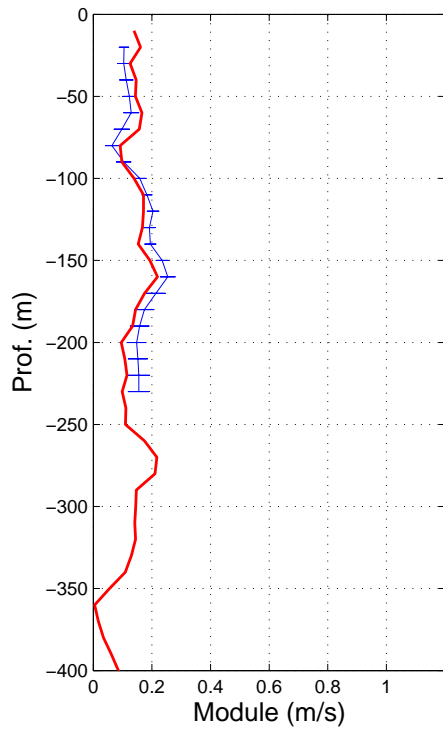
Station: 38



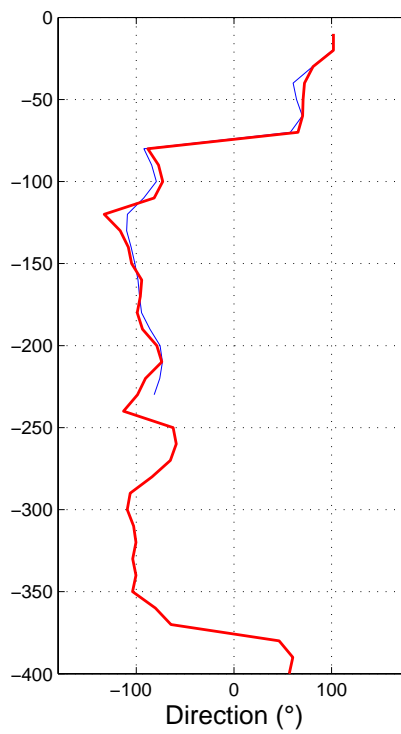
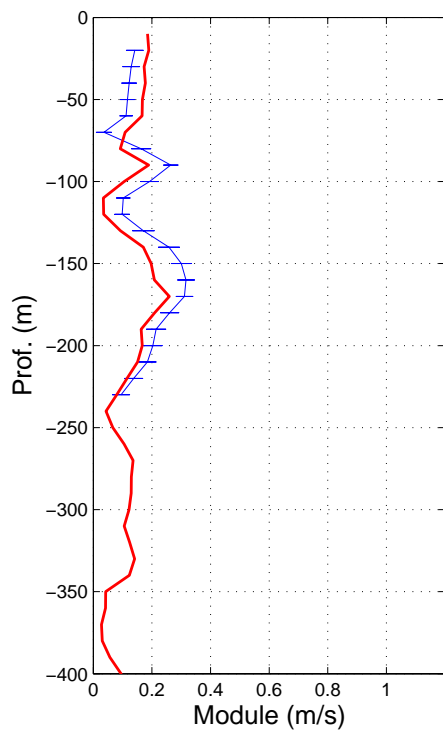
Station: 39



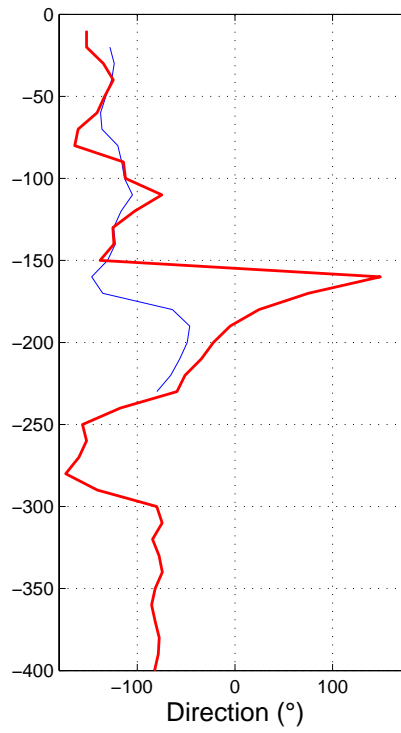
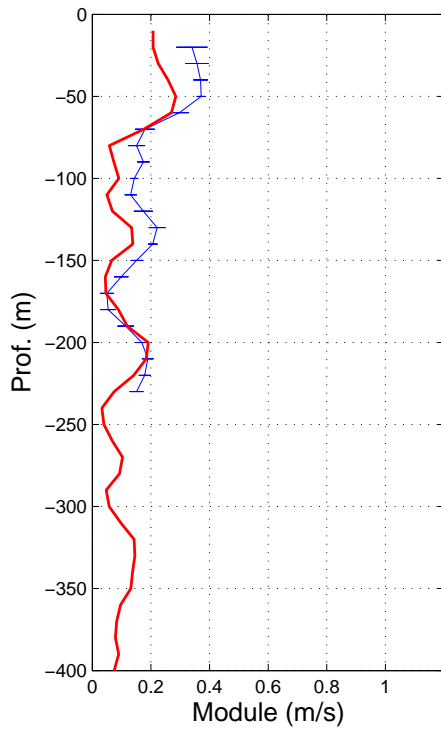
Station: 40



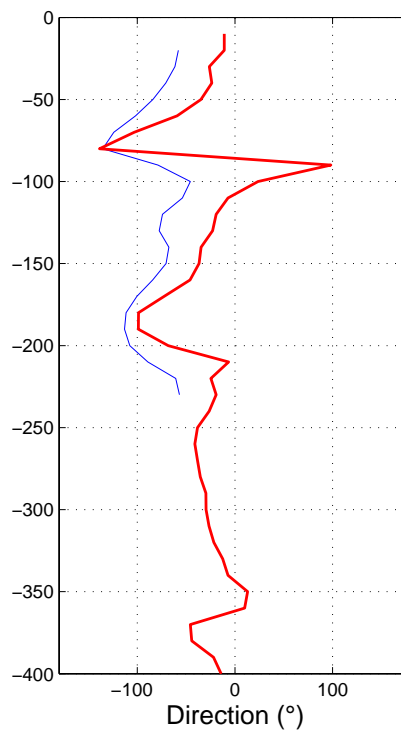
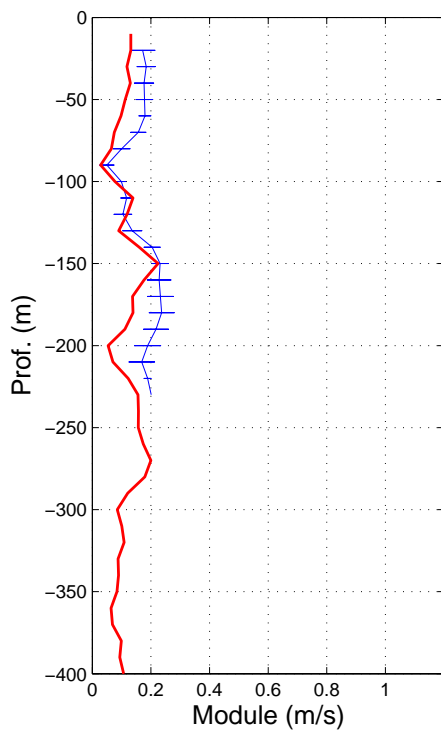
Station: 41



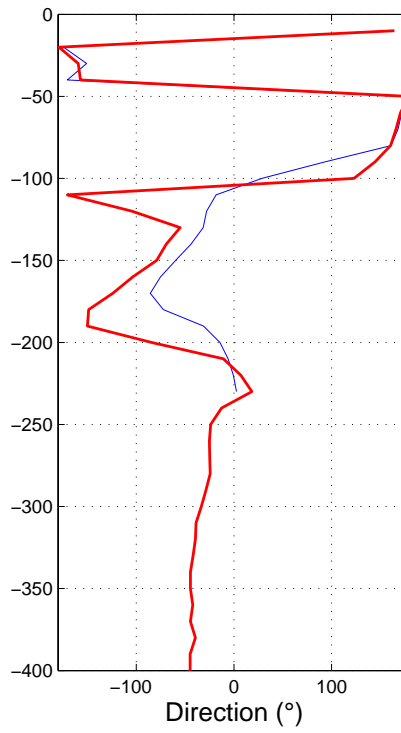
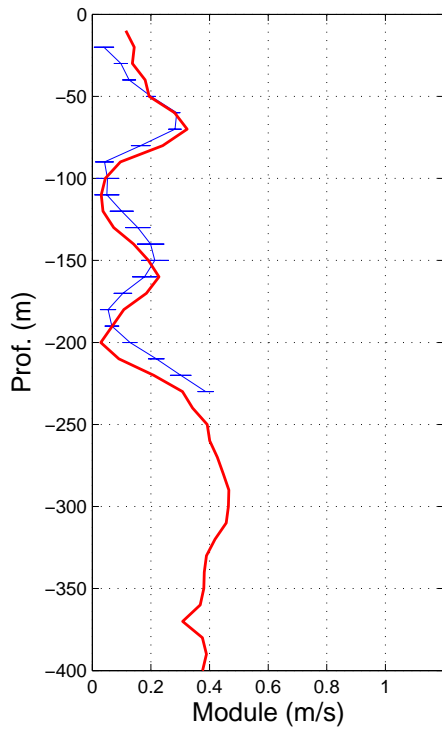
Station: 42



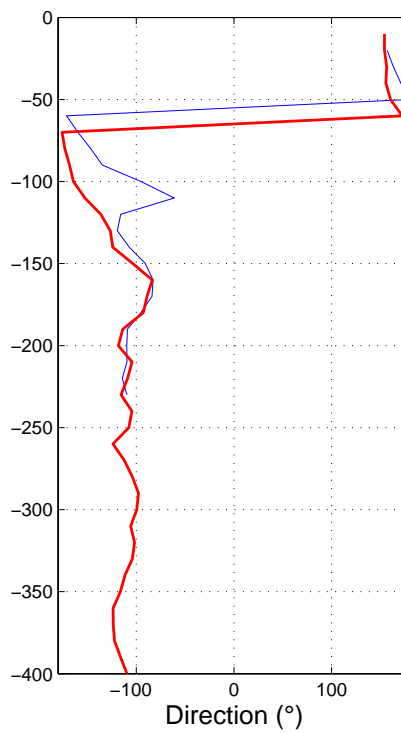
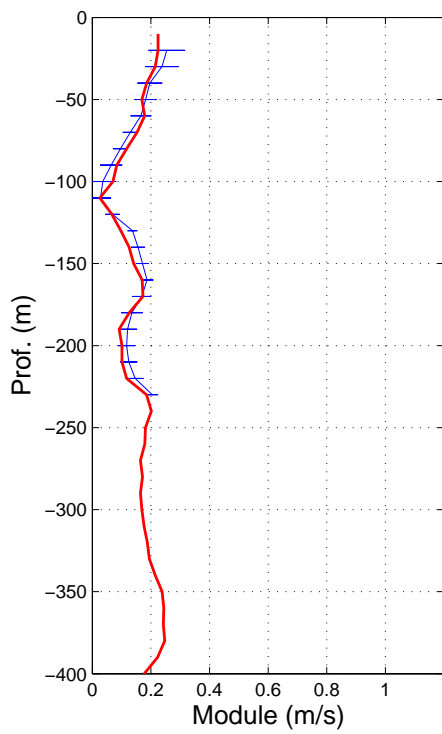
Station: 43



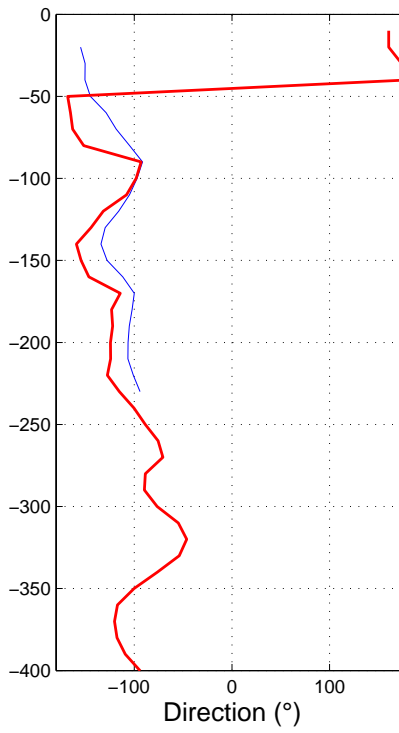
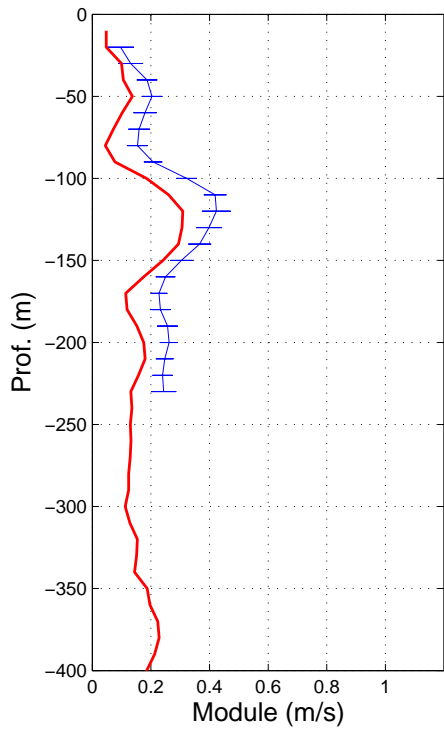
Station: 44



Station: 45



Station: 46



Station: 47

