

RAPPORTS DE MISSIONS

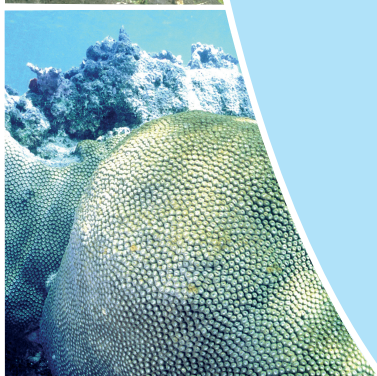
SCIENCES DE LA MER
OCÉANOGRAPHIE PHYSIQUE

N° 21

2007

**Rapport de la mission
SECALIS 3
à bord du Navire
Océanographique l'Alis
du 11 au 24 juillet 2005
22°S-9°55S, 160°07E-168°10E**

**Lionel GOURDEAU
Elodie KESTENARE
Francis GALLOIS
Alexandre GANACHAUD
Jean-Yves PANCHE
Léocadie JAMET
Angelo DI MATTEO
Jacques VERRON
Xavier COUVELARD**



Institut de recherche
pour le développement

**RAPPORTS DE MISSIONS
SCIENCES DE LA MER
OCÉANOGRAPHIE PHYSIQUE**

N° 21

2007

**Rapport de la mission SECALIS 3
à bord du Navire Océanographique l'Alis
du 11 au 24 juillet 2005
22°S-9°55S, 160°07E-168°10E**

**Lionel GOURDEAU
Elodie KESTENARE
Alexandre GANACHAUD
Jean-Yves PANCHE
Léocadie JAMET
Angelo DI MATTEO
Jacques VERRON
Xavier COUVELARD**



**Institut de recherche
pour le développement**

© IRD, Nouméa, 2007

/Gourdeau, L.
/Kestenare, E.
/Ganachaud, A.
/Panché, J.Y.
/Jamet, L.
/Di Mattéo, A.
Verron, J.
/Couvelard, X.

Rapport de la mission SECALIS 3 à bord du Navire Océanographique l'Alis du 11 au 24 juillet 2005, 22°S-9°55S, 160°07E-168°10E.

Nouméa : IRD. Juillet 2007. 80 p.
Missions : Sci. Mer ; Océanogr. Phys ; 21

CAMPAGNE OcéANOGRAPHIQUE; HYDROCLIMAT; COURANT MARIN; TEMPERATURE;
SALINITE; ZONE TROPICALE / PACIFIQUE SUD OUEST

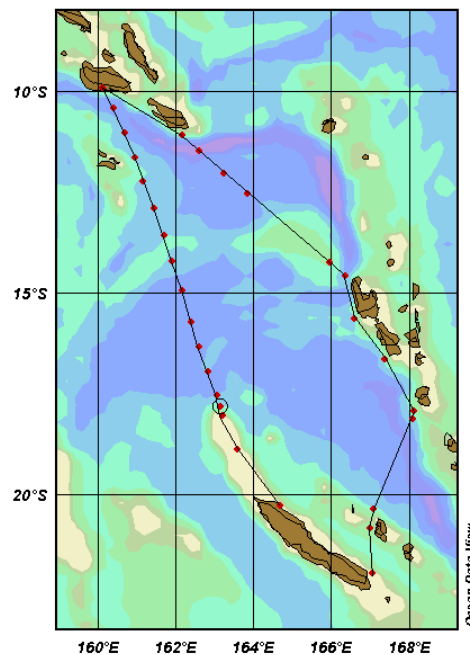
Rapport de la Mission

SECALIS 3

à Bord du Navire Océanographique l'ALIS

SECALIS-3 Cruise Report

11 juillet-24 juillet 2005 ; 22°S-9°55S; 160°07E – 168°10E



Lionel Gourdeau⁽¹⁾
Elodie Kestenare⁽²⁾
Alexandre Ganachaud⁽¹⁾
Jean Yves Panche⁽³⁾
Léocadie Jamet⁽⁴⁾
Angelo Di Matteo⁽³⁾
Jacques Verron⁽⁵⁾
Xavier Couvelard⁽¹⁾

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

⁽²⁾UMR65 IRD/LEGOS, Toulouse, France

⁽³⁾US255 IRD Nouméa, Nouvelle Calédonie

⁽⁴⁾US122 IRD Nouméa, Nouvelle Calédonie

⁽⁵⁾LEGI, Grenoble, France

RESUME

La Campagne SECALIS-3 fait partie d'une série de campagnes dont l'objectif est d'observer et d'améliorer la compréhension de la circulation du Pacifique sud ouest. Cette région océanique est à même de jouer un rôle dans la variabilité décennale du climat en redistribuant au sud et vers l'équateur, via les courants de bord ouest, la circulation grande échelle du Courant Equatorial Sud. L'interaction avec les obstacles topographiques comme les Fidji, le Vanuatu et la Nouvelle Calédonie concentre cette circulation en des jets zonaux qui s'étendent jusqu'aux côtes Australiennes. Cette campagne, ainsi que les campagnes SECALIS-1 et 2, ont été déterminantes dans la création du programme de recherche international SPICE (<http://www.ird.nc/UR65/SPICE>). Prospectives dans un premier temps, ces campagnes sont désormais parties intégrantes du programme SPICE-France (<http://www.ird.nc/UR65/SPICE/LEFE-IDAO-Gourdeau.pdf>). La campagne s'est déroulée à bord du navire océanographique l'ALIS, le long d'un parcours partant de la Nouvelle Calédonie vers les îles Salomons (Guadalcanal), de Guadalcanal à Efate (Vanuatu), et retour sur Nouméa. La seconde moitié de la mission a souffert de conditions météorologiques difficiles. Au cours de la campagne SECALIS-3, 31 profils de température, salinité, oxygène, à la sonde CTD (0-2000 m), et profils de courants (0-2000 m) au profileur de courant à effet Doppler (L_ADCP) monté sur le châssis de la sonde, ont été effectués. En parallèle, ont été réalisés des prélèvements discrets sur les bouteilles Niskin pour l'analyse de la salinité, de l'oxygène. Des mesures de courants (0-250 m) en continue ont été réalisées à l'aide de l'ADCP monté sur la coque du navire. La température et la salinité de surface, ainsi que des relevés météorologiques ont été enregistrés toutes les minutes. Cette campagne a également permis la mise à l'eau d'un glider qui a fait la traversée Guadalcanal-Nouvelle Calédonie en 4 mois, ainsi que le largage de 3 bouées dérivantes. Ce rapport décrit le déroulement de la campagne ainsi que le matériel et les méthodes utilisés. Il présente également les figures préliminaires correspondant aux données traitées.

MOTS CLES : Campagne océanographique, Pacifique tropical sud ouest, température, salinité, courant, jets.

ABSTRACT

The SECALIS-3 cruise is part of a four-cruise series motivated by the observation and understanding of the circulation in the South West Pacific Ocean. This region is of interest by its potential role in decadal climate variability because of its position athwart a major pathway from the subtropics to the equator. The circulation is complicated by the complex topography of the region. The large westward South Equatorial Current, when meeting the topographic features of the Fiji, Vanuatu and Solomon islands, is broken into several narrow jets which seem to extend until the Australian coast. This cruise, along with the Secalis-1 and 2 cruises, has been determinant in the creation of the international SPICE program (www.ird.nc/UR65/SPICE). At first prospective, the SECALIS cruises are now part of the SPICE-France program (<http://www.ird.nc/UR65/SPICE/LEFE-IDAO-Gourdeau.pdf>). This cruise was carried out from R/V ALIS from New Caledonia to Solomon (Guadalcanal), Vanuatu (Efate), and return to New Caledonia (Nouméa). During the SECALIS-3 cruise, 31 temperature, salinity, oxygen profiles were obtained with the CTD probe (0-2000m) and current profiles (0-2100m) were obtained with a lowered Doppler current profiler (ADCP). Simultaneously, discrete samples were taken from Niskin bottles to analyze salinity, oxygen. Continuous current measurements (0-250m) were taken from shipboard ADCP. Surface temperature and salinity, and meteorological parameters were recorded every minute. This cruise also allowed the deployment of a glider, and the release of 3 surface drifting buoys. This report describes the cruise and the materials and methods that were used. Preliminary results are also displayed.

KEY WORDS : Oceanographic cruise, South West Pacific, temperature, salinity, current, jets

REMERCIEMENTS

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

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

De nombreux aspects techniques et logistiques nécessaires au bon déroulement de la campagne ont été menés à bien grâce à Paul Mazoyer, Jean-Yves Panche et Pierre Gode du Centre IRD de Nouméa, ainsi que les moyens navigants de l'IRD. L'analyse chimique de l'oxygène n'aurait pu se faire sans les conseils avisés de François Baurand (US25, Brest) et Rémy Chuchla (LEGOS, IRD) et l'aide de Philippe Gérard (IRD Nouméa, UR –Camelia). Nous remercions K. McTaggart et G. Johnson du PMEL/NOAA pour leur expertise et leur aide technique qui ont été essentielles à cette calibration

La calibration du thermosalinographe a été effectuée par David Varillon (US 25, IRD-Nouméa). Les bouées dérivantes ont été fournies par le Global Drifter Center de la NOAA et déployées en interaction avec Creg Engler. Le SPRAY glider a été déployé dans le cadre d'une collaboration avec la Scripps (Russ Davis).

La campagne SECALIS-3 a été financée par l'IRD, et soutenue par la commission flotte de l'OPCB.

ACKNOWLEDGMENTS

Alexandre Ganachaud has endorsed the responsibility of the SECALIS Cruises as the project chief. A sea cruise on a 28 meter ship can only be a success with an exceptionally competent crew. We warmly thank the RV ALIS crew, officers and sailors, for their professionalism, their availability and helpfulness. Smile and good mood were omnipresent, even in the extreme bad weather.

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

Many logistical and technical aspects were worked out successfully by Paul Mazoyer, Jean-Yves Panche and Pierre Gode from the IRD-Noumea center, as well as the seagoing IRD bureau. Oxygen analyses have been setup with the advices from François Baurand (US25, Brest), and remy Chucla (LEGOS, Brest), and the help from Philippe Gérard (IRD Nouméa, UR Camelia). We thank K. McTaggart et G. Johnson from PMEL/NOAA for their expertises which have been crucial in the calibration of the Oxygen. Thermosalinograph calibration was accomplished by David Varillon (US 25, IRD-Noumea). The surface drifters were provided by the Global Drifter Centre (NOAA) and deployed in interaction with Creg Engler. The SPRAY glider was used thanks to a collaboration with the Scripps Institute (Russ. Davis)

The SECALIS-3 cruise was supported by IRD, and the OPCB (National fleet commission).

Table des matières

1	Introduction	8
2	Déroulement de la campagne	9
2.1	Travaux réalisés en station	10
2.2	Travaux réalisés en route.....	10
2.3	Personnel scientifique embarqué.....	10
2.4	Personnel du bord embarqué	11
3	Hydrologie.....	11
3.1	Sondes CTD-Oxygène.....	11
3.1.1	Présentation des sondes utilisées.....	11
3.1.2	Déroulement des travaux	13
3.1.3	Acquisition des mesures	13
3.1.4	Contenu et format des fichiers générés	14
3.1.5	Calibration de la température.....	15
3.1.5	Calibration de la salinité	16
3.1.7	Précision des mesures	16
3.1.8	Calibration de l'Oxygène	20
3.1.9	Sections de Température, Salinité et Oxygène	24
3.2	Salinité : Analyse des échantillons	27
3.2.1	Prélèvement des échantillons	27
3.2.2	Procédure d'analyse	27
3.2.3	Précision	28
3.3	Oxygène : Analyse des échantillons.....	29
3.3.1	Technique d'échantillonnage	29
3.3.2	Analyse des échantillons	29
3.3.3	Précautions particulières	29
3.3.4	Contrôle des réactifs pendant la campagne	30
3.3.5	Détermination de la concentration d'oxygène des échantillons	31
3.3.6	Précision des analyses	32
3.4	Thermosalinographe.....	33
4	Courantométrie ADCP de rosette (LADCP).....	35
4.1	Principe de la mesure	35
4.2	Acquisition de la mesure.....	35
4.3	Traitement des mesures.....	36
4.4	Présentation des profils.....	39
5	Mesures de courants par le profileur de coque à effet Doppler (VM-ADCP)	40
5.1	Introduction	40
5.2	Equipement.....	40
5.3	Acquisition	40
5.4	Traitement des données	41
5.4.1	Constitution d'une base de données	41
5.4.2	Vérification des profils relatifs.....	41
5.4.3	Intégration de la navigation	42
5.4.4	Etalonnage.....	43
5.4.5	Base finale	45
5.4.6	Contrôle de qualité	46

5.5	Présentation des résultats	47
6	Mesures météorologiques.....	49
7	Bouées dérivantes.....	50
8	Glider.....	51
9	Références	52
	Annexe 1 : Chronologie détaillée de la campagne.....	55
	Annexe 2 : Graphiques	56
2.1	Profils CTD	56
2.2	Courantométrie ADCP de sonde (LADCP) et de surface (SADCP) par station	71

Liste des figures

- Figure 1** : Trajectoire de la campagne. Les points correspondent aux stationsP. 9
- Figure 2** : écarts entre les valeurs de salinité à 2000 m issues de l'analyse des échantillons bouteille et de la sonde après recalage.P. 17
- Figure 3** : différence de salinité pour la station commune entre Secalis2 et Secalis3 aux alentours de Santo.P.18
- Figure 4** : Comparaison des température et salinité de la station 10 (13°34S-161°41E), après traitement, avec la climatologie CARS (Rouge : CTD ; noir : CARS)P.19
- Figure 5** : statistiques des déviations de salinité et de température entre les données CTD (haut : SBE 911 et bas : SBE 19) et CARS : écart moyen en bleu et écart type des déviations en vert.....P. 19
- Figure 6**: Résidus oxygène après calibration, différence CTD-bouteille, en fonction du numéro de station (en \square mol/kg).....P. 21
- Figure 7** : Résidus oxygène après calibration, différence CTD-bouteille, en fonction de la profondeur, toutes stations confondues.P.22
- Figure 8**: Histogramme des écarts entre les valeurs d'oxygène dissous issues de l'analyse des échantillons et des mesures de la sonde après calibration. Ces écarts sont considérés de la surface au fond (en haut) et de 1000 dbar au fond (en bas).P. 22
- Figure 9**: Station 28, données CTD-911 utilisées pour calibrer la sonde SBE 19. Les « équivalents bouteilles » sont indiqués par les cercles/croix verts obtenu à partir du profil CTD911 filtré (rouge). Le profil CTD911 non filtré apparaît en bleu.P. 23
- Figure 10**: Station 28, résidus CTD 19-CTD911 avant calibration (gauche) après calibration (droite).....P. 23
- Figure 11**: Profils calibrés des stations CTD 19 (lignes); profils calibrés de la sonde CTD 911 (pointillés) et références de calibration de la station 28 (croix).....P. 23
- Figure 12** : Sections de température, salinité et oxygène pour les sections Nord Calédonie-Guadalcanal (a), Guadalcanal-Efate (b), Efate-Nouméa (c).....P. 24
- Figure 13** : Evolution des blancs d'analyses.P. 30
- Figure 14** : Evolution du titre du thiosulfate. Il varie entre 1,979.10-2 et 1,985.10-2, soit une très légère évolution de cette normalité tout a fait acceptable.....P. 31
- Figure 15** : Comparaison de la salinité du TSG SBE 21 avant ajustement avec les prélèvements bouteille (croix).P.34
- Figure 16** : Comparaison de la salinité et de la température du TSG SBE 21 avant ajustement avec les mesures en station de la CTD en surface (croix).P. 34
- Figure 17** : Température et Salinité de surface du TSG 21 le long du parcours de la campagne.P. 35
- Figure 18** : Exemple de bins et profils flaggés du fait des réflexions dans des eaux shallow water (croix).P. 42
- Figure 19** : Exemple de courant dans la couche de référence 38-102m, après nettoyage des profils individuels (« édition ») et lissage.....P. 43
- Figure 20** : Différence cap GPS - cap gyro au cours du temps pendant l'ensemble de la campagne : valeur moyenne à chaque profil (points rouges), après application d'un filtre

médian sur 15 points (en noir), après changement de signe, interpolation des trous et passage d'une moyenne mobile sur 10 points (en bleu).....P. 44

Figure 21 : Histogrammes de A et ϕ et différences d'horloges GPS-ADCP après application de la correction GPS-gyro.....P. 45

Figure 22 : Courant dans la couche de référence, comme sur la Figure 19 après application de toutes les corrections..... P. 46

Figure 23 : pourcentage de bon « pings » en fonction de la profondeur estimée en route (pointillé) et en station (trait plein). La portée moyenne est donnée par la profondeur où PERCENT-3BEAM = 30%.....P. 47

Figure 24 : Sections verticales des composantes zonale et méridienne du courant mesurées par VM-ADCP.....P. 47

Figure 25 : Vent relevé le long du parcours par la station BATOS.P. 49

Figure 26 : Séries temporelles des paramètres atmosphériques enregistrés par la station BATOS.....P. 49

Figure 27 : Trajectoires des bouées dérivantes.....P. 50

Figure 28 : Trajectoire du glider entre juillet et octobre 2005. Les flèches représentent une estimation des courants moyens sur les 600 premiers mètres.....P. 51

Figure 29 : Récupération du glider au large de la Nouvelle Calédonie.....P. 51

1. Introduction

Un des mécanismes possibles pour expliquer la variabilité basse fréquence d'ENSO met en jeu une interaction tropique-subtropique par des cellules méridiennes de circulations océaniques appelées **STC** (Shallow Tropical-subtropical overturning Cells) (McCreary et Lu, 1994 ; McPhaden et Zhang, 2002). Ce système d'interaction tropique-subtropique est conditionné par la circulation grande échelle du Pacifique tropical. Celle-ci est relativement bien connue, elle se caractérise de part et d'autre de l'équateur par la présence de grands courants vers l'ouest, associés aux alizés et inscrits dans les grandes structures anticycloniques (gyres) subtropicales: le Courant Nord-Equatorial (**NEC**) et le Courant Sud-Equatorial (**SEC**). Ceux-ci forment à l'approche des côtes de puissants courants de bord ouest, dont une partie rejoint l'équateur pour alimenter le Sous-Courant Equatorial (**EUC**), dirigé vers l'est. Des variations dans l'intensité du transport ou les propriétés des eaux suivant de tels chemins pourraient affecter la thermocline équatoriale et la température de surface, qui à leur tour affecteraient la circulation atmosphérique. Une lente variabilité des STCs, couplée à une connection atmosphérique rapide entre tropiques et subtropiques, pourrait générer la variabilité décennale observée dans le Pacifique (Gu et Philander, 1997 ; Kleeman et al., 1999).

Les mécanismes décennaux faisant intervenir les STCs ont été jusque-là principalement étudiés dans l'hémisphère Nord, où davantage de données sont disponibles que dans l'hémisphère Sud. Cependant, des études récentes basées sur des données (Luo et Yamagata, 2001 ; Giese et al., 2002) et un modèle couplé (Luo et al., 2003) soulignent le rôle potentiellement important du Pacifique Sud pour la variabilité décennale. Dans le Pacifique tropical Sud-Ouest, la circulation entre 0 et 1000 m de profondeur est dominée par le SEC dont les eaux entre 100 et 400m proviennent du milieu de la gyre du Pacifique Sud. A sa rencontre des côtes australiennes, le SEC se divise en deux courants de bord ouest: le Courant Est-Australien (**EAC**) dirigé vers le Sud et le Courant du Nord-Queensland (**NQC**) dirigé vers le Nord.

Le cheminement océanique entre les zones de formation des eaux de thermocline aux latitudes subtropicales du Pacifique sud-est et leur émergence à l'équateur est une problématique d'intérêt majeur actuellement, et la série des campagnes SECALIS (1-2-3-4) aura contribué à fournir les bases structurelles d'un programme régional (France, Australie, Nouvelle-Zélande, Etats-Unis et pays de la SOPAC) en cours d'élaboration (www.ird.nc/UR65/SPICE).

Nous nous intéressons ici au cheminement des signaux climatiques par l'océan Pacifique Sud. La circulation grande échelle du Pacifique sud-ouest est loin d'être homogène spatialement. Les obstacles topographiques de la Nouvelle-Calédonie, de Fidji et des Vanuatu la divisent et la concentrent en plusieurs jets. Ces jets atteignent ensuite l'Australie. Une partie, essentiellement au Sud de la latitude de la Nouvelle-Calédonie, bifurque vers le sud pour alimenter l'EAC; l'autre partie bifurque vers le nord pour alimenter le NQC qui longe la côte Australienne et la Papouasie-Nouvelle Guinée pour finalement revenir alimenter le Sous-Courant Equatorial (Qu et Lindstrom, 2002).

Précisément, l'existence des jets zonaux entre les îles n'a été découverte que très récemment. Jusqu'à présent, ils n'ont pas été réellement étudiés. Les campagnes SECALIS, accompagnées d'études numériques vont permettre de mieux comprendre la dynamique des jets en lien avec l'environnement grande échelle, aux échelles de temps saisonnières, interannuelles et décennales.

2. Déroulement de la campagne

La campagne SECALIS-3 (Figure 1) à bord du N/O ALIS s'est déroulée du 11 juillet au 24 juillet 2006. De manière à amortir les effets de la houle lors de la descente de la rosette, un système de rattrapage du câble du treuil avait été installé. Ce système a bien fonctionné et a permis d'optimiser l'utilisation de la rosette. Malgré les conditions météorologiques difficiles qui ont nécessité l'annulation de certaines stations, le plan de campagne a pu être respecté. 31 stations ont été effectuées au total, 24 à l'aide de la rosette et 7 à l'aide de la SBE19 descendu sur le treuil de pêche quand les conditions météorologiques étaient trop mauvaises. Après une station d'essai sur la côte est en remontant vers le nord de la Calédonie, une première radiale a été réalisée entre l'extrémité nord du récif nord Calédonien et Guadalcanal (Salomons) (Figure 1 : 19°S-10°SN, 16 stations). Le retour s'est fait en passant par le Vanuatu, ce qui a permis d'effectuer une seconde radiale entre Guadalcanal et Santo (8 stations). Les conditions météorologiques mauvaises nous ont obligés à faire escale à Port Vila. La dernière radiale entre Port Vila et Nouméa a été sous échantillonné du fait du mauvais temps (5 stations).

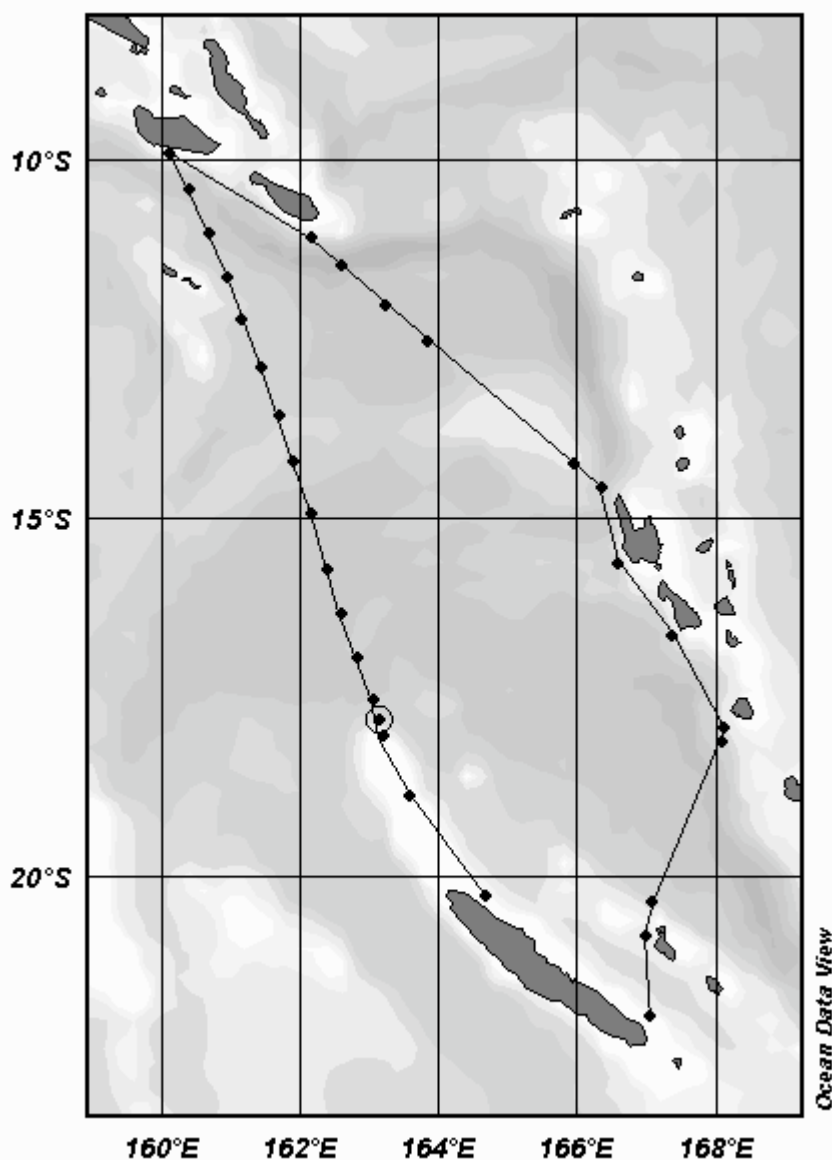


Figure 1 : Trajectoire de la campagne. Les points correspondent aux stations

2.1 Travaux réalisés en station

30 stations hydrologiques CTD (0-2000m et 0-1000m) et LADCP (0-2100m et 0-1100m) ont été réalisées.

Chronologie sommaire (détail en annexe):

- J02 : station d'essai sur la côte nord est de la Calédonie
 - Station CTD et LADCP
- J02 à J07
 - CTD et LADCP le long de la radiale Calédonie-Guadalcanal, 16 stations entre 18°52S et 9°56S
 - Largage de deux bouées dérivantes
 - Mise à l'eau du glider au large de Guadalcanal
- J08 à J11
 - 8 stations entre 11°06S et 16°38S le long de la radiale Guadalcanal-Port Vila dont 5 stations CTD (SBE911) et LADCP à l'aide de la rosette et 3 stations CTD avec la sonde de secours (SBE 19) pour cause de mauvais temps
- J12 : Escale à Port Vila pour cause de mauvais temps. Rapatriement de Xavier Couvelard qui souffrait du mal de mer depuis le départ.
- J13 à J14 :
 - Radiale Port Vila-Nouméa, 5 stations entre 17°56S et 21°58S, dont 4 stations CTD avec la sonde de secours (SBE 19) et une station CTD (SBE911) et LADCP avec la rosette.
 - La station 28 a été effectuée avec la rosette et la SBE911 et aussi avec la SBE 19 pour inter calibration.
- J14 : Retour à Nouméa.

2.2 Travaux réalisés en route

- Mesure en continu des courants absolus 0-250m au moyen d'un profileur acoustique à effet Doppler (ADCP)
- Mesure en continu (enregistrement toutes les 5 minutes) de la température et salinité de surface au moyen d'un thermosalinographe.
- 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.

2.3 Personnel scientifique embarqué

Gourdeau Lionel	CR, Chef de mission	LEGOS, IRD Nouméa
Ganachaud Alexandre	CR,	LEGOS, IRD Nouméa
Verron Jacques	DR,	LEGI, CNRS Grenoble
Couvelard Xavier	étudiant	LEGOS, IRD Nouméa
Panche Jean Yves	IE	US25, IRD Nouméa

2.4 Personnel du bord embarqué

Jean François Barazer	Commandant
Loic Legoff	Second
Robert Zamora	Lieutenant
Ollivier Jean Charles	Chef Mécanicien
Franck Bouzidi	Second Mécanicien
Jacques Quenenoj	Cuisinier
Nicolas Josse	Maître d'hôtel
Liufau Félice	Bosco
Fitialeata Christian	Matelot
Garcia Jean-Paul	Matelot
Taalo Steve	Matelot



3. Hydrologie

3.1 sondes CTD-Oxygène

3.1.1 Présentation des sondes CTD-Oxygène utilisées

2 sondes CTD-Oxygène ont été utilisées durant la campagne : La sonde hydrologique CTD-O₂ installée sur la rosette (sonde SEABIRD de type SBE 911+), et lorsque les conditions météorologiques rendaient impossible la descente de la rosette, la sonde CTD autonome de secours (SBE19) descendue à l'aide du treuil de pêche (cable 18 mm). Une pompe externe relie les différents capteurs, afin d'assurer une meilleure synchronisation de leurs réponses. Les détails sur les capteurs des différentes sondes sont accessibles sur le site internet du constructeur : <http://www.seabird.com>.

- La sonde SEABIRD de type SBE 911+ :

Elle comporte :

- un capteur de pression ; ce capteur est un capteur à quartz développé par la société Paroscientific Inc. Il est muni d'un capteur de température interne pour pouvoir effectuer une correction de température sur la mesure de pression. Il permet des mesures de 0 à 10000 psia ('pound per square inch, absolute' soit 6800 dbar, avec 1 dbar=1.4503774 psia) avec une résolution de 0.001% de la pleine échelle (soit 0.068 dbar) et une précision de 0.015% de la pleine échelle (soit environ 1 dbar).
- deux capteurs de température ; ces capteurs à sonde de platine permettent des mesures entre -5°C et +35°C, avec une résolution de 0.0002°C et une précision de 0.002°C.
- deux capteurs de conductivité ; ces capteurs à électrodes sont placés dans un tube en verre et mesurent la conductivité absolue. La gamme de mesure se situe de 0 à 7 S/m (Siemens par mètre, équivalent à 0-70 mmho/cm), avec une résolution de $4 \cdot 10^{-5}$ S/m et une précision de 0.0003 S/m.
- un capteur d'oxygène, à membrane polarographique de type Seabird SBE13, 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 μ mol/kg, 4 μ mol/kg et 0.4 μ mol/kg respectivement).

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).

Les numéros de série des différents capteurs utilisés pendant la campagne avec les dates de calibration correspondant sont reportés dans le tableau 1.

La pré-calibration correspond à l'état des capteurs au cours de la mission, tandis que la post-calibration, effectuée au retour de la campagne, est utile pour calibrer les données de la sonde SBE911+.

Tableau 1 : date de calibration des capteurs SBE911+

Pré-calibration	Post-calibration	ID capteur
Temp_0 (03-09-2004)	Temp_0 (23-01-2006)	1135
Temp_1 (03-09-2002)	Temp_1 (23-01-2006)	2551
Cond_0 (08-09-2004)	Cond_0 (19-01-2006)	2340
Cond_1 (08-09-2004)	Cond_1 (19-01-2006)	2343
Pression (11-09-2004)	N/A	75674
Oxygène (30-08-2001)	N/A	130511

- La sonde SEABIRD de type SBE 19:

La sonde SEABIRD de type SBE19-01, 195403-0839 (SEACAT PROFILER) comporte :

- un capteur de pression « strain-gauge ». Il permet des mesures de 0 à 5000 psia (« pound per square inch, absolute » soit 3437 dbar, avec 1 dbar=1.4503774 psia) avec une résolution de 0.03% de la pleine échelle (soit 1.03 dbar) et une précision de 0.5% de la pleine échelle (soit environ 17 dbar).
- un capteur de température ; ces capteurs permettent des mesures entre -5°C et +35°C, avec une résolution de 0.001°C et une précision de 0.02°C/an.
- un capteur de conductivité. 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 $1 \cdot 10^{-4}$ S/m et une précision de 0.012 S/m/an.

- un capteur d'oxygène Beckman/YSI, à membrane polarographique de type Seabird SBE 23Y, permettant des mesures de 0 à 15 ml/l, avec une précision de 0.1 ml/l et une résolution de 0.01 ml/l (soit approximativement 600 µmol/kg, 4 µmol/kg et 0.4 µmol/kg respectivement) ; ainsi qu'une réponse temporelle de 2 secondes à 25°C et de 5 secondes à 0°C.

Les numéros de série des différents capteurs utilisés pendant la campagne sont reportés dans le Tableau 2 (date de calibration).

Tableau 2 : date de calibration des capteurs SBE19-01

Pré-calibration	ID capteur
Temp (07-04-2004)	839
Cond (07-04-2004)	839
Pression (15-04-2004)	149842
Oxygène (10-08-2001)	230496

3.1.2 Déroulement des travaux

31 stations hydrologiques profondes ont été effectuées.
 La sonde 911+ a été utilisée pour 24 stations : 0 à 20, 22, 28 à 30
 La sonde SBE 19 a été utilisée pour 7 stations : 21, 23 à 28
 La station 28 a été effectuée avec la sonde SBE19 montée simultanément sur la rosette avec la SBE911+ pour permettre de tester la reproductibilité des mesures entre les deux sondes.
 Les profils de descente sont utilisés en priorité pour fournir les données de température, salinité et oxygène exploitable scientifiquement. Pour la station test (station 0), seul le profil de remontée a été utilisé car le profil de descente présentait de nombreuses valeurs nulles entre 120 et 160m.

3.1.3 Acquisition des mesures

Les données mesurées par la sonde ont été acquises à l'aide du logiciel SEASOFT (version 5.29a) fourni par le constructeur de la sonde. Lors d'un profil, les mesures de la sonde, effectuées à la fréquence de 24 Hz, sont transmises à un micro-ordinateur (de type PC) d'acquisition via le programme SEASAVE. Une fois la station terminée, une procédure de traitement préalable préconisée par le constructeur est appliquée aux données des profils de descente et de montée (Pour plus de détails sur ces procédures, se référer au document SEABIRD relatif au logiciel, mentionné dans les références bibliographiques).

La procédure exécutée à la suite des programmes suivants du logiciel SBE data processing (5.33):

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

- ALIGNCTD : ce programme recalcule dans le temps les mesures relatives à l'oxygène par rapport aux mesures de pression.

Sonde SBE911+ : T: 0.; C: 0.0; Oxyg: 2 (notice SBE)

Sonde SBE 19 : T: 0.5; C: 0.0; Oxyg: 4 (notice SBE)

- CELLTM : Correction de l'effet de pression sur la conductivité

Sonde SBE911+ : alpha=0.03 ; tau=7.0 (notice SBE)

Sonde SBE19: alpha=0.04 ; tau=8.0 (notice SBE)

- FILTER : ce programme applique un filtre ‘passe-bas’ à la conductivité et à la pression; ainsi qu’à la température, la température d’oxygène et le courant d’oxygène.

Sonde SBE911+ : 0.03s sur la pression, 0.15s sur les autres (notice SBE)

Sonde SBE19 : 2s sur la pression, 0.5s sur les autres (notice SBE)

- LOOPEDIT : Les à-coups sur la sonde dus au fort tangage du bateau génèrent des anomalies dans les profils, la masse d’eau entraînée par la rosette dépassant cette dernière lors des fortes décélérations, en descente. Ce programme vérifie si le déplacement vertical de la sonde est correct pour effectuer les mesures. Il repère les mesures 1) dont la variation de pression est opposée au déplacement vertical moyen (descente ou montée) ou 2) pour lesquelles la vitesse verticale est inférieure à un seuil que l’on fixe.

Sonde SBE911+: retire les mesures associées à une vitesse descente inférieure à 0.5 m/s

Sonde SBE19 : retire les mesures associées à une vitesse descente inférieure à 0.25 m/s

- DERIVE : Calcul de la salinité et de l’oxygène

- BINAvg : ce programme effectue une moyenne sur la verticale des mesures et supprime les mesures ‘mauvaises’ repérée par BINAvg. Ici, la moyenne est effectuée en fonction de la pression tous les décibars.

Sondes SBE911+, SBE19 : 1 m

- SPLIT : Séparation des profils de descente et de montée.

- ROSSUM :

SBE911+ : 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.

3.1.4 Contenu et format des fichiers générés

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

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

```
SECALIS 3
STRNBR 12 CASTNO 1 NO.RECORDS 1998
DATE: Jul 15 2005 23:04:59
LATITUDE: 12 14.370 S LONGITUDE: 161 10.390 E
CTDPRS CTDTMP CTDSAL CTD OXY CTD OXY QUALT1
DBAR ITS-90 PSS-78 ML/L UMOL/KG
*****
7.00 27.6707 34.6497 4.13 180.30 2211
8.00 27.6703 34.6498 4.15 181.24 2211
9.00 27.6699 34.6498 4.14 180.87 2211
10.00 27.6707 34.6498 4.15 181.49 2211
11.00 27.6701 34.6499 4.14 180.73 2211
12.00 27.6714 34.6497 4.10 179.18 2211
13.00 27.6693 34.6495 4.11 179.41 2211
14.00 27.6684 34.6495 4.07 178.01 2211
15.00 27.6685 34.6497 4.09 178.78 2211
16.00 27.6683 34.6495 4.11 179.44 2211
```

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.
- 3^{ème} ligne : date, et heure (TU).
- 4^{ème} ligne : position (degrés, minutes.centièmes).
- 5^{ème} ligne : code des paramètres (p, T, S, O2, nombre de mesures considérées pour le calcul des valeurs, code de qualité des valeurs)
- 6^{ème} ligne : unité des paramètres.

La signification des codes de qualité est la suivante :

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

A noter que les mesures sont fournies tous les décibars.

3.1.5 Calibration de la température

- Sonde SBE911+

Les deux capteurs utilisés simultanément pour tous les profils réalisés avec la sonde SBE911+ ont été calibrés par SeaBird en septembre 2004 et en janvier 2006 (cf. tableaux 1). Les capteurs de température et de conductivité de la sonde ont donc été étalonnés 9 mois avant la campagne. Une période de 16 mois s'est écoulée entre les deux calibrations.

La dérive pour le capteur #1, de l'ordre de 1.77 mdegC/an, est très faible. Compte tenu de la faible dérive de ce capteur entre les deux étalonnages, la température du capteur 1 a été uniquement rejouée avec les coefficients de la post-calibration plus proche des dates de la campagne.

- Sonde SBE19

Les capteurs de température et de conductivité de la sonde avaient été calibrés par SEABIRD 8 mois avant la campagne.

Pour la SBE19, les mesures ont été recalées avec celles plus précises de la sonde SBE911. Pour cela, on utilise la station 28 qui a été réalisée avec la sonde SBE19 montée simultanément sur la rosette avec la SBE911+ comme station de référence pour déterminer les coefficients de fit en température et vérifier le bon accord entre SBE19 et SBE911. Les mesures calibrées de la SBE911 à 25 niveaux (20 50 100 150 200 300 400 450 500 550 600 650 700 750 800 850 900 950 1000 1050 1100 1150 1200 1250 1300 dbars) ont été utilisés comme référence (équivalent aux échantillons bouteille dans les routines de calibration).

Une régression linéaire a été effectuée sur la température à partir des 25 points par méthode itérative en éliminant des points excédant 2.8 fois l'écart-type.

temp_référence (pression_référence) versus temp_sbe19 (pression_référence)
 coeff du fit: A1t= 0.99992; A0t= -.00254;

Chaque profil de descente a ensuite été corrigé de la manière suivante:

- Température_corrigeé = A0t + A1t * temp_sbe19

3.1.6 Calibration de la Salinité

- Sonde SBE911+

Les deux capteurs utilisés simultanément pour tous les profils réalisés avec la sonde SBE911+ ont été calibrés par SeaBird en septembre 2004 et en janvier 2006 (cf. tableau 1). Pendant cette période, la conductivité du capteur 1 a dérivé de 0.0012 S/m (pour 5 S/m); ce qui implique une dérive en salinité de -0.004 PSU/mois. Le capteur #2, quant à lui, a dérivé deux fois plus que le capteur #1 sur la même période. Par la suite, les corrections seront apportées sur les données de conductivité du capteur #1 en considérant une dérive linéaire dans le temps entre la pré et la post calibration. Les données de salinité seront alors calculées à partir des données de conductivité corrigée de cette dérive.

- Sonde SBE19

La même procédure que pour la température a été utilisée pour la conductivité (i.e Section 1.5). Les mesures ont été recalées avec celles plus précises de la sonde SBE911 en utilisant la station de référence 28 dont les mesures ont été obtenues simultanément à partir des deux sondes. Une régression linéaire entre les 2 types de données permet de déterminer les coefficients de fit en conductivité :

cond_référence(pression_référence) versus cond_sbe19(pression_référence)

coeff du fit: $A1t= A1c= 1.0010$; $A0c= -.001412$;

Chaque profil de descente a ensuite été corrigé de la manière suivante:

- Conductivité_corrigeé = $A0c + A1c * cond_sbe19$
- La salinité est obtenue à partir des deux quantités de température et de conductivité corrigées.

3.1.7 Précision des mesures

3.1.7.1 Salinité comparé aux échantillons bouteilles (SBE911+)

Normalement, les mesures de conductivité du profil de montée sont calibrées à l'aide des mesures effectuées à partir des échantillons d'eau de mer prélevés pendant la remontée de la rosette lors de chaque profil. Pour cette campagne, nous ne disposons pas de l'échantillonnage vertical nécessaire pour effectuer une telle calibration, et la visualisation des écarts entre les conductivités des échantillons d'eau de mer et les mesures brutes de conductivité du profil de montée de la sonde ne permettent pas de corriger les données. Nous n'avons pas pu corriger les valeurs de conductivité en utilisant les prélèvements bouteille. L'analyse en salinité des échantillons est utilisée ici pour estimer la précision des mesures de la sonde. Pour cela, les écarts entre les valeurs d'analyses et les valeurs de la sonde sont calculés pour les eaux profondes vers 2000 m.

La figure 2 montre que les écarts entre les valeurs d'analyses issues des prélèvements par bouteille et les valeurs de la sonde sont faibles, compris entre +/- 0.0025. Cette comparaison est basée sur 20 échantillons à 2000 m. Ces résultats montrent que les mesures après recalage ont la précision requise (0.003).

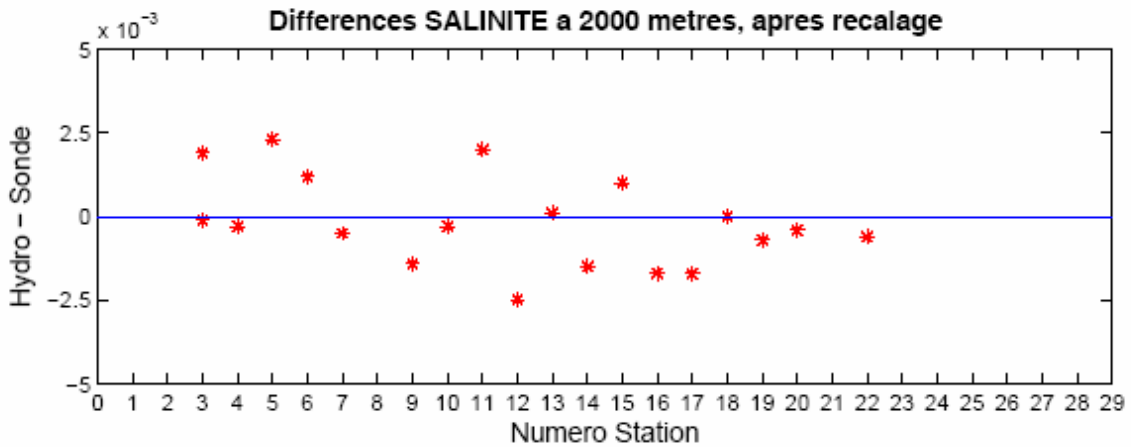


Figure 2 : écarts entre les valeurs de salinité à 2000 m issues de l’analyse des échantillons bouteille et de la sonde après recalage.

3.1.7.2 Comparaison des stations par paires (SBE911+)

La comparaison des profils de température et salinité par paires de stations est effectuée (2 à 2 pour des stations proches pour des températures potentielles inférieures à une valeur critique (2.2, 2.3 ou 2.5°C) ou bien des profondeurs inférieures à une profondeur critique (1800 ou 1900 mètres).

Les moyennes des différences en température (Tableau 3) pour les différentes paires de station varient entre 0.00023°C et 0.1045°C avec plus de la moitié des comparaisons inférieures à 0.02°C. En salinité les différences varient entre 0.00035 PSU et 0.00813 PSU avec plus de la moitié des comparaisons inférieures à 0.004 PSU.

STATIONS	NPT	TEMP	THETA	SAL	
3	4	62	0.00927	0.00913	0.00266
4	5	77	0.04977	0.04904	-0.00388
5	6	148	0.05933	0.05848	-0.00556
6	7	134	-0.06996	-0.06896	0.00649
7	8	64	-0.05861	-0.05776	0.00690
8	9	63	0.06024	0.05937	-0.00813
9	10	111	-0.01859	-0.01832	0.00319
10	11	93	-0.00023	-0.00023	0.00035
11	12	96	-0.00963	-0.00949	0.00063
12	13	112	-0.00660	-0.00651	0.00129
13	14	114	0.08584	0.08459	-0.00519
14	15	140	-0.00632	-0.00623	-0.00267
15	16	140	0.05547	0.05467	-0.00250
16	17	210	0.00448	0.00440	0.00413
17	18	138	-0.10459	-0.10307	0.00690
18	19	106	-0.01865	-0.01838	0.00142
19	20	105	0.03792	0.03737	-0.00549

Tableau 3 : Moyenne des écarts par paire de stations proches, de température et de salinité pour les profondeurs communes et les températures inférieures à 2.3°C.

3.1.7.3 Comparaison avec les salinités co-localisées de la campagne SECALIS2

Seulement deux stations profondes sont communes aux campagnes Secalis2 (Ganachaud et al., 2002) et 3 : une à l’extrémité nord du reef Nord Calédonien (17°49’S-

163°09'E) et une autre aux abords de Santo (15°38'S-166°36'E). Ces 2 campagnes ont eu lieu à des saisons différentes, décembre 2004 pour Secalis2 et juillet 2005 pour Secalis3. Pendant Secalis 2, les mesures ont été effectuées uniquement avec la sonde SBE19 moins précise que la sonde SBE911+ utilisée pour la station de Secalis 3 au nord de la Calédonie. En profondeur, les écarts en salinité pour ces deux stations sont dans la fourchette de tolérance requise de +/-0.005 PSU, tout à fait raisonnable si l'on considère l'utilisation de la SBE19 (Figure 3).

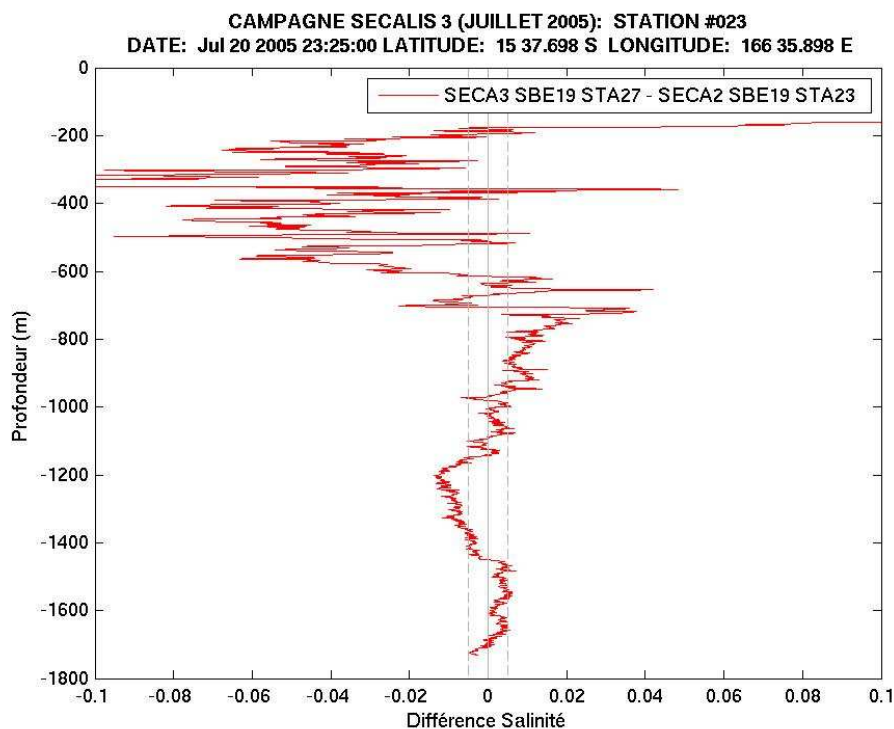


Figure 3 : différence de salinité pour la station commune entre Secalis2 et Secalis3 aux alentours de Santo.

3.1.7.4 Comparaison à la climatologie du CSIRO (CARS)

La climatologie CARS (Dunn and Ridgway, 2002) est disponible sur <http://www.marine.csiro.au/dods/nph-dods/dods-data/bluelink/cars2006/>. La pauvreté des données existantes dans cette région limite la comparaison avec la climatologie. Un exemple de comparaison à la climatologie est donné pour la station 10 : 13°35S-161°42E (Figure 4). Pour le calcul des statistiques, chaque sonde est considérée individuellement. Les comparaisons par stations individuelles montre des différences en profondeur qui, statistiquement sur l'ensemble des stations, n'excède pas 0.005 PSU et 0.004°C (Figure 5) pour les deux types de sondes.

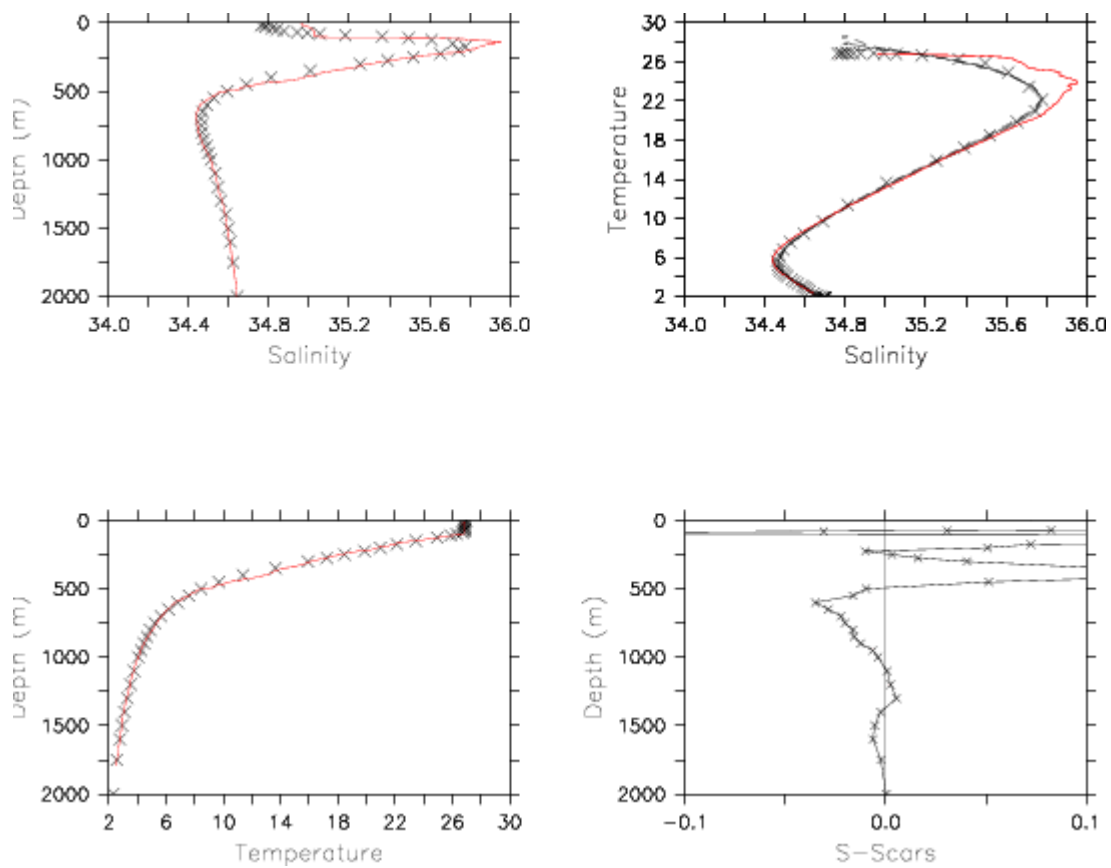
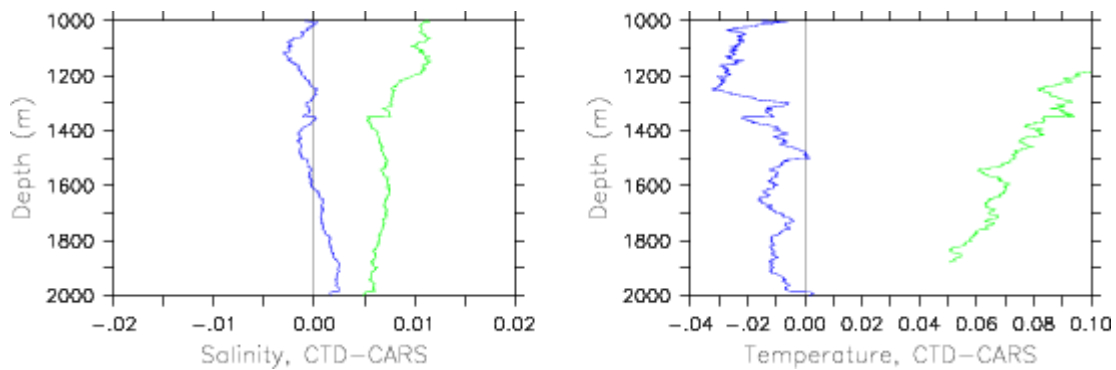


Figure 4 : Comparaison des température et salinité de la station 10 (13°34S-161°41E), après traitement, avec la climatologie CARS (Rouge : CTD ; noir : CARS)

SBE 911 :



SBE 19 :

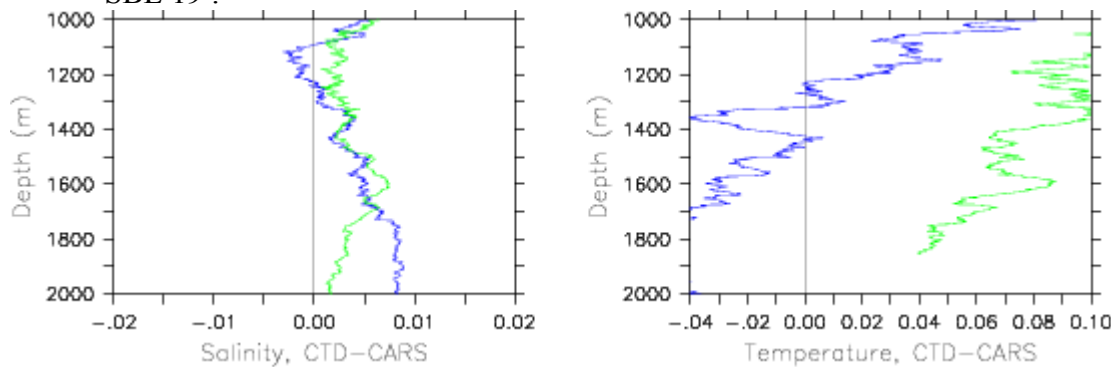


Figure 5 : statistiques des déviations de salinité et de température entre les données CTD (haut : SBE 911+ et bas : SBE 19) et CARS : écart moyen en bleu et écart type des déviations en vert.

3.1.8 Calibration de l'Oxygène

Nous suivons les méthodes et outils décrits dans McTaggart et Johnson (1997). La calibration a été effectuée au Pacific Marine Environmental Laboratory (PMEL). Les codes utilisés sont ceux du PMEL.

-Sonde SBE 911+

Le capteur SBE13 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 (température d'oxygène) ce qui permet de déduire la concentration en oxygène. Le capteur permet des mesures de 0 à 650 $\mu\text{mol/kg}$ avec une précision nominale de 4 $\mu\text{mol/kg}$ et une résolution de 0.4 $\mu\text{mol/kg}$. Le temps de réponse du capteur est de 2s à 25°C et de 5s à 0°C.

Les mesures d'oxygène sur échantillons bouteilles sont utilisées pour effectuer la post-calibration. Le capteur d'oxygène ayant un fort hystérésis entre la descente et la montée, le programme du PMEL OXDWNP.m a été modifié pour replacer les données bouteille prélevées lors de la montée aux niveaux correspondants lors de la descente à la même densité. Le remplacement en densité est utilisé pour éliminer les perturbations dues aux ondes internes jusqu'à 7m de déplacement des isopycnes entre la montée et la descente de la sonde lors de cette campagne. La dérivée temporelle du courant d'oxygène a été calculée par le programme SEASOFT par intervalles de 2s, puis filtré par un filtre médian sur 5m (programme MERGE_CTDBTL_CHIMIE.m). La saturation en oxygène a été calculée suivant Benson et Krause (1984).

Pour la station 0, les profils de remontée en température et salinité ont été choisis à la place des profils de descente mais la calibration en O₂ des profils de remontée est d'autant plus gênante que la rosette s'arrête pour fermer les bouteilles ce qui perturbe les temps de réponse qu'on essaie justement d'ajuster. Il a donc été décidé de joindre l'oxygène du profil descente calibré aux les données TS de montée en faisant correspondre les densités. De cette manière on "perd" l'oxygène montée entre 120 et 172m, mais le profil de montée indique un oxygène quasi-constant donc une interpolation très réaliste. Les propriétés des eaux (TS /T02/ S02) sont ainsi préservées.

L'algorithme utilisé pour la calibration du capteur d'oxygène fait appel à une régression non-linéaire pour déterminer le meilleur ajustement du modèle de comportement du capteur d'oxygène aux valeurs mesurées par échantillon (Owens et Millard 1985). Le programme correspondant de WHOI oxfitmr.m utilise les routines Fortran de Numerical Recipes (Press et al. 1986) MRQMIN, MRQCOF, GAUSSJ, et COVSRT pour effectuer la régression non linéaire moindre carrés par la méthode de Levenberg-Marquardt. Une subroutine Fortran FOXY décrit le modèle d'oxygène avec les dérivées du modèle par rapport à six coefficients dans cet ordre: pente de courant oxygène (slope), correction en température (tcor), correction en pression (pcor), poids (wt), biais de courant d'oxygène (bias) et décalage de courant d'oxygène (lag).

Le programme OXFITMR lit les données pour un groupe de stations. Les données sont éditées pour enlever les points négatifs ou excédant 1.2 fois la valeur de saturation. La routine fait varier les six (ou moins) paramètres du modèle de manière à obtenir un minimum sur la somme des déviations oxygène bouteille-oxygène calculé. Les différences individuelles entre les oxygènes bouteille et les oxygènes calculés (les résidus) sont comparées avec l'écart type des résidus. Tout résidu excédant un facteur de 2.8 écart types est rejeté, ce qui correspondrait

à un risque de rejet de 0.5% d'une bonne valeur dans le cas d'une distribution normale. Le processus d'ajustement itératif est répété jusqu'à ce que toutes les données entrent dans ce critère. Le meilleur ajustement du modèle de capteur d'oxygène est alors déterminé. Les coefficients sont alors appliqués avec le programme Fortran du PMEL CALOX2W et les oxygènes CTD sont calculés en utilisant la subroutine OXY6W.

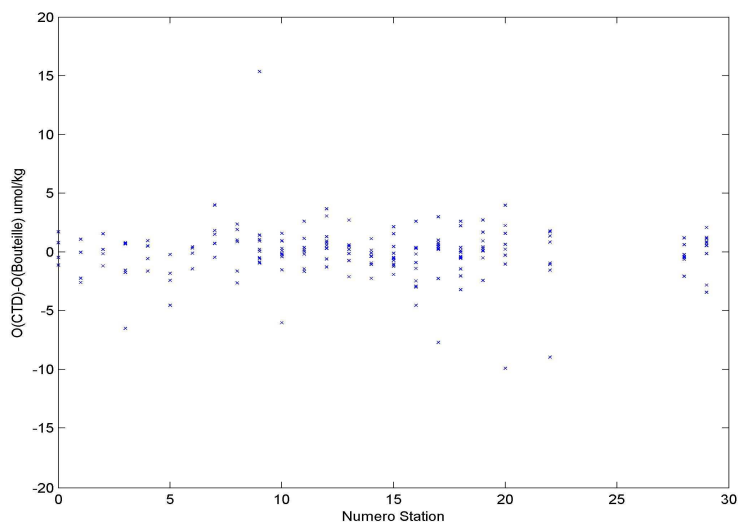


Figure 6: Résidus oxygène après calibration (différence CTD-bouteille) en $\mu\text{mol/kg}$ en fonction du numéro de station.

Un graphique des résidus d'oxygène par station permet de grouper les stations pour améliorer l'ajustement en recherchant les changements abrupts d'une station à l'autre. Ce processus requiert plusieurs itérations pour optimiser les groupements. Les coefficients sont ensuite appliqués au profil complet de descente CTD en utilisant le programme PMEL OXYCALC.m. Les regroupements sont indiqués Table 1, ainsi que les coefficients de calibration.

Stations	Bias	Slope	Pcor	Tcor	Wt	lag	Résidu moyen \pm écart type
0-8	0.061	0.2650E-02	0.1418E-03	-0.2167E-01	0.1125E+01	0.3246E+01	0.024468 \pm 1.185909
9-20	0.076	0.2566E-02	0.1250E-03	-0.2120E-01	0.1210E+01	0.1475E+01	0.012029 \pm 1.432226
22, 27, 29	0.031	0.2798E-02	0.1626E-03	-0.2280E-01	0.1167E+01	0.1383E+01	0.037796 \pm 1.273717

Tableau 4: coefficients de calibration calculés par groupements de station, et résidus en $\mu\text{mol/kg}$ (CTD-Prélèvements après ajustement)

Pour les stations 22, 27 et 29, la configuration en profondeur et le nombre de données ne permet pas à l'algorithme de converger en ajustant les six paramètres. Nous avons utilisé les paramètres estimés à partir des stations 9 à 29 et permis uniquement l'ajustement du paramètre « slope » sur ces trois stations, le plus à même de varier par évolution physique de la membrane de mesure, pour améliorer la régression sur ces trois stations.

Les valeurs d'oxygène CTD sont filtrées en enlevant manuellement les pics par interpolation avec le programme CLEANOX.m. Pour la campagne Secalis-3, les pics ont été retirés de la station de calibration uniquement (station 0 entre 120dbars et 172dbars).

Les différences entre oxygène bouteille et CTD en fonction des numéros de station sont données Figure 6, montrant la stabilité de l'ajustement dans le temps. Les résidus sont en dessous de la précision nominale du capteur d'oxygène. Ces mêmes résidus en fonction de la profondeur (Figure 7) montrent l'évolution de la stabilité des mesures en dessous de 1000 mètres. La distribution des écarts est relativement bien centrée à toutes les profondeurs (Figure 8).

Les fichiers générés sont en ASCII utilisant le format suivant, similaire à WOCE WHP, ou le code qualité 2 est donné pour les mesures d'oxygène qui ont été calibrées.

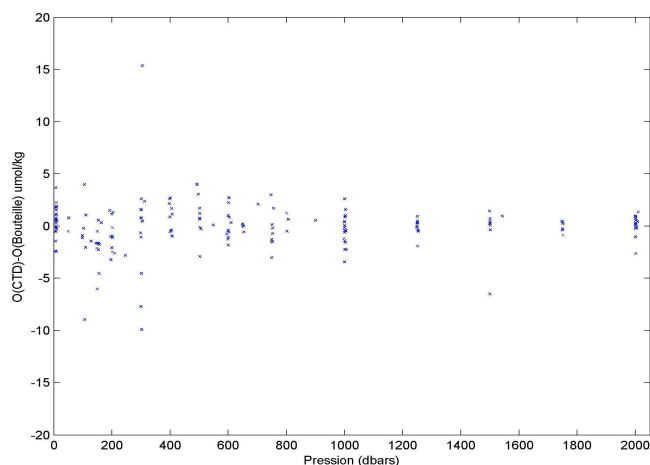


Figure 7. Résidus oxygène après calibration, différence CTD-bouteille, en fonction de la profondeur, toutes stations confondues (en $\mu\text{mol}/\text{kg}$).

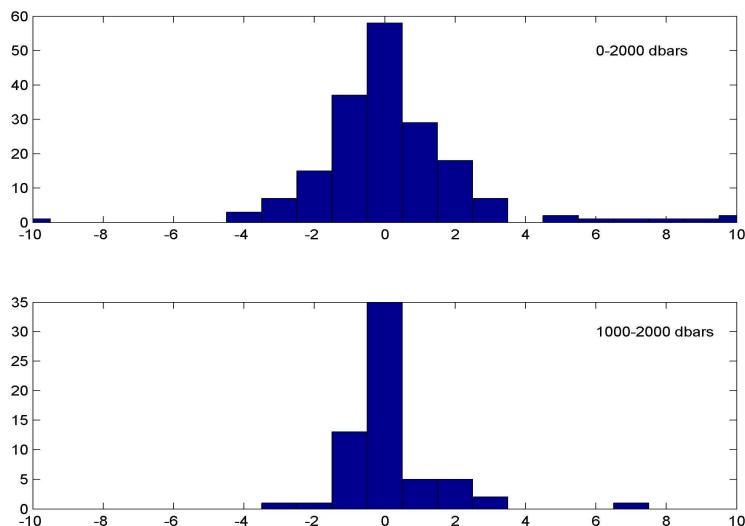


Figure 8: Histogramme des écarts entre les valeurs d'oxygène dissous issues de l'analyse des échantillons et des mesures de la sonde après calibration. Ces écarts sont considérés de la surface au fond (en haut) et de 1000 dbar au fond (en bas). Toutes mesures confondues.

- Sonde SBE 19

Les stations 21 et 23-27 ont été effectuées avec la sonde autonome SBE19, sans prélèvements bouteille. La station 28 a été effectuée avec la sonde SBE19 montée sur le châssis de la SBE911 permettant une calibration adéquate de la SBE19 pour cette station. La méthode est la même que précédemment, en utilisant les données oxygène-CTD/SBE911 calibrées tous les 50m comme référence (Figure 9). Les coefficients de calibration ont été obtenus après plusieurs essais (Table 2), les résidus les plus faibles ayant été obtenus en ajustant dans l'ordre slope, pcor et tcor, les autres paramètres ayant été maintenus fixes (calibration d'origine). Les résidus sont indiqués Figure 10. La structure résiduelle entre 600 et 1400m n'a pu être éliminée. Elle reste inférieure à 2 $\mu\text{mol}/\text{kg}$ cependant.

Stations	Bias	Slope	Pcor	Tcor	Wt	lag	Résidu moyen \pm écart type
28	-0.022	0.1268E-03	0.1501E-03	-0.3167E-01	0.85E+00	0.20E+01	-0.004590 \pm 1.201267

Tableau 5: coefficients de calibration calculés pour la SBE19, station 28, et résidus en $\mu\text{mol}/\text{kg}$ (SBE19-SBE911 après ajustement)

Ces coefficients sont appliqués aux stations 21, et 23 à 27. La figure 11 montre les profils individuels en comparaison avec la station de calibration ainsi que plusieurs stations SBE911. Ces profils, tout comme les sections qui suivent, correspondent à des gradients horizontaux d'oxygène qui peuvent être identifiés dans les deux sondes. Les profils SBE19 peuvent donc être considérés comme données « réalistes ». Nous leur attribuons cependant le flag de qualité 3, « mesures douteuses », car elles ne bénéficient pas suffisamment de référence bouteilles, en particulier pour les profils en dessous de 1350m-profondeur de la station 28.

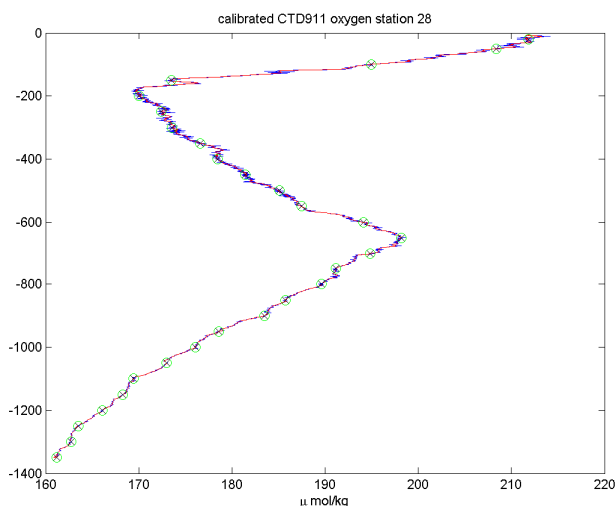


Figure 9: Station 28, données CTD-911 utilisées pour calibrer la sonde SBE 19. Les « équivalents bouteilles » sont indiqués par les cercles/croix verts obtenu à partir du profil CTD911 filtré (rouge). Le profil CTD911 non filtré apparaît en bleu.

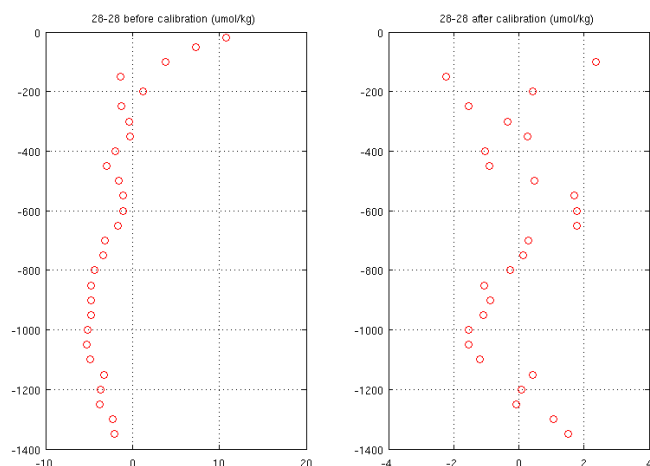


Figure 10: Station 28, résidus CTD19-CTD911 avant calibration (gauche) et après calibration (droite).

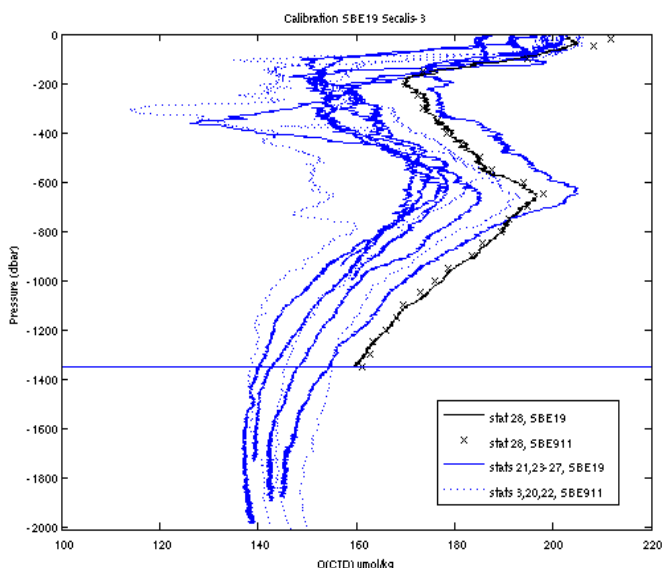


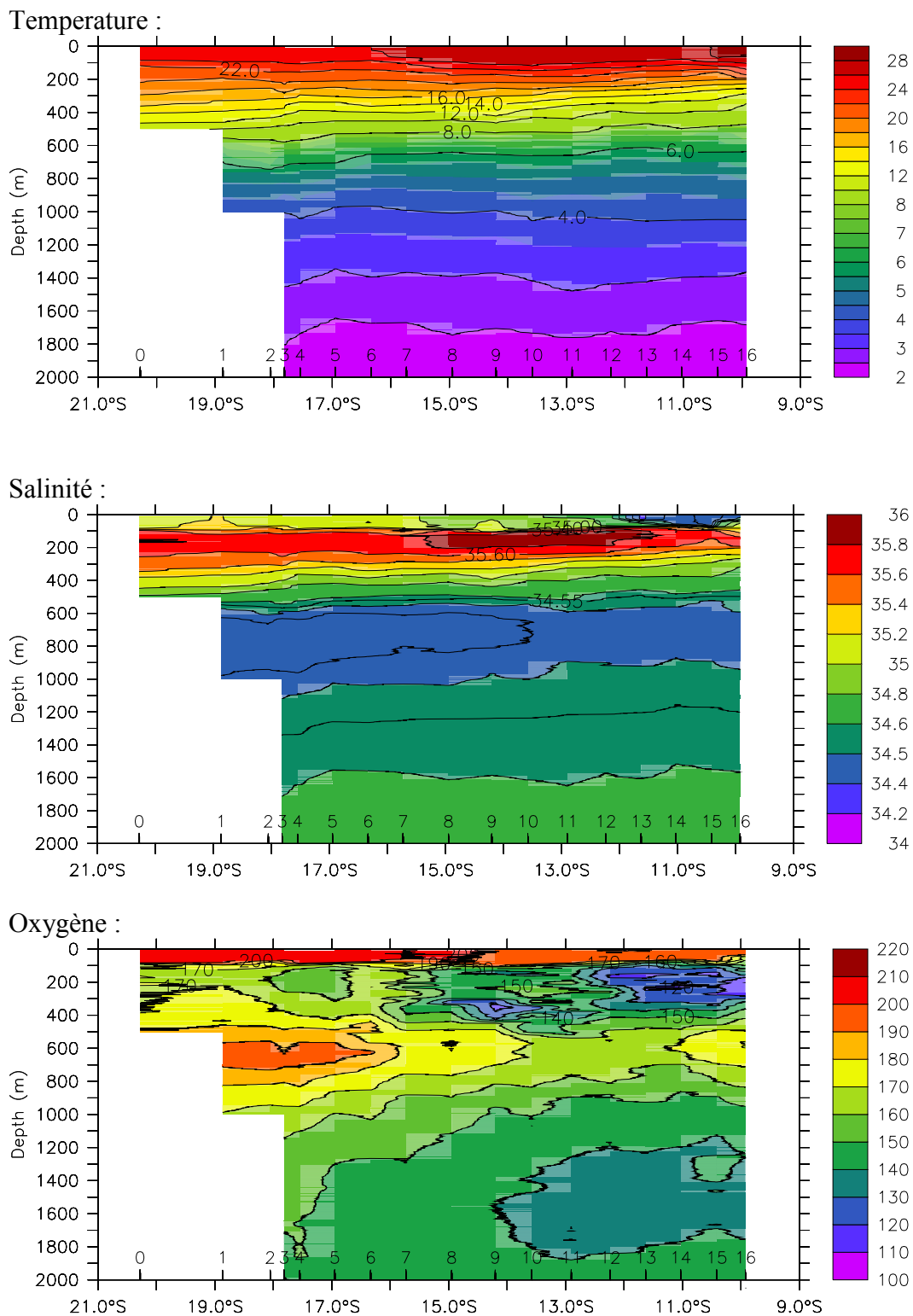
Figure 11: Profils calibrés des stations CTD 19 (lignes); profils calibrés de la sonde CTD 911 (pointillés) et références de calibration de la station 28 (croix).

3.1.9 Sections de Température, salinité et Oxygène

Les profils individuels CTD sont donnés en Annexe. La figure 12 ci-dessous montre les coupes par sections. Les résultats sont regroupés en trois sections : Section Nord Calédonie-Guadalcanal ; section Guadalcanal-Efate ; section Efate-Nouméa.

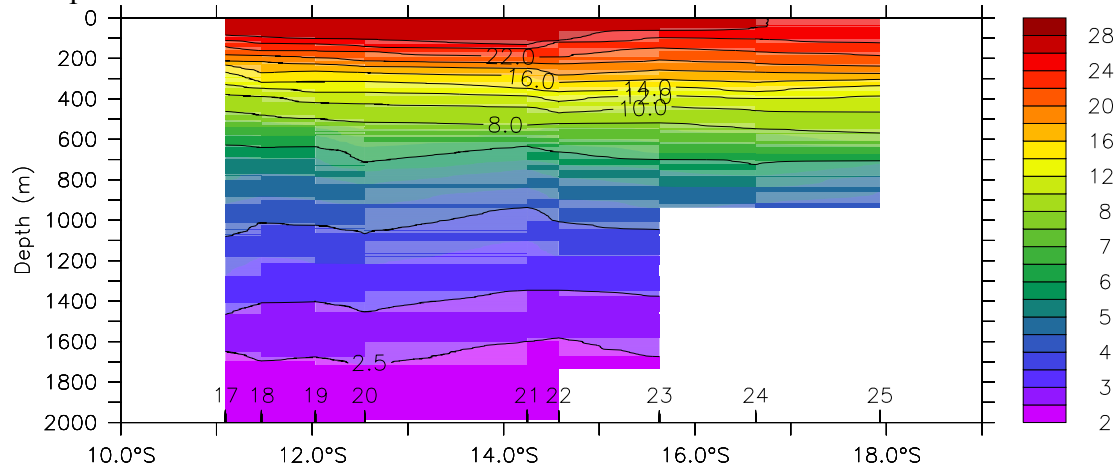
Figure 12 : Sections de température (°C), salinité et oxygène (umol/kg) pour les sections Nord Calédonie-Guadalcanal (a), Guadalcanal-Efate (b), Efate-Nouméa (c)

a) Section Nord Calédonie-Guadalcanal :

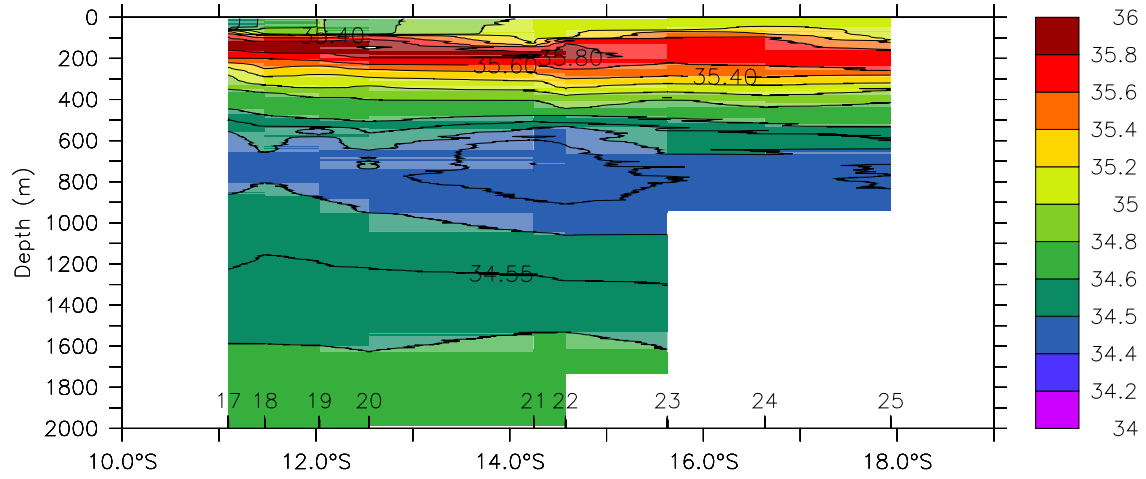


b) Section Guadalcanal-Efate :

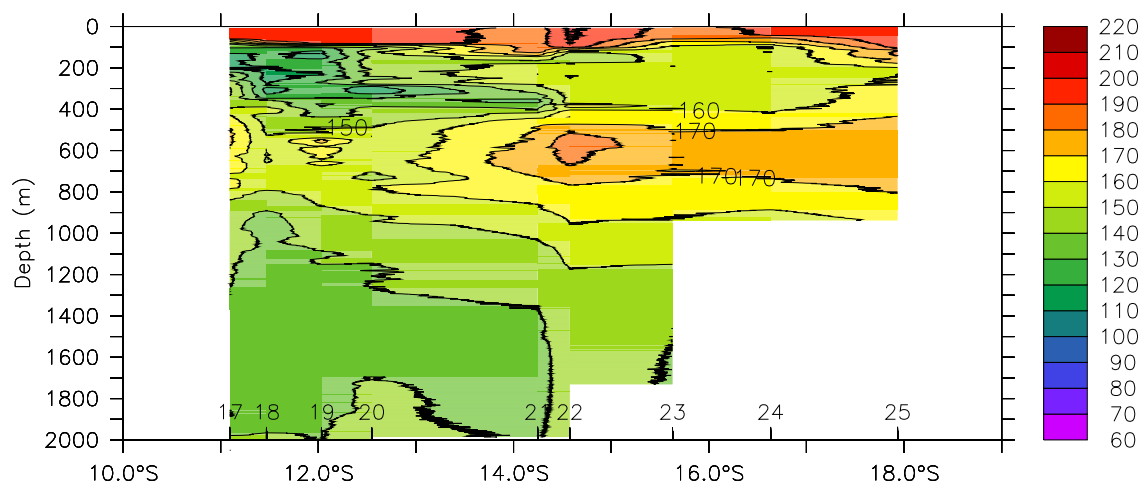
Température :



Salinité :

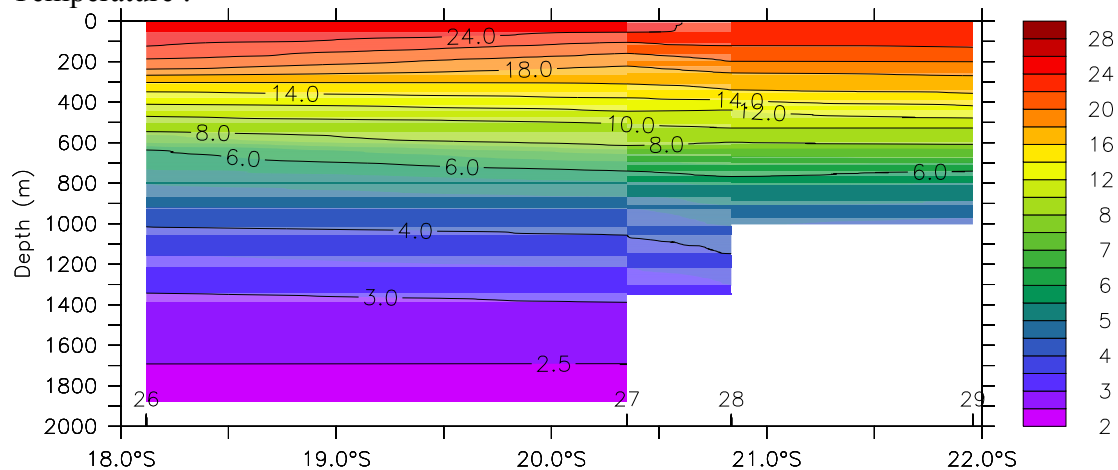


Oxygène :

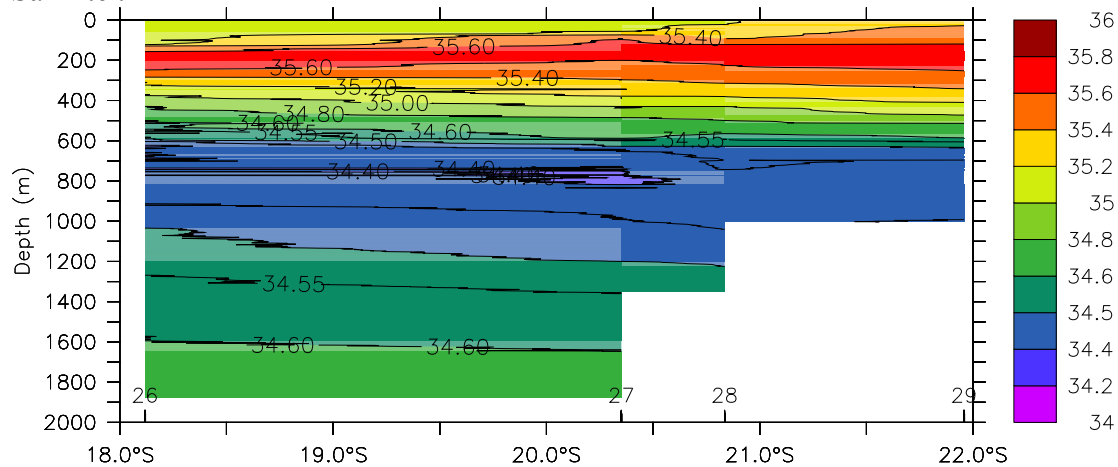


c) Section Efate-Nouméa :

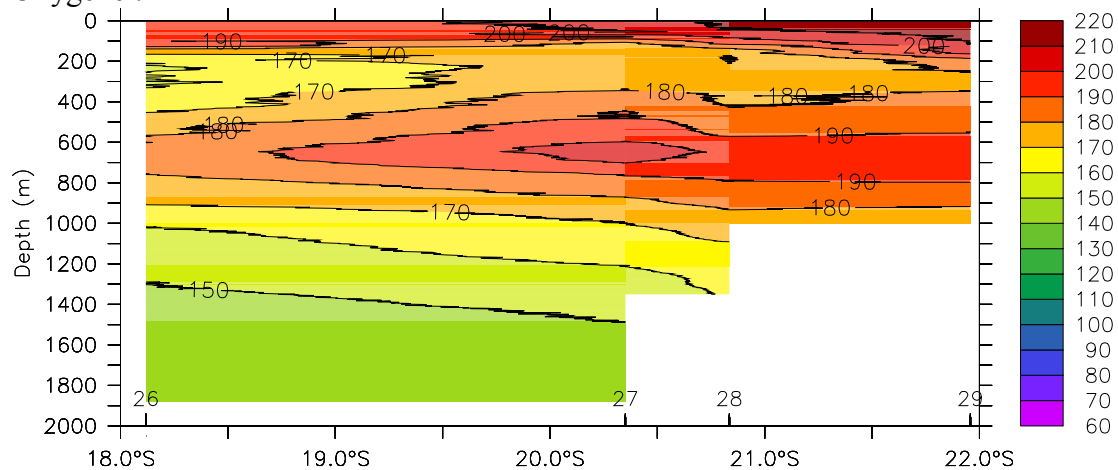
Température :



Salinité :



Oxygène :



3.2 Salinité : Analyse des échantillons

3.2.1 Prélèvement des échantillons

A chaque station des prélèvements étaient effectués à différents niveaux pour l'analyse de la salinité (effectuée à terre). Les prélèvements étaient effectués entre la surface et la profondeur maximum de descente (2000m). Le nombre d'échantillons était limité par le nombre de flacons disponibles. Hormis 2 stations, en début et en fin de mission, qui ont été échantillonnées par les 12 bouteilles disponibles sur la rosette, la plus part des stations ont été échantillonnées pour trois niveaux de profondeur. Cet échantillonnage permet seulement des comparaisons avec les mesures CTD mais ne permettent pas de calibration (voir section **XX**).

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 prélevés uniquement pour les stations utilisant la CTDSBE911 montée sur la rosette, soit 24 stations sur les 30.

Vu l'exiguïté du laboratoire et les problèmes de régulation de température qui varie entre 25°C et 29°C, les analyses n'ont pu être réalisées pendant la campagne. Les échantillons ont été stockés dans le laboratoire humide avant traitement à terre au retour du bateau. Au retour de la mission, les échantillons sont restés stockés au laboratoire avant d'être analysés le 18 août 2006. 89 échantillons ont été analysés.

3.2.2 Procédure d'analyse

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

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

avec:

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

RT : Rapport de conductivité mesuré

T: Température du bain thermostaté du salinomètre

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

Calibration du salinomètre

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

PSU. 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).

Analyse des échantillons

Les 89 échantillons ont été analysés. En fin d'analyse, la stabilité du salinomètre est contrôlée en vérifiant la standardisation avec une nouvelle ampoule d'eau normale. La nouvelle valeur lue est notée sur la feuille d'analyse de la station. En cas de dérive du salinomètre, les valeurs de salinité notées lors de l'analyse des échantillons sont corrigées en admettant une dérive linéaire. Puis une nouvelle standardisation est effectuée avec au moins deux ampoules d'eau normale. La dérive moyenne entre deux standardisations (après analyse de deux stations) est de $-2,1 \cdot 10^{-5} \pm 0,00045$ PSU.

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

La mesure retenue est la moyenne de ces deux lectures.

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

3.2.3 Précision

La précision des mesures est estimée par l'analyse de doublets d'échantillons obtenus à partir de deux bouteilles fermées au même niveau tout au long de la campagne. Pendant cette campagne des doublets ont été faits à la station 3 entre la surface et 2000 m. Pour les 5 doublets disponibles, les précisions sont présentées dans le tableau X. 4 doublets ont une précision inférieure à 0.003 PSU et un doublet présente une différence plus élevée de l'ordre de 0.047 PSU. Le nombre d'échantillon ne permet pas de calculer l'écart type des différences ('Standard deviation' selon le manuel DOE, 1994, par la formule:

$$S = \{ \sum di^2 / 2n \}^{1/2} \quad \text{di: écart entre les doublets; ni: nombre de doublets}$$

Tableau 6 : Présentation des mesures des doublets de salinité

N°Bouteille	T° de prélèvement	Salinité	Différence entre les bouteilles	Pression (dbars)
1	5	34,6410	0,00200000	2000
2	5	34,6390	999.	2000
3	6	34,5220	-0,04700000	1500
4	7	34,5690	999.	1500
7	12	34,6670	0,00300000	500
8	13	34,6640	999.	500
9	22	35,6850	0,00100000	150
10	22	35,6840	999.	150
11	25	35,1350	-0,00300000	5
12	25	35,1380	999.	5

3.3 Oxygène : Analyse des échantillons

3.3.1 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 20 et 26.3°C, pour être ensuite analysés entre 4 à 24h après.

3.3.2 Analyse des échantillons

Mode opératoire

L'analyse est semblable à celles qui ont eu lieu lors de la mission FRONTALIS-3 (Maes et al., 2006a) et SECALIS-2 (Ganachaud et al., 2006). Les préparatifs et une formation ont eu lieu au centre IRD de Nouméa (US-Moyens Analytiques, Léocadie Jamet / Bérengère Vignal). Un manipulateur a effectué les mesures : Alexandre Ganachaud.

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 analyses sont effectuées dans le laboratoire où la température a varié entre 22 et 26.3°C, pendant les analyses.

En milieu basique (obtenu par ajout de KOH, le NaOH/NI n'ayant pas été disponible), le manganèse précipite avec les ions hydroxydes et ce précipité est rapidement oxydé par l'oxygène dissout. La conservation des échantillons jusqu'à 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.

Nous avons utilisé le titroprocesseur 682 Metrohm associé à une électrode de platine et une burette à piston Dosimat 665 Metrohm. La méthode utilisée pour le Metrohm est la Méthode Echantillon dont les paramètres sont les suivants : GET 03 : tit rate : 50ml/V, anticipation 20, stopV 10ml, stopEP# 1, t°: 20°C, EPcrit : 1

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

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

3.3.3 Précautions particulières

Volumétrie

La verrerie utilisée (flacons de prélèvement, dispensettes pour réactifs, pipette automatique, ...) est calibrée suivant le principe de la double pesée et les indications de la balance sont vérifiées puis corrigées par comparaison avec deux séries de poids étalons. Toutes les corrections recommandées par WOCE (température, poussée de l'air,...) ont été appliquées aux pesées. Le volume des flacons de prélèvement est déterminé à $\pm 0,003 \text{ cm}^3$ 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". Pour cette campagne, nous avons préparé 2L de chaque réactif en décembre 2004. Seul le KOH-KI a été de nouveau préparé trois mois avant la campagne.

Le réactif 1, chlorure de manganèse, a été réalisé à 3M (485.64g/l) à partir de $\text{MnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (Merck) pour analyses. Le réactif 2 comprend de la potasse (KOH) à 8M et iodure de potassium (KI) à 4M (KOH/KI à 448g/l pour 8 moles). Le réactif 3 est constitué d'acide sulfurique (H_2SO_4) 10N effectué à partir du produit pur pour analyses. Tous les réactifs ont été stockés dans des flacons de verre ambré muni d'une dispensette délivrant 1ml.

Une solution de thiosulfate de sodium $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 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 de iodate de potassium qui sert de référence pour les mesures est préparée à partir d'une pesée de cristaux dont le degré de pureté ($100 \pm 0,05\%$) est garanti par un certificat d'analyse du fournisseur (BAKER). 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 0.7134g de KIO_3 dans une fiole jaugée de 1000ml dont la normalité est de $2,003 \cdot 10^{-2} \text{ N}$ à 20°C , afin d'obtenir une solution à 0.00333M soit 0.02N. Cette préparation a été conservée en flacon de verre ambré.

3.3.4 Contrôle des réactifs pendant la campagne

Détermination du blanc d'analyse

Quotidiennement, avant la série d'analyses, 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. Les blancs obtenus (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**3) ont une moyenne de 0.014 sur l'ensemble de la campagne.

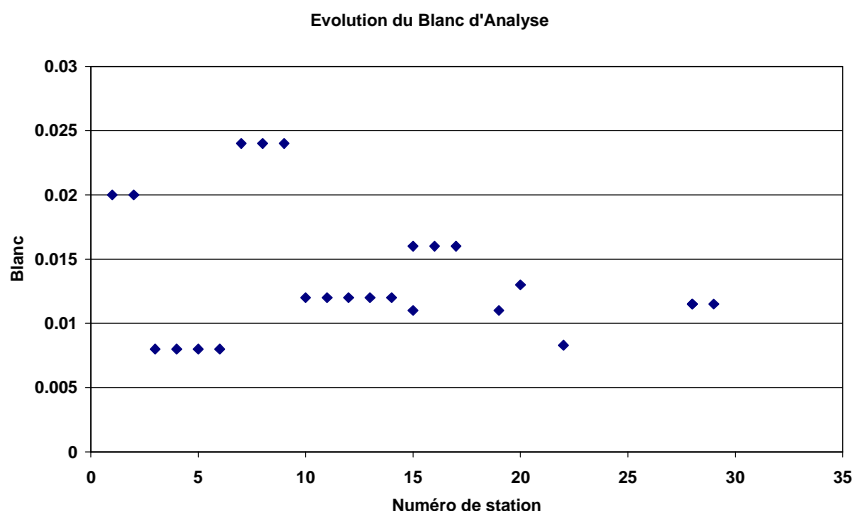


Figure13 : Evolution des blancs d'analyses.

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. La normalité du thiosulfate est obtenue par un dosage quotidien de 5 prises d'essai d'iodate de potassium de référence. La moyenne de ces 5 dosages permet de déterminer la "valeur journalière" de la normalité si l'écart type est jugé acceptable. Dans le cas contraire, une nouvelle série est effectuée. Le suivi quotidien de l'évolution de la normalité du thiosulfate permet de détecter toute anomalie et de procéder à toutes les vérifications avant d'admettre cette valeur applicable aux analyses du jour. La Figure 14 permet de visualiser l'évolution du titre du thiosulfate. On remarque que le titre a légèrement évolué sur l'ensemble de la durée de la campagne.

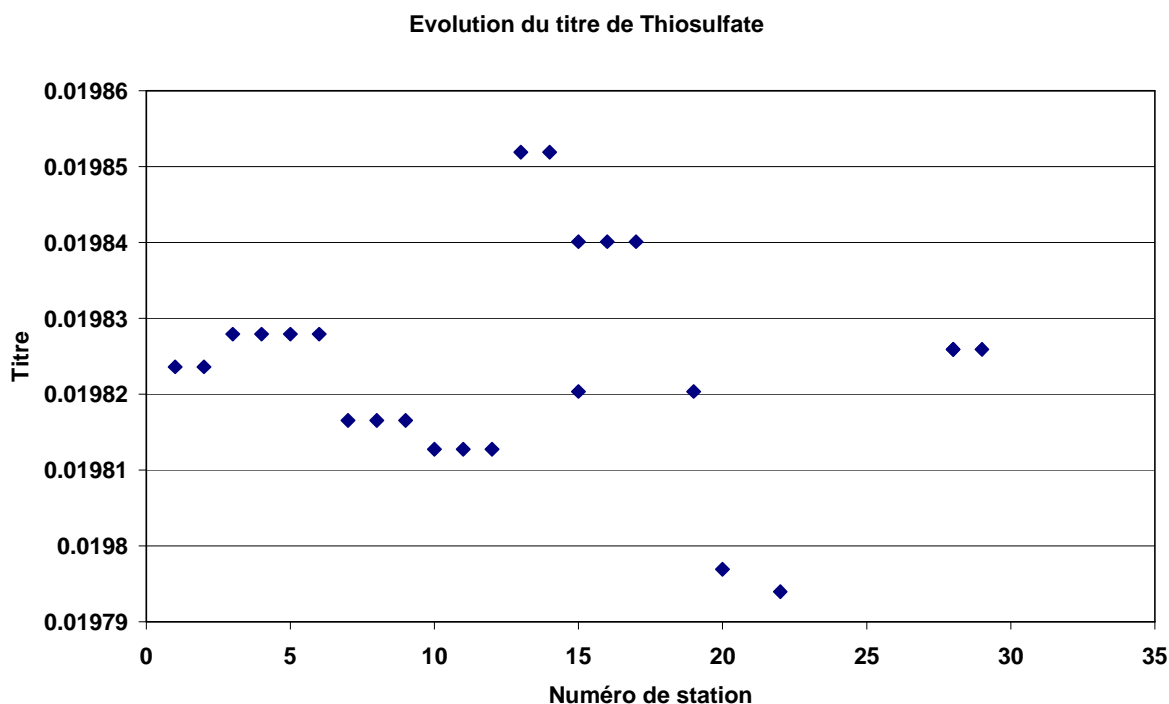


Figure 14 : Evolution du titre du thiosulfate. Il varie entre 1,979.10-2 et 1,985.10-2, soit une très légère évolution de cette normalité tout a fait acceptable.

3.3.5 Détermination de la concentration d'oxygène des échantillons

Les dosages sont effectués à une température moyenne de 24-25°C, ce qui oblige à effectuer les corrections de température sur les volumes des réactifs de iodate et de thiosulfate délivrés. La totalité du volume prélevé étant dosée directement dans le flacon, la concentration d'oxygène est obtenue en utilisant la formule recommandée dans le document WOCE Opération Manual (1994).

$$O_2 \text{ (ml l}^{-1}\text{)} = \frac{(V_x - V_{\text{blk,dw}}) * V_{IO_3} * N_{IO_3} * 5598}{(V_{\text{std}} - V_{\text{blk,dw}})} - 1000 * DO_{\text{reg}}$$

$$(V_{\text{bot}} - V_{\text{reg}})$$

avec:

- V_x = volume de thiosulfate pour le dosage de l'échantillon (cm³)
- $V_{\text{blk,dw}}$ = volume de thiosulfate pour le blanc avec eau distillée (cm³)
- V_{std} = volume de thiosulfate pour la détermination de la normalité (cm³)
- V_{bot} = volume du flacon de prélèvement (cm³)
- V_{reg} = volume des réactifs introduits dans l'échantillon (cm³)

- $V_{\text{IO}_3^-}$ = volume de la prise d'essai du iodate de référence (cm^3)
 $N_{\text{IO}_3^-}$ = normalité de l'iodate
 DO_{reg} = 0.0017 cm^3 , valeur absolue de l'apport d'oxygène par les réactifs (Murray et al, 1968).

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

- $V_{\text{blk,dw}}$ = "valeur journalière"
 V_{std} = "valeur journalière"
 V_{reg} = 2 cm^3 à 20°C (après correction)
 $V_{\text{IO}_3^-}$ = 5 cm^3 à 20°C (après correction)
 $N_{\text{IO}_3^-}$ = $1.99959 \cdot 10^{-2} \text{ N}$

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^{-1} , en micromoles par kilogramme ($\mu\text{mol kg}^{-1}$) en utilisant la formule :

$$\text{O}_2 (\mu\text{mol kg}^{-1}) = \frac{44.660 * \text{O}_2 (\text{ml l}^{-1})}{\rho_{\text{sw}}}$$

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

3.3.6 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. La station « test » (station 0) était "divisée" en 6 bouteilles à 200m et 6 bouteilles à 300m. Un échantillon à 200 m a été rejeté à 200m.

Station	Essai (0)	Essai (0)
Niveau de fermeture des bouteilles	300	200
Nombre de bouteilles	6	5
Valeur moyenne de l'Oxygène ($\mu\text{mol kg}^{-1}$)	167.675	168.921
Ecart type des valeurs mesurées ($\mu\text{mol kg}^{-1}$)	0.236	0.315

On peut donc considérer d'après les résultats de l'ensemble de la station "test", que la précision des mesures de concentration en oxygène dissout durant SECALIS 3 est en moyenne 0,3 $\mu\text{mol kg}^{-1}$.

- 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: 86 doublets ont ainsi été réalisés pendant la campagne. 77 doublets ont été retenus (9 doublets présentant des valeurs aberrantes, probablement suite à des incidents lors des prélèvements, ont été rejetés) à une pression comprise entre 0 et 2000 dbar.

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

$$S = \left\{ \frac{\sum d_i^2}{2n} \right\}^{1/2} \quad \begin{array}{l} d_i: \text{écarts entre les doublets} \\ n: \text{nombre de doublets} \end{array}$$

permet d'estimer la répétitivité des résultats de concentration en oxygène dissout à 0.62 $\mu\text{mol/kg}$. Ce résultat est bien entendu légèrement supérieur à celui obtenu pour la station test, et supérieur aux résultats obtenus lors de la campagne Frontalis-3 (DOE de 0.36 $\mu\text{mol kg}^{-1}$).

3.4 Thermosalinographe

La température et la salinité de surface (ou de la proche surface) ont été mesurées toutes les minutes pendant toute la durée de la campagne par un thermosalinographe (TSG) SBE-21 du fabricant SeaBird. L'acquisition des données TSG et de la position a été réalisée avec le logiciel LabView. Le TSG SBE-21 muni d'un débulleur était identique aux TSG installés par le programme ECOP sur les navires de commerce. L'installation est décrite dans Grelet et al. (1992), Hénin et Grelet (1996) et Prunier-Mignot et al. (1999).

Les capteurs du TSG ont été pré- et post- étalonnés chez Seabird Inc. selon le Tableau ci-dessous les dérives se sont avérées négligeables.

Capteurs	Pré-étalonnage	Post-étalonnage	Dérive
SBE21, T 2776	27/07/2004	11/04/2006	-0.00037 °c/year
SBE21, S 2776	27/07/2004	11/04/2006	+0.0002 Psu/month

Tableau 7 : Dates de pré- et post- étalonnages des capteurs de température et de salinité et dérives avant re-calibration observées entre ces dates (°C/an pour T et équivalent en psu/mois pour la conductivité mesurée à 3.0 S/m)

Les mesures de salinité TSG ont été comparées aux mesures effectuées par prélèvement de surface et aux données de salinité de la CTD SBE911+ pour chaque station (Figures 15,16). Cette comparaison a montré des biais de la sonde SBE21 sur toute la durée de la campagne, différents selon les périodes, avec une valeur moyenne de 0.12 psu. Les données TSG de salinité de surface ont été corrigées en enlevant les tendances linéaires sur les périodes distinctes en utilisant les données de la SBE911+, plus nombreuses que les mesures des échantillons (noter les différences très faibles entre ces deux types de mesures):

Du 11/07/2005 au 14/07/2005 et du 16/07/2005 au 24/07/2005 :

$$\text{Salinité (SBE911+-SBE21)} = 0.0003dt + 0.061$$

Du 14/07/2005 au 16/07/2005 :

$$\text{Salinité (SBE911+-SBE21)} = 0.0119dt + 0.2248$$

La température de la SBE21 présente également un biais chaud de 0.309°C , du au réchauffement de l'eau dans les conduits, par rapport aux mesures de la CTD SBE911+ (Figure 16). Ce biais a été corrigé.

Après avoir enlevé les tendances linéaires sur les périodes distinctes, la moyenne et l'écart type des différences entre mesures TSG et CTD ont été calculées et sont reportées dans le tableau 8.

	<i>Moyenne des différences</i>	<i>Ecart type des différences</i>
<i>Salinité (prélèvements-SBE21, psu)</i>	<i>-0.000091 psu</i>	<i>0.013 psu rms</i>
<i>Température (SBE911+-SBE21)</i>	<i>0.0047°C</i>	<i>0.037°C psu rms</i>

Tableau 8 : Moyennes et écart-types des différences entre les salinités et températures mesurées par TSG (SBE21) et celles mesurées par prélèvements en surface, après correction des mesures TSG basée sur un ajustement aux mesures prélèvements.

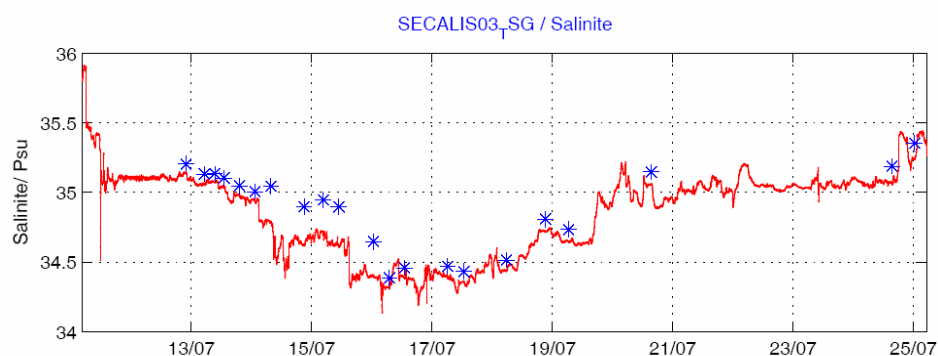


Figure 15 : Comparaison de la salinité du TSG SBE 21 avant ajustement avec les prélèvements bouteille (croix).

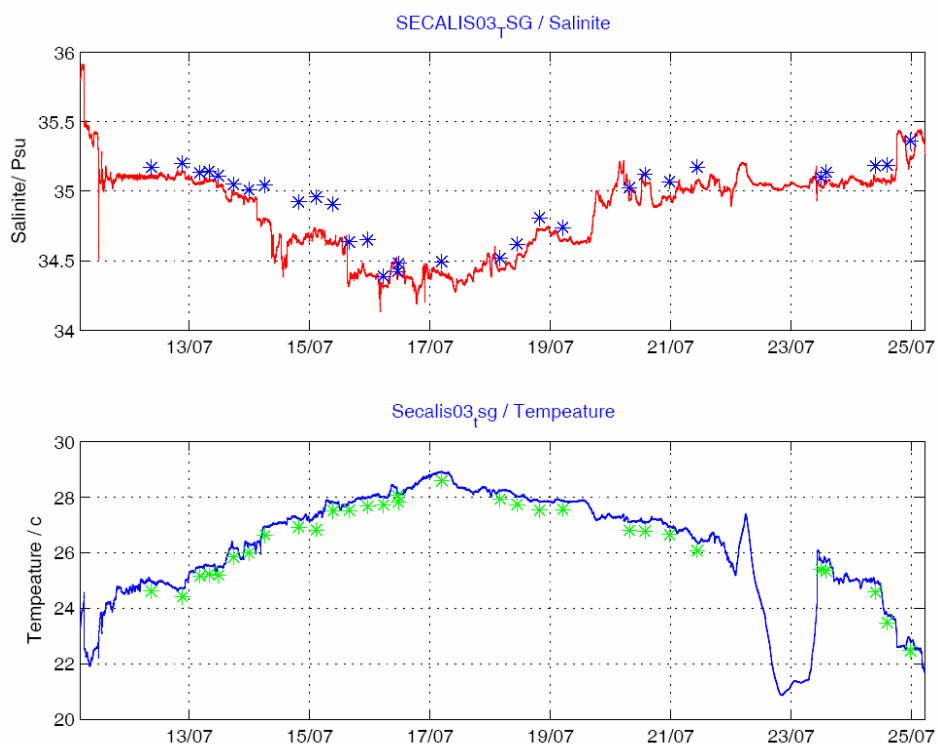


Figure 16 : Comparaison de la salinité et de la température du TSG SBE 21 avant ajustement avec les mesures en station de la CTD en surface (croix).

Les mesures TSG de température et salinité de surface de la campagne sont présentées sur la Figure ci-dessous.

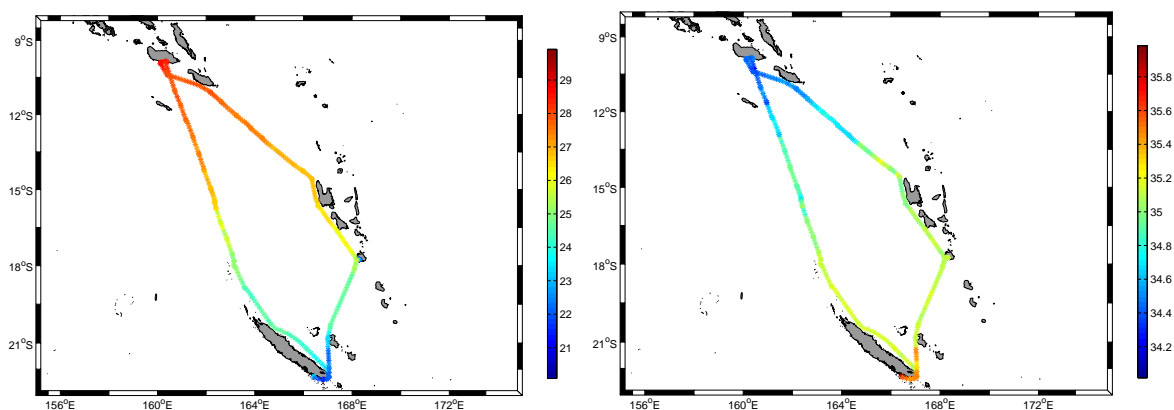


Figure 17 : Température et Salinité de surface du TSG 21 le long du parcours de la campagne.

4. Courantométrie ADCP de rosette (LADCP)

Des mesures de courant absolu en continu de la surface au fond de l’océan sont accessibles depuis quelques années en fixant un courantomètre à effet Doppler sur une bathysonde, le « Lowered Acoustic Doppler Current Profiler », ou LADCP (Fischer et Visbeck, 1993). Le système L-ADCP comporte deux profileurs « Workhorse 300 » (Modèle WH300, numéros de série 3992 et 3777) de la société RD Instruments (RDI), fonctionnant à une fréquence de 300 KHz. Nous décrivons ici brièvement le principe des mesures et leur traitement, avant de présenter les résultats obtenus.

4.1 Principe de la mesure

Ces appareils sont installés sur le bâti de la CTD/Rosette Sea-Bird, un à la base, émettant vers le bas (« looking down»), et un au sommet du bâti, émettant vers le haut (« up looking »). Comme tous les appareils ADCP, ces appareils émettent des trains d’ondes sonores (‘ping’) qui se réfléchissent sur les particules en suspension dans l’eau, supposées sans mouvement propre, et qui se déplacent avec les courants. La différence entre fréquence émise et réfléchi (l’effet Doppler) est proportionnelle à la composante de la vitesse des particules suivant l’axe de propagation de l’onde. Pour obtenir les 3 composantes de la vitesse, 4 faisceaux sont utilisés, inclinés à 30° de la verticale. La configuration tête-bêche permet que l’un des 2 appareils enregistre toujours un profil complet lorsque la bathysonde approche le fond ou la surface.

Pour chaque cycle de mesures, les appareils 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 sont fonction 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 appareils 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. Ces paramètres sont indispensables pour déterminer la qualité des mesures lors du traitement.

Pendant l'acquisition, les mesures de vitesse sont transformées et enregistrées en coordonnées terrestres.

Lorsque la rosette se déplace verticalement, les mesures individuelles des appareils ADCP sont entachées d'un bruit très élevé à cause du mouvement propre tridimensionnel du système. Mais chaque cellule de mesure est sondée 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'.

4.2 Acquisition des mesures

En principe, les 2 WH300 doivent être synchronisés pour « pinger » en même temps, par une option du programme d'acquisition. Systématiquement, avant chaque profil les horloges des ADCP sont contrôlées et l'acquisition initialisée ; après chaque profil, les données sont récupérées et sauvegardées sur PC via liaisons RS-232; la mémoire des WH300 est ensuite vidée et la charge des batteries vérifiée. Un premier traitement des données (voir ci-dessous) est alors effectué.

Si pour les stations 0 à 3, les LADCPs Down et Up fonctionnaient normalement, le LADCP Down est tombé en panne au cours de la station 4 limitant les données à 1600m de profondeur. La panne de l'instrument était associée à un problème d'étanchéité, et l'instrument a été inondé. Un seul instrument a donc été utilisé par la suite augmentant donc grandement l'erreur sur les profils. Il a fallu modifier le système d'acquisition pour travailler avec un seul instrument. Aucun profil n'a été possible pour les stations 5 à 7. Les stations 8 à 11 ont été faites avec l'instrument Up en position Up, et les stations 12 à 29 (sauf 21, 23 à 27 car pas de LADCP) ont été faites avec l'instrument Up en position Down.

La conséquence de l'inondation d'un des instruments a été de mettre en court circuit les packs de batterie. Nous avons alors disposé d'un unique pack de batterie endommagé à partir de la station 8 qui n'avait plus la capacité suffisante pour assurer la descente et la remontée des stations à 2000m. Ainsi, à partir de la station 8, l'acquisition des données au cours des remontées s'arrête brutalement (entre 300 et 900 mètres, selon les stations). Les stations touchées par ces interruptions sont celles pour laquelle la sonde est descendue jusqu'à 2000m, tandis que les stations 28 et 29 atteignant respectivement 1400m et 1100m n'ont pas eu ce problème.

Les paramètres d'acquisition utilisés sont résumés en 9.

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

Tableau 9 : Principaux paramètres d'acquisition

4.3 Traitement des mesures

Le traitement des mesures des appareils L-ADCP a été effectué avec la version v8b du logiciel de Martin Visbeck (<http://www.ldeo.columbia.edu/~visbeck/ladcp/>) adaptée à ce système à 2 ADCPs. Ce logiciel est écrit en MATLAB. Contrairement au VM-ADCP (voir section suivante), le L-ADCP, au cours de son mouvement vertical avec la rosette, va enregistrer des profils successifs; on obtient alors 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 LADCP, et donc des mesures, peut être déterminée de deux manières:

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

Pour chaque cycle de mesures, les vitesses et l'épaisseur de chaque cellule dépendent de la vitesse du son. Lors de l'acquisition, la vitesse du son est supposée égale à 1500 m/s. Celle-ci est recalculée lors du traitement pour chaque cycle de mesures à partir de la profondeur et de la température de la sonde CTD.

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

En raisonnant d'une façon intégrale, c'est-à-dire en considérant l'ensemble des mesures obtenues pendant la descente et la montée lors du traitement, la composante moyenne de la vitesse verticale peut être reconstituée en connaissant parfaitement la position du LADCP en début et en fin de la station. Avec le système CTD employé, les temps et positions du navire sont enregistrés à chaque mesure CTD ; ceci fournit une contrainte supplémentaire permettant de préciser les mouvements propres de la bathysonde. De même si le profil atteint le fond (ce qui n'est pas le cas ici), les mesures « bottom track » fournissent une autre contrainte sur les mouvements de la CTD.

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

Les principales opérations sont, pour chaque station :

1. Chargement des fichiers des 2 WH300, « up » et « down », avec vérification des checksums
2. Corrélation entre les profils « up » et « down » pour détection et correction d'une éventuelle erreur d'horloge entre les deux.
3. Elimination des bins présentant des valeurs de vitesse d'erreur, vitesse verticale, ou d'inclinaison des appareils supérieure à certains seuils. Elimination sur les données brutes des « outliers » à 3 puis à 4 écart-types.
4. Chargement du fichier CTD comprenant pression, température, temps et position GPS à chaque seconde, avec correction de décalage d'horloge par détection du point le plus profond atteint.
5. Calcul des vitesses « bottom track » si le fond est à portée.

6. Calcul par intégration des vitesses verticales de la profondeur de la sonde, avec correction de la vitesse du son grâce aux mesures CTD.
7. Calcul de profil de « super-ensembles », en moyennant toutes les données par tranches de profondeurs choisies par l'utilisateur ; élimination des « outliers » à 3 puis à 4 écart types (deux éditions successives avec une nouvelle estimation des « super-ensembles » entre les deux passages). Vérification des valeurs des caps des 2 WH300, corrections si nécessaires par comparaison, correction de la déviation magnétique, passage en coordonnées terrestres avant moyennes.
8. Calcul du « meilleur profil », intégrant la montée et la descente. Les composantes de courant sont calculées comme solutions d'un système d'équations linéaires intégrant les déplacements du bateau, les déplacements de la sonde par rapport au bateau, les données de bottom-track et les données VM-ADCP.
9. Sortie de différents graphiques correspondant à chaque étape, et enregistrement des profils et de données annexes sous différents formats : MATLAB, ASCII, et en option, NetCDF. Le format MATLAB comprend 4 structures, dr, f, p, ps. La structure dr contient date, position et les tableaux z,u,v.

Un premier traitement a été effectué à bord après chaque station, avec les paramètres par défaut du logiciel. Après la campagne, les stations ont été retraitées en essayant différentes valeurs des paramètres (par exemple, valeurs des seuils d'élimination de données). Les valeurs retenues lors du traitement final sont données dans le tableau 10 ;

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	oui	0.2 m/s	2.5 m/s	0.008 s-1	22°

Tableau 10 : Principaux paramètres du traitement par le logiciel LDEO.

Le même logiciel a été utilisé pour traiter les données acquises avec un seul instrument. Dans des conditions de mer calme, les résultats sont assez similaires que ceux utilisant les deux instruments, les variations d'un profil acquis toutes les secondes à un autre n'excèdent pas 1m/s, voire 0.5m/s. Malheureusement, les mauvaises conditions météorologiques pendant Secalis3 font que ces variations atteignent 2 à 3 m/s: ce qui explique que les profils de Secalis3 sont très bruités, en particulier avec un seul instrument. Ainsi, le traitement des profils pour les stations où un seul instrument était utilisé n'a pas permis d'arriver à une qualité suffisante pour que les données soient exploitables. Seules les profils des 5 premières stations, où les deux instruments ont fonctionnés, peuvent être considérées comme fiables, avec un bémol pour celui de la station 5 où le profil est limité à 1600 m à cause de la panne de la batterie du LADCP.

STATION 0:	INSTR. DOWN et UP	Décalage horloge CTD/LADCP	Cas standard + SADCP / Bottom-Track	Profil OK Méthode inverse/shear identiques. Idem profils descente/remontée Contrainte SADCP améliore la surface
STATION 1:	INSTR. DOWN et UP	Décalage horloge CTD/LADCP	Cas standard + SADCP / Bottom-Track	Profil OK Méthode inverse/shear identiques. Idem profils descente/remontée Résultats similaires sans contrainte SADCP
STATION 2:	INSTR. DOWN et UP		Cas standard + SADCP	Profil OK Méthode inverse/shear identiques. Idem profils descente/remontée Contrainte SADCP améliore la surface
STATION 3:	INSTR. DOWN et UP		Cas standard + SADCP + Test barofac = 0	Profil OK Méthode inverse/shear identiques. Mais légère amélioration des premiers mètres avec contrainte SADCP Profil remontée non résolu?
STATION 4:	INSTR. DOWN et UP	Panne Instr. Down, défection batterie: Arret acquisition descente env. 1500m	Cas standard + SADCP + barofac=0+zpar=1500 + Divers tests: sans CTD, etc...	Profil acceptable Différences méthode inverse/shear pour composante zonale Profil remontée non résolu?
STATION 17:	INSTR. DOWN	Défection batterie: Arret acquisition remontée env. 200m	Cas standard + SADCP	Profil utilisable? Fort effet de la contrainte SADCP. Accord raisonnable pour la méthode inverse (conséquence contrainte SADCP) 0-200m Larges différences méth. inverse/shear et profils descente/remontée Résultat bruité car un seul instrument
STATION 19:	INSTR. DOWN	Batterie OK	Cas standard + SADCP	Profil utilisable? Fort effet de la contrainte SADCP. Bon accord sur 0-200m Différence méth. inverse/shear 0-200m (conséquence SADCP) Profil descente non résolu? Résultat bruité car un seul instrument
STATION 20:	INSTR. DOWN	Batterie OK	Cas standard + SADCP	Profil utilisable? Fort effet de la contrainte SADCP. Excellent accord sur 0-200m Diff. méth. inverse/shear pour composante zonale Résultat bruité car un seul instrument
STATION 28:	INSTR. DOWN	Batterie OK	Cas standard + SADCP / Bottom-Track + Divers tests: barofac=0, no Outlier super ensembles	Profil acceptable sauf 0-100m Diff. importantes sur l'ensemble des profils descente/remontée Faible comparaison avec SADCP
STATION 29:	INSTR. DOWN	Batterie OK	Cas standard + SADCP / Bottom-Track + Divers tests: barofac=0, no Outlier super ensembles	Profil OK sauf 0-200m Diff. Méthode inverse/shear, profils descente/remontée 0-200m Bonne comparaison avec SADCP

4.4 Présentation des profils

Le faible nombre de profil et leur disparité géographique font que les coupes de courant ne sont pas représentées. Chacun des profils de vitesses zonale et méridienne sont présentés dans l'Annexe 1.

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

5.1 Introduction

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

5.2 Equipement

Le NO Alis est équipé depuis octobre 1999 d'un VM-ADCP, modèle BB-150, fabriqué par la société RDI. Cet appareil (« broadband », 150 kHz) est normalement de portée moyenne (~200-300 m), et s'utilise avec une résolution verticale de 4-8 m. Le transducteur est placé dans une nacelle profilée sur bâbord avant, immergé dans l'eau douce, et isolé par une fenêtre acoustique. L'unité de pont est interfacée au gyroscope central du navire par liaison synchro 1/1. Un récepteur GPS multi-antennes Sercel NR-230 fournit au PC d'acquisition des trames de navigation GPWGA par liaison directe RS-232, ainsi que des données d'attitude (cap, roulis, tangage), à une cadence de 0.6 sec.

5.3 Acquisition

L'acquisition se fait sur un PC. La configuration d'acquisition est résumée dans le Tableau . Le logiciel d'acquisition VM-DAS (v. 1.42) a été utilisé.

L'appareil fonctionne normalement avec 4 « beams ». Lors de la campagne, le « beam » N° 2 était en panne. En conséquence, le VM-ADCP a fonctionné avec 3 faisceaux seulement. Le dysfonctionnement du faisceau #2 n'a pas cependant empêché de mener à bien l'acquisition et le traitement des données; par contre, en l'absence d'un des faisceaux, il n'est plus possible d'accéder à l'« error velocity » (définie comme la différence entre les deux mesures des vitesses verticales), paramètre utile pour estimer la qualité des données, en particulier le bon fondement de l'hypothèse d'homogénéité horizontale. De plus, le « PGOOD », pourcentage de « pings » acceptables dans un ensemble, n'est plus accessible avec le logiciel d'acquisition lorsque le VM-ADCP fonctionne avec trois transducteurs: seul le paramètre « PERCENT_3BEAM » peut être estimé.

Le VM-ADCP était réglé en mode 1 du fait des conditions de mer et de la panne d'un des faisceau avec pour effet d'avoir le premier bin à 28 m. 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 et nécessitent un espace disque important, de l'ordre de 3 Go pour un mois de campagne.

Acquisition BB-150 pour Secalis 3	
Programme d'acquisition	VM-DAS v. 1.42
Longueur de « bin »	8 m
« Blanking interval »	4 m
Mode d'acquisition	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 »	28 m
Premier profil	11/07/2005 04:29 TU
Dernier profil	25/07/2005 05:01 TU

Tableau 11 : Caractéristiques d'acquisition du S-ADCP.

5.4 Traitement des données

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

5.4.1 Constitution d'une base de données

Les fichiers .LTA issus de VMDAS contiennent les profils moyens de courant sur 5mn, mesurés par rapport à la vitesse relative du bateau, les données annexes et les positions GPS en début et fin de profil. Ils sont chargés dans une base au format CODAS.

5.4.2 Vérification/Édition des profils relatifs

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

La vitesse du son utilisée pour le calcul de l'effet Doppler dépend de la température mesurée au niveau de l'embase et de la valeur de salinité entrée dans le logiciel d'acquisition. La température mesurée par le VM-ADCP est restée à moins de 1°C des données calibrées de 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. Cette étape est effectuée sur chaque profil individuel.

La figure 18 ci-dessous montre un exemple d'une fenêtre temporelle de 100 profils. Les croix représentent les bins ou les profils flaggés dus à des réflexions dans des eaux peu profondes.

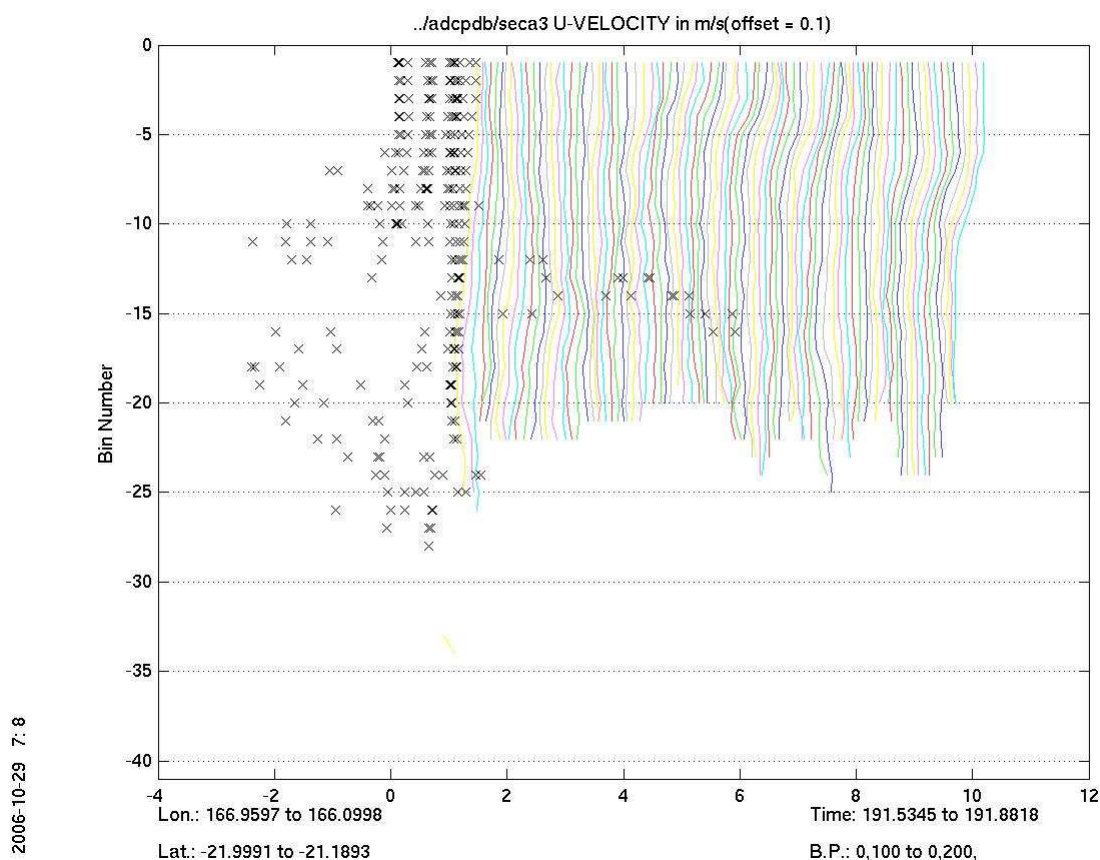
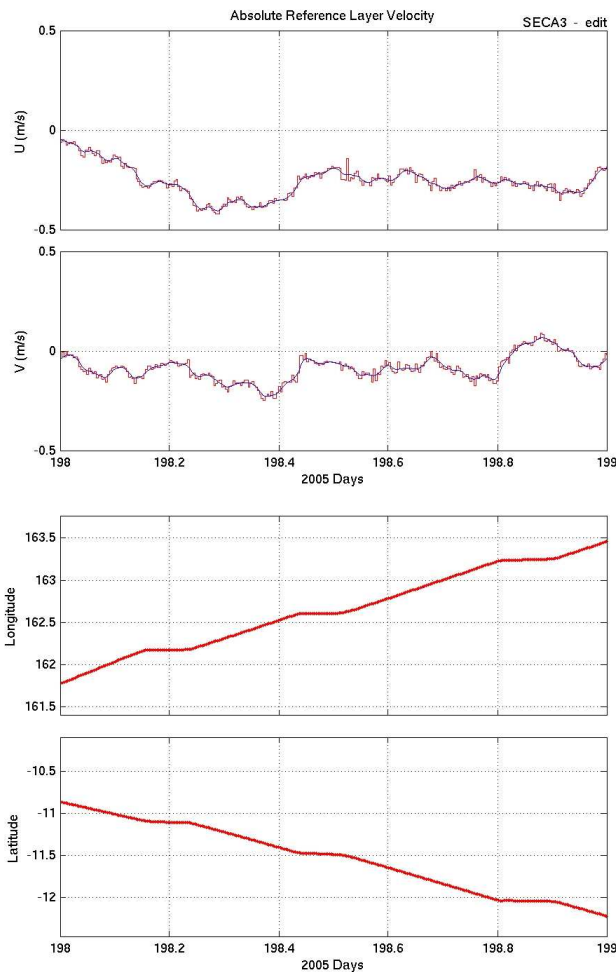


Figure 18 : Exemple de bins et profils flaggés du fait des réflexions dans des eaux shallow water (croix).

5.4.3 Intégration de la navigation

Les positions GPS GPGGA enregistrées à la fin de chaque profil et les vitesses relatives ADCP permettent de calculer le courant absolu dans une couche de référence (« bins » 4 à 12 soit 38-102 m). Un exemple de couche de référence est montré sur la Figure 19 ; ce courant est filtré (filtre de Blackman de $\frac{1}{2}$ 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.



2006-10-29 6:56

Figure 19 : Exemple de courant dans la couche de référence 38-102m, après nettoyage des profils individuels (« édition ») et lissage. Les 2 derniers graphiques montrent la navigation.

5.4.4 Etalonnage

Deux types d'erreur interviennent dans le calcul des vitesses absolues de courant : une erreur d'orientation horizontale en coordonnées géographiques associée à la fois à la dérive du gyro et à l'erreur sur l'embase de l'instrument et une erreur sur l'amplitude de la vitesse 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 (Figure 20).

On observe une forte dérive du gyro (par rapport au GPS) car la correction automatique du gyro en fonction de la latitude n'a pas été activée. Cette dérive avoisine les 2° , valeur importante car les erreurs sont de l'ordre de 8cm/s par degré sur la composante cross-track en considérant une vitesse de 10 nœuds du navire. Cette dérive nécessite une correction (courbe bleue). La qualité de cette correction reste dépendante de la dérive initiale.

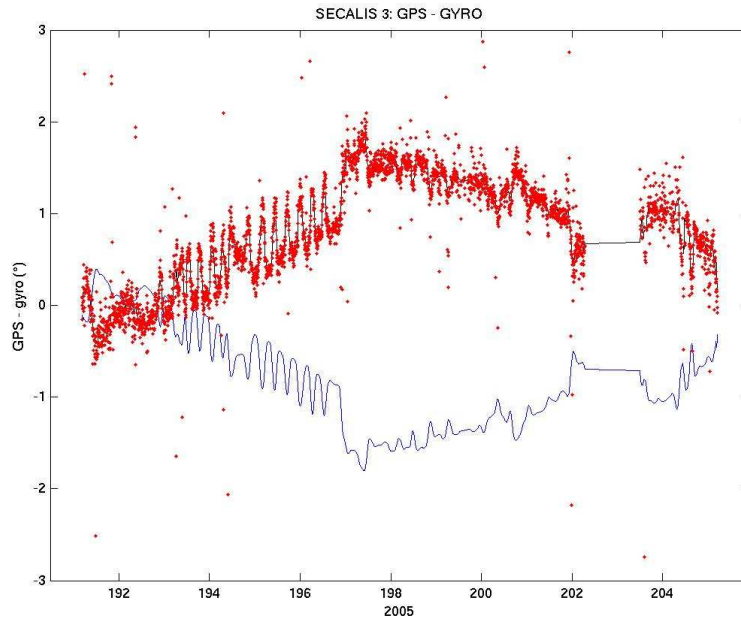


Figure 20 : Différence cap GPS - cap gyro au cours du temps pendant l'ensemble de la campagne : valeur moyenne à chaque profil (points rouges), après application d'un filtre médian sur 15 points (en noir), après changement de signe, interpolation des trous et passage d'une moyenne mobile sur 10 points (en bleu).

En ce qui concerne les erreurs associées à l'embase, 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. Pour déterminer l'amplitude et la phase, la méthode appliquée est le « water-track », basée sur les décélérations et les accélérations du navire lors des arrivées/départs en station. Les valeurs trouvées sont données dans le tableau 12 ; les rotations et homothéties correspondantes sont appliquées aux profils relatifs.

Secalis 3	BB-150
A	1.0068
ϕ	-0.26°

Tableau 12: Valeurs des coefficients d'étalonnage déterminés après correction des erreurs dues au gyro du navire.

La figure 21 présente les histogrammes des valeurs calculées de A et de ϕ avec l'écart d'horloge ADCP-GPS.

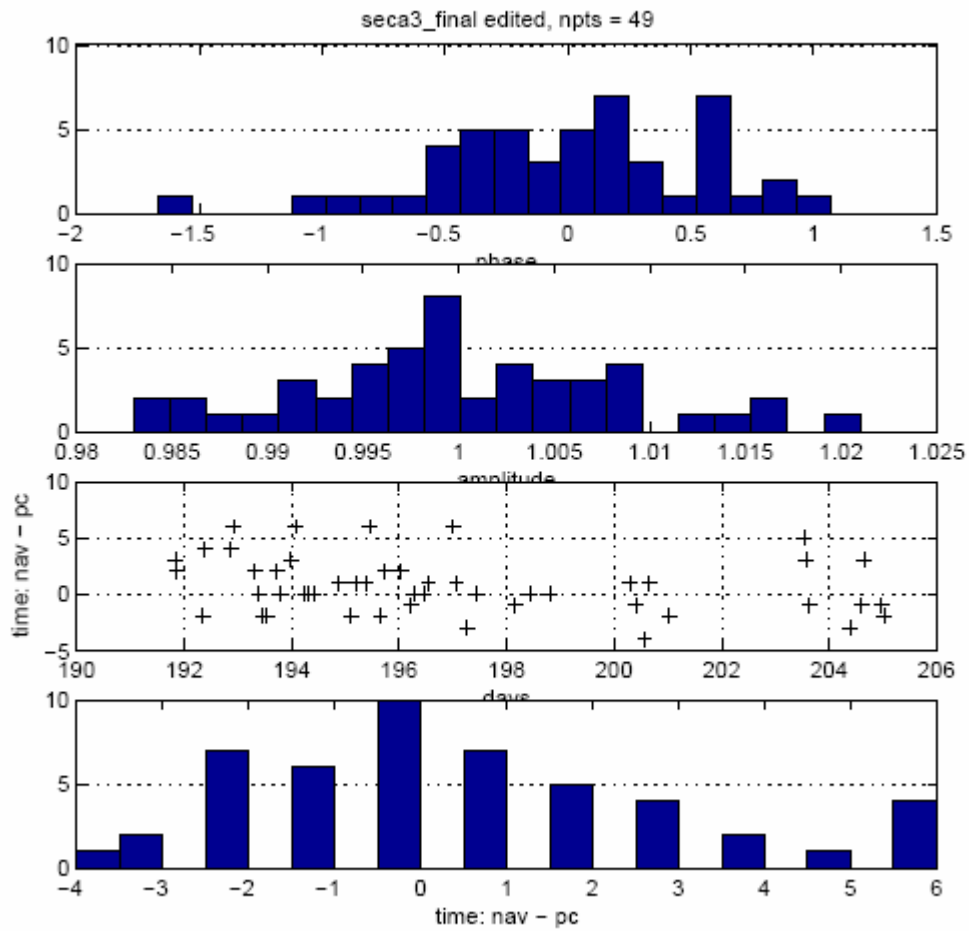


Figure 21 : Histogrammes de A et ϕ et différences d'horloges GPS-ADCP après application de la correction GPS-gyro.

5.4.5 Base finale

Une fois toutes les corrections appliquées (nettoyage des profils, correction cap gyro, calibration par Water-Track) la couche de référence est de nouveau calculée (Figure 22) et la navigation lissée est intégrée à la base de données.

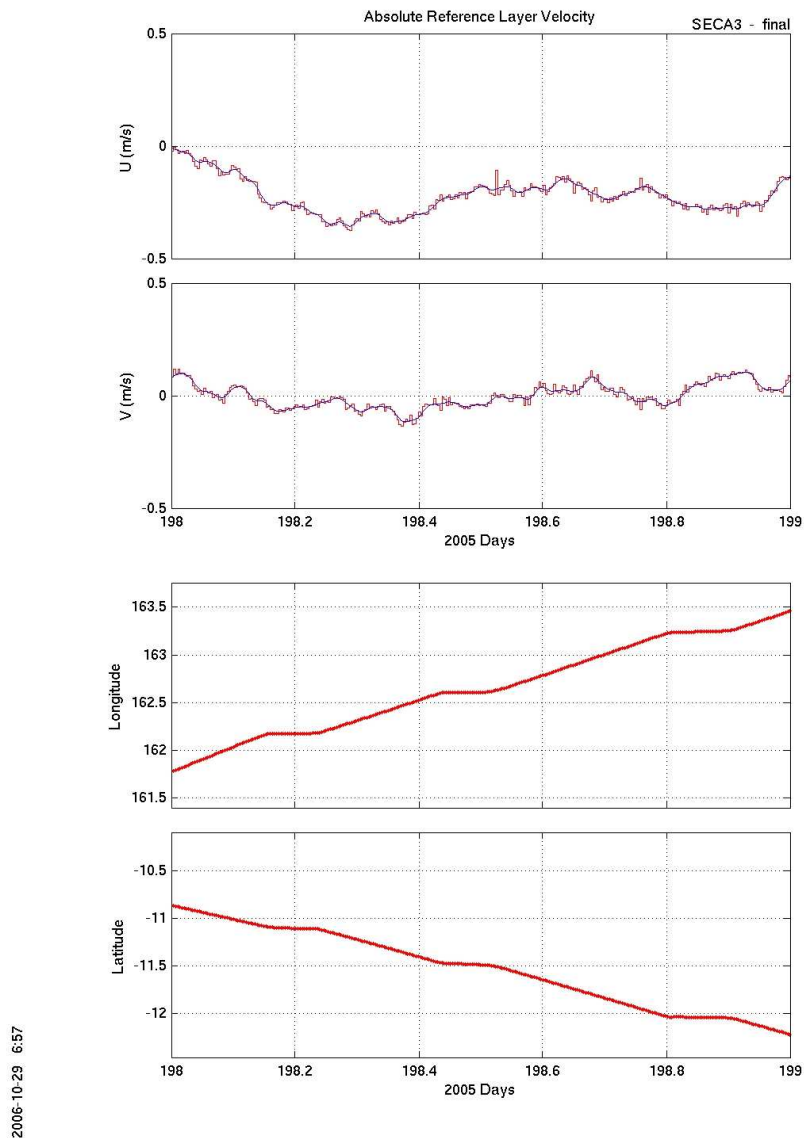


Figure 22 : Courant dans la couche de référence, comme sur la Figure 19 après application de toutes les corrections. Il subsiste un bruit ponctuel qui est éliminé par un lissage sur 30 min.

5.4.6 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. Compte tenu de la panne d'un des faisceaux, le PERCENT-3BEAM est utilisé à la place du PGOOD. La portée moyenne (donnée par la profondeur où PERCENT-3BEAM = 30%) est de 220 m en station et de 200 m en route (Figure 23). Ces valeurs sont très inférieures à celles obtenues au cours de la mission Frontalis 3, mission au cours de laquelle le Beam n° 2 était aussi en panne (Maes et al., 2006a). La différence de portée entre ces missions s'explique par de mauvaises conditions météorologiques lors de Secalis3.

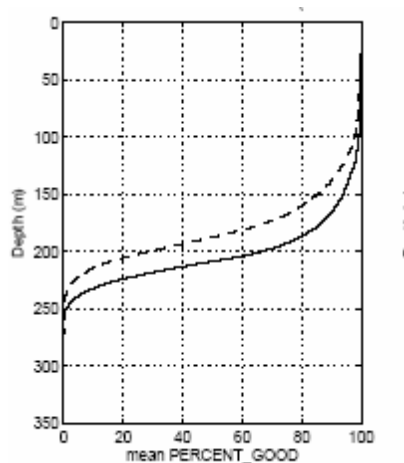


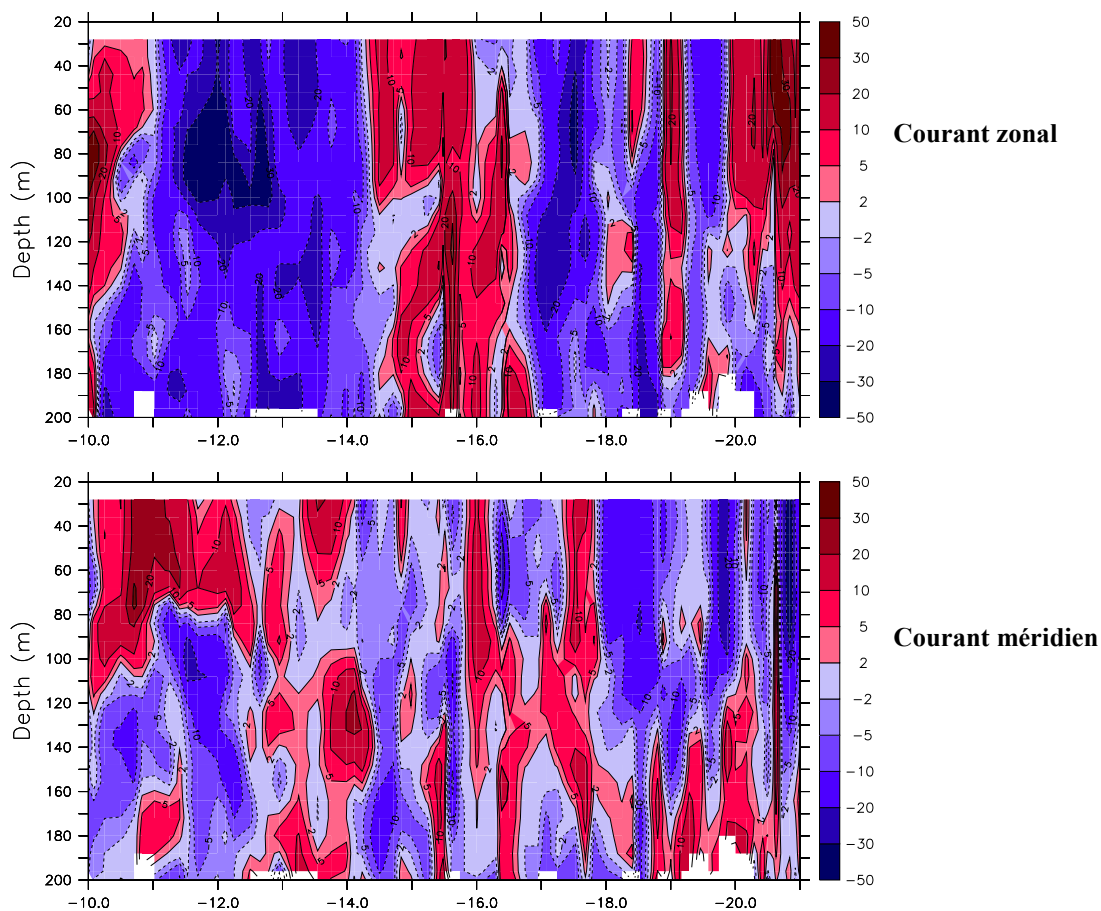
Figure 23 : pourcentage de bon « pings » en fonction de la profondeur estimée en route (pointillé) et en station (trait plein). La portée moyenne est donnée par la profondeur où PERCENT-3BEAM = 30%.

5.5 Présentation des résultats

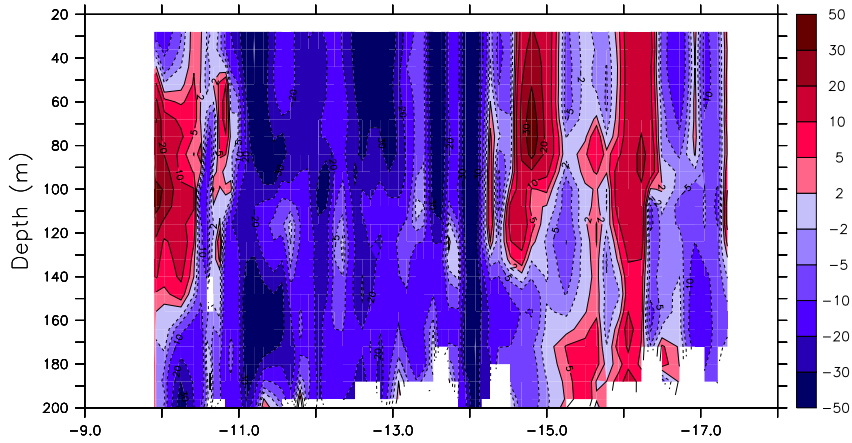
Le logiciel CODAS permet d'obtenir des sections et séries temporelles pour tracés de coupes ou de vecteurs. Les coupes des composantes de vitesse U et V sont présentées pour les sections de la campagne sur la Figure 24.

Figure 24 : Sections verticales des composantes zonale et méridienne du courant mesurées par VM-ADCP.

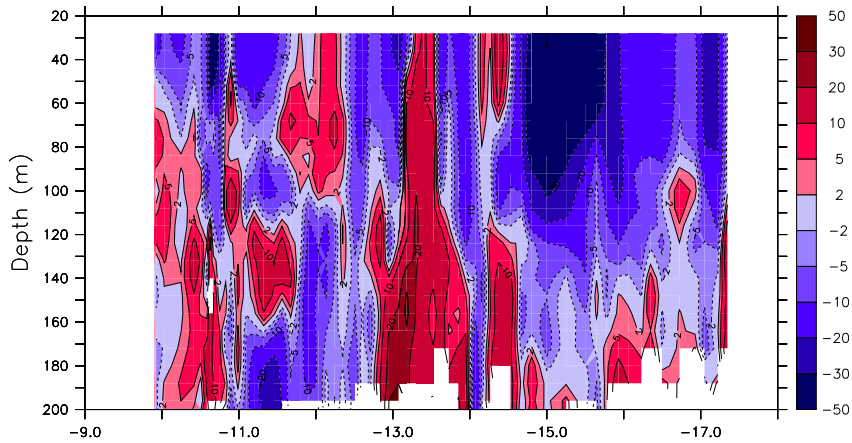
Section Nouvelle Calédonie – Guadalcanal :



Section Guadalcanal-Efate :

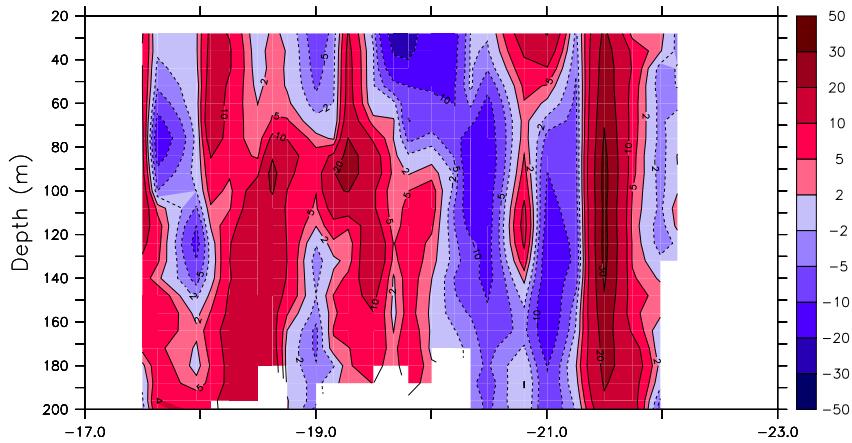


Courant zonal

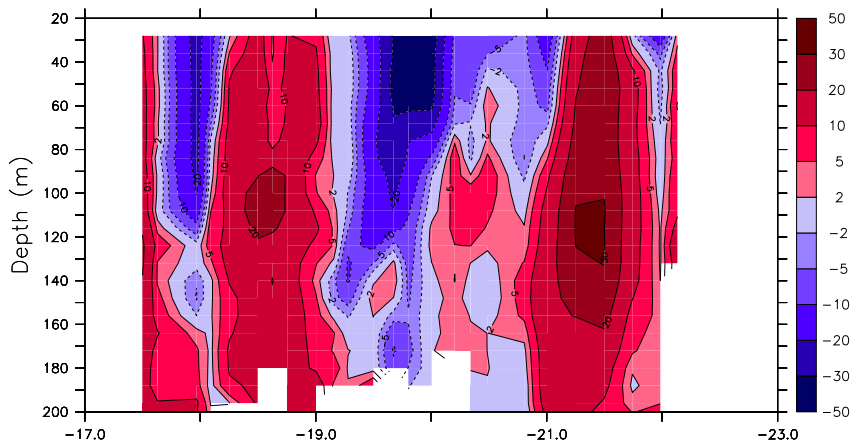


Courant méridien

Section Efate-Noumea :



Courant zonal



Courant méridien

6. Mesures météorologiques

Une station de type Batos était installée pendant la campagne. Les paramètres mesurés ont été les suivants : température de l'air, température de la mer, pression atmosphérique, humidité relative, vitesse et direction du vent. L'ensemble des paramètres a été mesuré toutes les minutes via le logiciel Lab_view installé sur PC. Les observations de vents sont représentées sur la Figure 25, les autres paramètres sur la Figure 26.

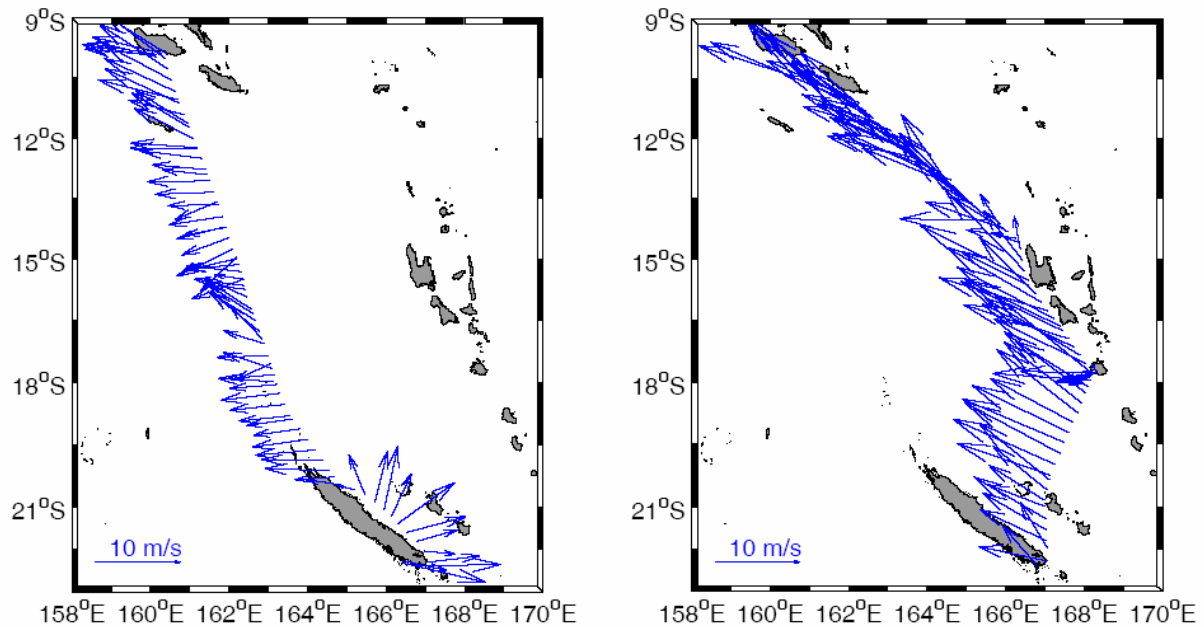


Figure 25 : Vent relevé le long du parcours par la station BATOS.

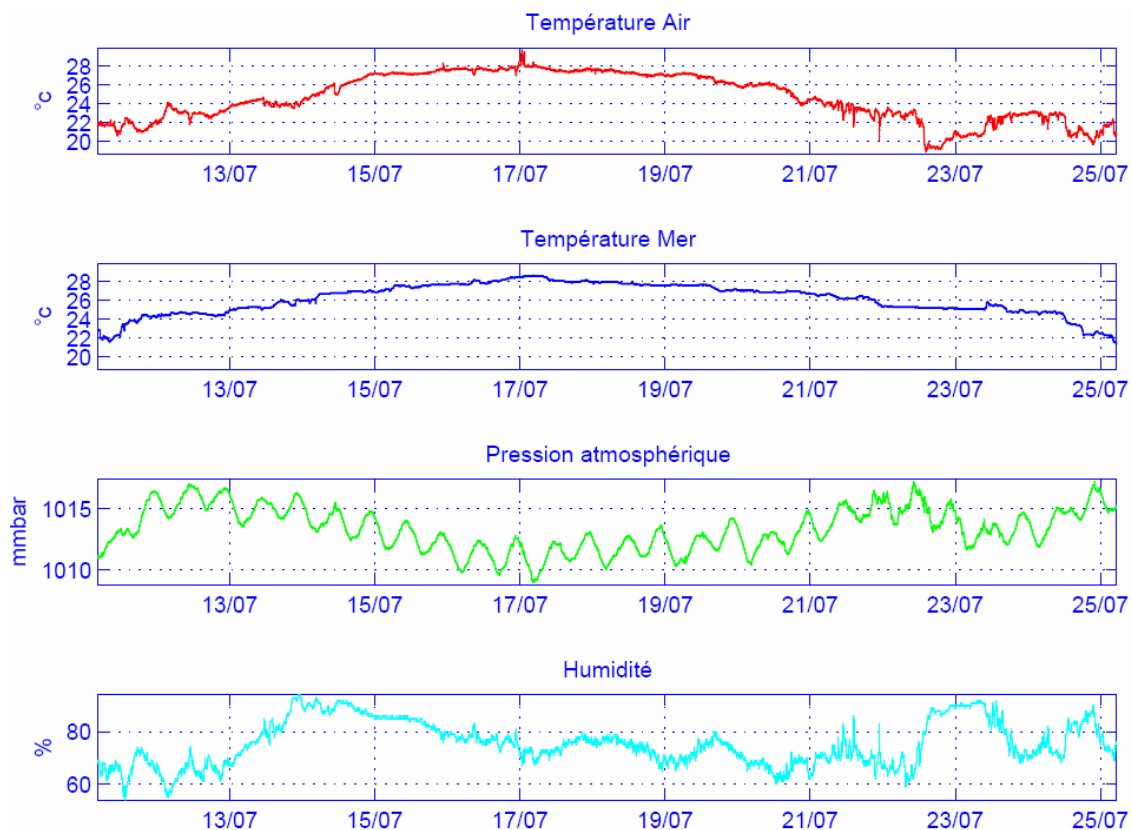


Figure 26 : Séries temporelles des paramètres atmosphériques enregistrés par la station BATOS

7. Bouées dérivantes

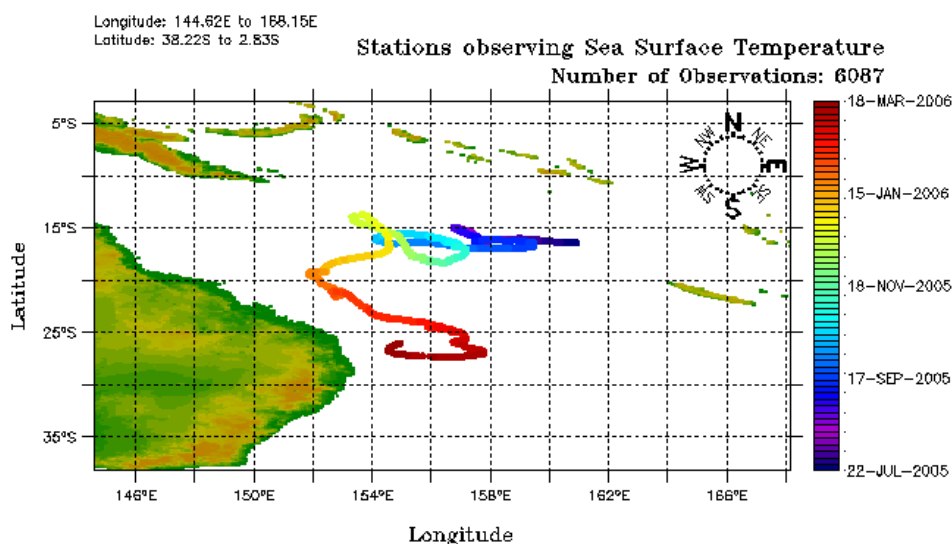
Dans le cadre du Global Lagrangian Drifter (GLD, anciennement Surface Velocity Programme), et afin d'appréhender la circulation des eaux au voisinage de la Nouvelle-Calédonie, quatre bouées dérivantes fournies par l'Atlantic Oceanographic and Meteorological Laboratory (Miami, <http://www.aoml.noaa.gov>) ont été déployées (Tableau). Ces bouées sont munies d'émetteurs ARGOS et d'un capteur de température. Les trajectoires de ces bouées (<http://www.aoml.noaa.gov/dbweb/InfoDataTable.html>) sont représentées sur la figure 27.

ID	WMO	Latitude	Longitude	Date TU	Numéro de série
44318	55609	16°20.41S	162°36.02E	14/07/05 01:30	39231
44334	55610	14°12.65S	161°55.00E	15/07/05 03:30	39230
44335	55611	14°14.08S	165°56.03E	20/07/05 07:08	36964

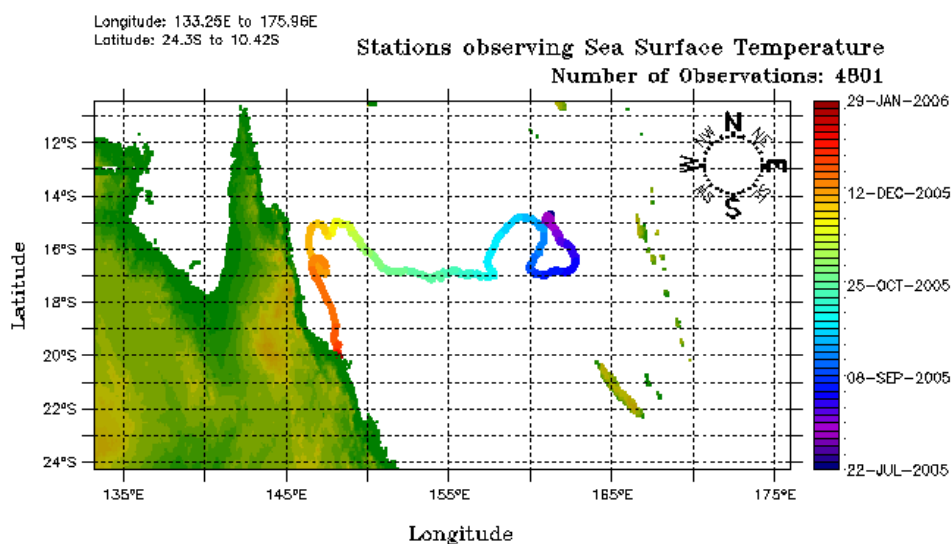
Tableau 13: Numéro d'identification (ID/WMO), position et dates de largage des bouées dérivantes.

Figure 27 : Trajectoires des bouées dérivantes en mars 2006. a) 55609 ; b) 55610 ; c) 55611

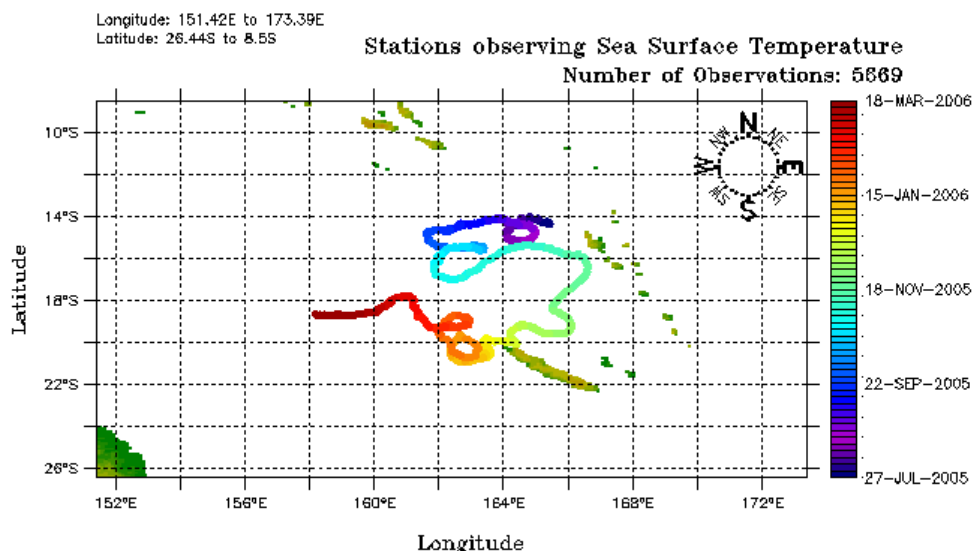
a) WMO 55609



b) WMO 55610



c) WMO 55610



8. Glider

Suite à la venue en 2004 de W. Kessler (PMEL) à l'IRD Nouméa, une collaboration s'est instaurée avec la Scripps pour l'utilisation d'un planeur sous marin (glider). Lors de la mission Secalis 3 (juillet 2005) (Figure 28), nous avons déployé un glider au large de Guadalcanal avec pour mission d'échantillonner les 600 premiers mètres de l'océan entre les îles Salomon et la Nouvelle Calédonie. L'appareil a été récupéré au large de la Nouvelle Calédonie le 18 septembre 2005 (Figure 29) après avoir effectué 570 profils de température et salinité le long de sa route. Des jets nettement plus intenses que ceux modélisés jusqu'alors ont été mis en évidence au nord du Vanuatu et de la Nouvelle Calédonie.

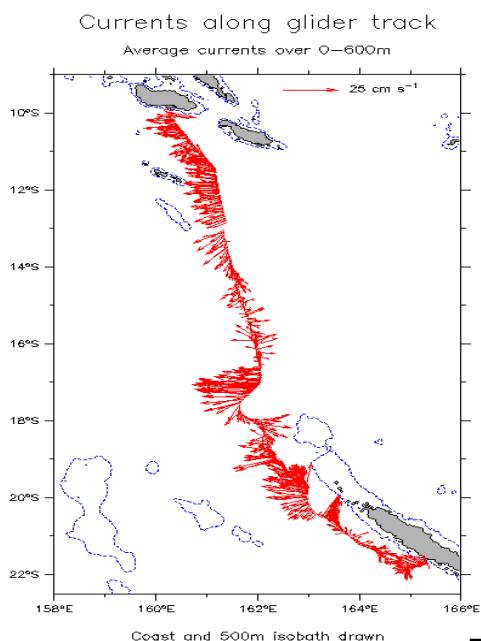


Figure 29 : Récupération du glider au large de la Nouvelle Calédonie



Figure 28 : Trajectoire du glider entre juillet et octobre 2005. Les flèches représentent une estimation des courants moyens sur les 600 premiers mètres.

Références

- Bahr, F., E. Firing and S. Jiang, 1990. Acoustic Doppler current profiling in the western Pacific during the US-PRC TOGA Cruises 5 and 6, JIMAR Contr. 90-0228, U. of Hawaii, 162 pp.
- Benson, B. et D. Krauss, 1984. The concentration and isotopic fractionation of oxygen dissolved in freshwater and seawater in equilibrium with the atmosphere. *Limnol. Oceanogr.*, 29, 620-632.
- Bernardi, C., 2003. Logiciels développés pour la restitution des données Hydroscat-6, contrat Ingénieur, LODYC, 10 pp.
- Billant A. et P. Branellec, 1994. Mesures de salinité et oxygène dissous. In : Recueil de Données, Campagne CITHER1, volume 3/4 : Traceurs Géochimiques, Doc Scient. ORSTOM Cayenne, N°O.P. 15,7-30.
- Billant, A., et P. Branellec, 1994. Calibration des mesures CTD-O2 ; Campagne CITHER-1 N/O ATALANTE (2 janvier – 19 mars 1993), Recueil de données, Vol.2 : CTD-O2, Rapport Interne LPO (94-04)
- Carpenter J.H., 1965. The Chesapeake Bay Institute technique for the Winkler dissolved oxygen method. *Limnol. Oceanogr.*, 10, 141-143.
- Chuchla, R. et B. Bourlès, 2001. Calibration des mesures CTD-O2, Campagne EQUALANT-2000, N.O. Thalassa, 24 juillet-21 août 2000, Rapport de campagne à la mer, Document Scientifique et Technique du Centre IRD Bretagne, n°89 Décembre 2001.
- Chuchla, R., B. Bourlès et Y. Gouriou, 2000. Calibration des mesures CTD-O2, Campagne EQUALANT 99, N.O. Thalassa 13 juillet – 21 août 1999, Rapport de campagne à la mer, Rapport interne LODYC n°2000-01, décembre 2000.
- Chuchla, R., E. Kestenare et F. Baurand, 2000. Mesures d'oxygène, Campagne EQUALANT-99, N.O. Thalassa, 13 juillet-21 août 1999, Recueil de données, Rapport Interne LODYC n°2000-01.
- Chuchla, R., A. Paumier, B. Rigobert et F. Baurand, 2001, Mesures d'oxygène, Campagne EQUALANT-2000, N.O. Thalassa, 24 juillet-21 août 2000, Rapport de campagne à la mer, Document Scientifique et Technique du Centre IRD Bretagne, n°89 Décembre 2001.
- Chuchla, R. et F. Marin, 2000. Mesures de salinité, Campagne EQUALANT-99, N.O. Thalassa, 13 juillet-21 août 1999, Recueil de données, Rapport Interne LODYC n°2000-01.
- Chuchla, R. et B. Le Vu, 2001, Mesures de salinité, Campagne EQUALANT-2000, N.O. Thalassa, 24 juillet-21 août 2000, Rapport de campagne à la mer, Document Scientifique et Technique du Centre IRD Bretagne, n°89 Décembre 2001.
- Dandonneau, Y., 1995. Sea-surface partial pressure of carbon dioxide in the eastern equatorial Pacific (August 1991 to October 1992): A multivariate analysis of physical and biological factors. *Deep-Sea Res. II*, 42, 349-364.
- Dirberg, Guillaume, 2004. Rétrodiffusion Hydroscat-6 des *Trichodesmium* dans le Pacifique Tropical Sud Ouest. Rapport de stage Ingénieur 3^{ème} année ENGEES et MSC Southampton Oceanography Center. 10 janvier-30 juin 2004, 28 pp. Centre IRD de Nouméa.
- Delcroix, T., F. Baurand, G. Eldin, F. Gallois, Y. Gouriou, M. Rodier et D. Varillon, 2002. Rapport de la mission FRONTALIS à bord du Navire Océanographique l'Alis (Frontalis Cruise Report), 29 mars – 26 avril 2001, 22°S-5°N / 155°E-165°E. UMR LEGOS, Toulouse, document interne, 130 pages.
- Dupouy, C., Neveux, J. and J. M. André, 1997. Spectral absorption coefficient of photosynthetically active pigments in the equatorial Pacific ocean (165°E-150°W). *Deep Sea Research II*, 44, 9-10, 1881-1906.
- DOE, 1994. Handbook of methods for the analysis of the various parameters of the carbon dioxide system in sea water ; version 2. A.G. Dickson & C. Goyet, eds.
- Eldin, G., T. Delcroix, and M. Rodier, 2004: The frontal area at the eastern edge of the western equatorial Pacific warm pool in April 2001. *J. Geophys. Res.*, 109, C07006, doi:10.1029/2003JC002088.
- Fischer J., and M. Visbeck, 1993. Deep Velocity Profiling with self-contained ADCPs, *J. Atmos. Oceanic Technol.* p 764-773.
- Fournier P., C. Oudot et F.Baurand, 1997a - Mesures d'Oxygène dissous, Campagne ETAMBOT-1, Recueil de données, volume 2/2, Documents Scientifiques du Centre ORSTOM de Cayenne, n°O.P. 23.
- Fournier P., C. Oudot et F.Baurand, 1997b - Mesures d'Oxygène dissous, Campagne ETAMBOT-2, Recueil de données, volume 2/2, Documents Scientifiques du Centre ORSTOM de Cayenne, n°O.P. 25.

- Ganachaud, A., G. Eldin, M. Rodier, R. Chuchla, F. Gallois, A. Lapetite, 2006a. Rapport de la campagne FRONTALIS-2 à bord du NO ALIS du 22 avril au 22 mai 2004, Rapports de Missions Sciences de la Mer numéro 18, Centre IRD de Nouméa, BP A5, Nouvelle-Calédonie.
- Ganachaud, A., A. Vega, F. Gallois, B. Vignal, L. Jamet, M. Rodier, L. Gourdeau, G. Alory, Rapport de la campagne SECALIS-2 du 4 au 18 décembre 2004, Rapports de Missions Sciences de la Mer, Centre IRD de Nouméa, BP A5, Nouvelle-Calédonie, 2006.
- Gouriou, Y., 1997a. Calibration des mesures CTD-O2, dans « Campagne ETAMBOT 1, Recueil de données, Vol.1/2 : Introduction, Mesures 'en route', Courantométrie ADCP, mesures CTDO2, Coupes de distributions verticales », Doc. Scient. du Centre ORSTOM de Cayenne, O.P. 22.
- Gouriou, Y., 1997b Calibration des mesures CTD-O2, dans « Campagne ETAMBOT 2, Recueil de données, Vol.1/2 : Introduction, Mesures 'en route', Courantométrie ADCP, mesures CTDO2, Coupes de distributions verticales », Doc. Scient. du Centre ORSTOM de Cayenne, O.P. 24.
- Hall M.M. and H.L. Bryden, 1982. Direct estimates and mechanisms of ocean heat transport, *Deep-Sea Res.*, 29, 339-359.
- HOBILabs, 2004. HydroScat-6 Spectral Backscattering Sensor, User's Manual, revision 2, October 2004, 59 pp.
- Holmes R. M., Aminot A., Kérouel R., Hooker B.A., Petersen B.J., 1999. A simple and precise method for measuring ammonium in marine and freshwater ecosystems, *Can. J. fish. Aquat. Sci.*, 56, 1801-1808
- Joyce, T., et C. Corry, 1994. Requirements for WOCE hydrographic programme data reporting, WHP Office Report 90-1, WOCE Report n°67/91, Woods Hole, Mass., USA.
- Le Bouteiller, A., Blanchot J., Rodier M., 1992. Size distribution patterns of phytoplankton in the western Pacific: towards a generalization for the tropical ocean. *Deep-Sea Res.*, 39, 803-823.
- Kattner G., 1999. Storage of dissolved inorganic nutrients in seawater: poisoning with mercuric chloride, *Mar. Chem.*, 67, 61-66.
- Maes C., E. Kestenare, A. Ganachaud, F. Gallois, M. Rodier, D. Varillon, G. Eldin, R. Chuchla, A. Lapetite. Rapport de la mission FRONTALIS 3 à bord du N.O. Alis du 22 avril au 19 mai 2005, 22°S-2°N / 161°E-172°E. Noumea : IRD, 2006. (Sciences de la Mer. Oceanographie Physique. Rapports de Missions, No 20), 167 pp.
- Maffione, R. A., and D. R. Dana, 1997. Instrument for measuring the backward scattering coefficient of ocean waters, *Appl. Opt.*, 36, 6057-6067.
- McTaggard, K.E. et G.C. Johnson, 1997. CTD/O2 Measurements collected on a climate and global change cruise (WOCE P14S and P15S) during January-March 1996, NOAA data report ERL PMEL-63, NOAA/PMEL, 7600 Sand Point Way NE, Seattle, WA 98115.
- Owens, W. et R. Millard, 1985. A new algorithm for CTD oxygen calibration. *J. Phys. Oceanogr.*, 15, 621-631.
- Millero F. J. and A. Poisson, 1981. International one-atmosphere equation of the state of Sea Water, *Deep Sea Res.*, 28, 625-629.
- Murphy J., Riley J.P., 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters, *Anal. Chem. Acta*, 26, 31-36.
- Murray C. N., J. P. Riley and T.R. S. Wilson, 1968. The solubility of oxygen in Winkler reagents used for the determination of dissolved oxygen. *Deep Sea Res.*, 15, 237-238.
- Owen, W.B., et R.C. Millard, 1985. A new algorithm for CTD oxygen calibration, *Journal of Physical Oceanography*, 15, 621-631.
- Pollard, R. and J. Read, 1989. A method for calibrating shipmounted acoustic Doppler profilers, and the limitations of gyro compasses, *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 6, 859-865.
- Press, W., B. Flannery, S. Teukolsky, et W. Vetterling, 1986. *Numerical Recipes: The art of scientific computing*. Cambridge University Press, 818 pp.
- Raimbault P., Slawyk G., Coste B., Fry J., 1990. Feasibility of using an automated colorimetric procedure for the determination of seawater nitrate in the 0 to 100 nM range: examples from field and culture. *Mar. Biol.*, 104, 347-351.
- Seabird Electronics, Inc., 1998. CTD Data Acquisition software, SEASOFT, version 4.234, Washington, USA, 2 octobre 1998 (email : seabird@seabird.com).
- Strickland J., Parsons T., 1972. A practical handbook of seawater analysis. *Fish. Res. Bd. Canada Bull.*, 167, 310pp.
- UNESCO, 1968. Zooplankton sampling. *Monographs on Oceanographic Methodology*, 2, Paris, 174pp.

- UNESCO, 1981. Background papers and supporting data on the practical Salinity Scale 1978. UNESCO Technical Papers in marine Science, N°37, 144
- WOCE, 1994. WOCE Operations Manual. Vol. 3, Part 3.1.3 : WHP Operations and methods. WHP Office Report WHPO 91-1, WOCE report N°68/91, Revision 1, November 1994.
- World Ocean Circulation Experiment, 1994. WOCE Experiment Manual, WHP Office Report 90-1, WOCE Report No. 67/91, Rev.2, Woods Hole, Mass., USA, May 1994.
- WOCE, 1994. WOCE Operations Manual. Vol. 3, Part 3.1.3 : WHP Operations and methods. WHP Office Report WHPO 91-1, WOCE report N°68/91, Revision 1, November 1994.

Annexe 1 : Chronologie détaillée de la campagne

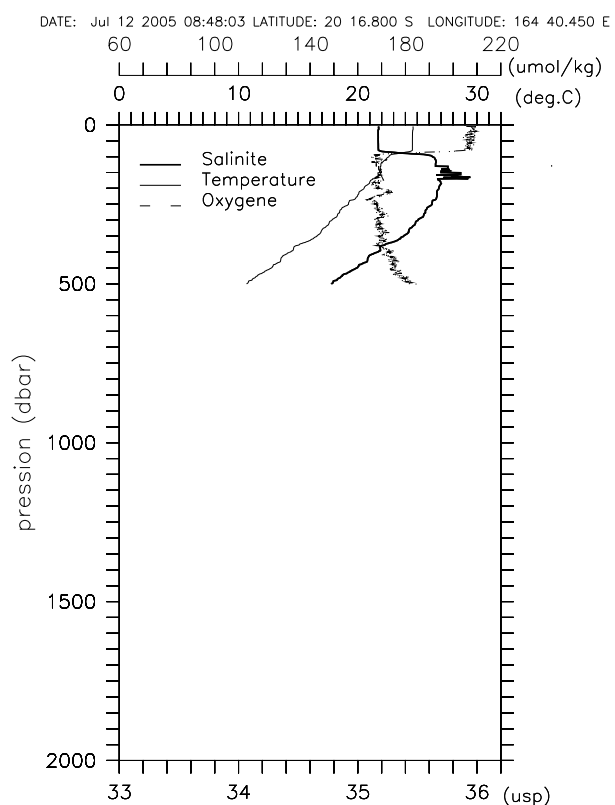
N° Station	Latitude dd°mm'	Longitude dd°mm'	Date et heure jj/mm/aaaa hh:mm	Profondeur (en m)	Durée hh.mm	CTD	Distance en milles	
Nouméa 1	-22,16	166,20	11/07/2005 15:30				0	
0	-20,17	164,40	12/07/2005 08:48	500	01:05	Sbe911+	151,14	
1	-18,53	163,38	12/07/2005 21:08	1000	01:26	Sbe911+	102,31	
2	-18,03	163,12	13/07/2005 04:15	1000	01:26	Sbe911+	55,75	
3	-17,49	163,09	13/07/2005 07:48	2000	02:08	Sbe911+	14,29	
4	-17,33	163,04	13/07/2005 11:31	2000	02:08	Sbe911+	16,69	
5	-16,57	162,51	13/07/2005 17:36	2000	02:08	Sbe911+	38,08	
6	-16,20	162,36	13/07/2005 23:46	2000	02:08	Sbe911+	39,69	SVP 44318
7	-15,44	162,24	14/07/2005 06:05	2000	05:08	Sbe911+	37,80	
8	-14,57	162,11	14/07/2005 19:29	2000	02:08	Sbe911+	48,64	
9	-14,12	161,54	15/07/2005 02:39	2000	02:08	Sbe911+	47,91	SVP 44334
10	-13,34	161,41	15/07/2005 09:11	2000	02:08	Sbe911+	40,04	
11	-12,54	161,27	15/07/2005 15:49	2000	02:08	Sbe911+	42,26	
12	-12,14	161,12	15/07/2005 23:04	2000	02:08	Sbe911+	42,60	
13	-11,38	160,57	16/07/2005 05:21	2000	02:08	Sbe911+	38,88	
14	-11,02	160,42	16/07/2005 11:24	2000	02:08	Sbe911+	38,89	
15	-9,55	160,07	17/07/2005 11:05	2000	02:08	Sbe911+	75,32	Glider
16	-10,25	160,24	17/07/2005 04:35	2000	02:08	Sbe911+	34,35	
17	-10,56	162,04	18/07/2005 03:51	2000	02:08	Sbe911+	103,04	
18	-11,28	162,36	18/07/2005 10:39	2000	02:08	Sbe911+	44,83	
19	-12,02	163,14	18/07/2005 19:39	2000	02:08	Sbe911+	50,40	
20	-12,33	163,51	19/07/2005 04:55	2000	02:08	Sbe911+	47,62	
21	-14,15	165,57	20/07/2005 07:24	2000	02:08	Sbe19	159,46	SVP 44335
22	-14,35	166,23	20/07/2005 13:39	2000	02:08	Sbe911+	32,16	
23	-15,37	166,38	20/07/2005 23:25	2000	02:08	Sbe19	63,67	
24	-16,38	167,23	21/07/2005 10:30	1000	01:26	Sbe19	74,76	
25	-17,56	168,08	23/07/2005 11:55	1000	01:26	Sbe19	89,05	
26	-18,07	168,06	23/07/2005 13:58	2000	02:08	Sbe19	11,16	
27	-20,21	167,05	24/07/2005 09:33	2000	02:08	Sbe19	145,85	
28	-20,50	166,52	24/07/2005 14:19	1350	01:41	Sbe19 Sbe911+	31,45	
29	-21,58	167,04	24/07/2005 23:37	1000	01:26	Sbe911+	68,91	
Nouméa	-22,16	166,20		0		0	122,40	

Annexe 2 : Graphiques

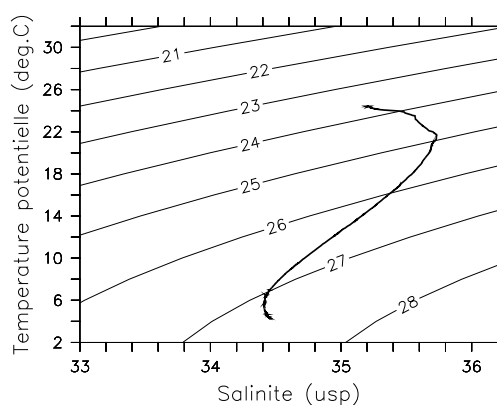
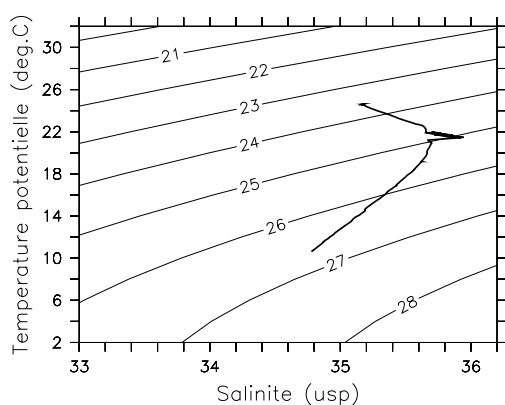
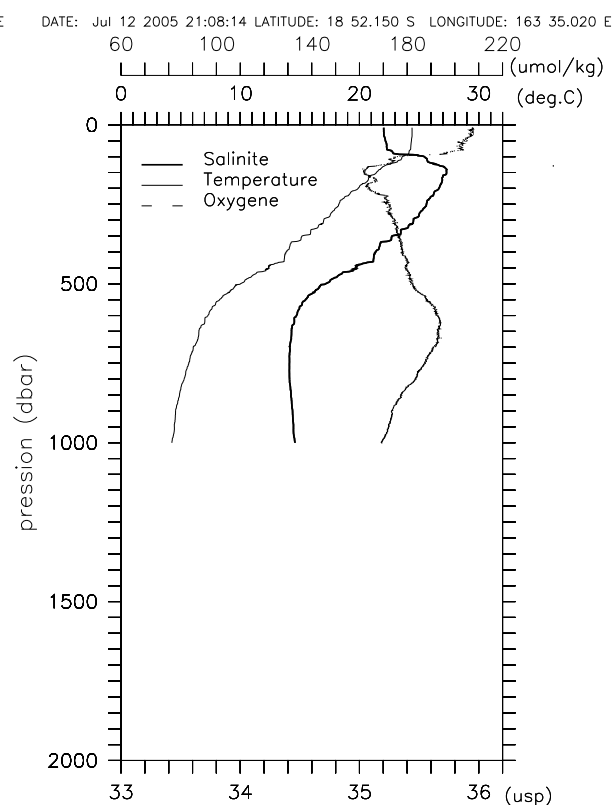
2.1 Profils CTD

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

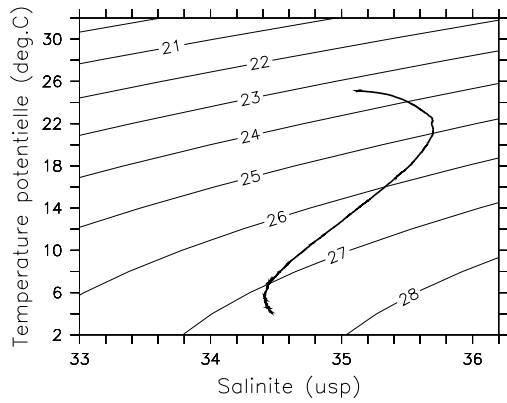
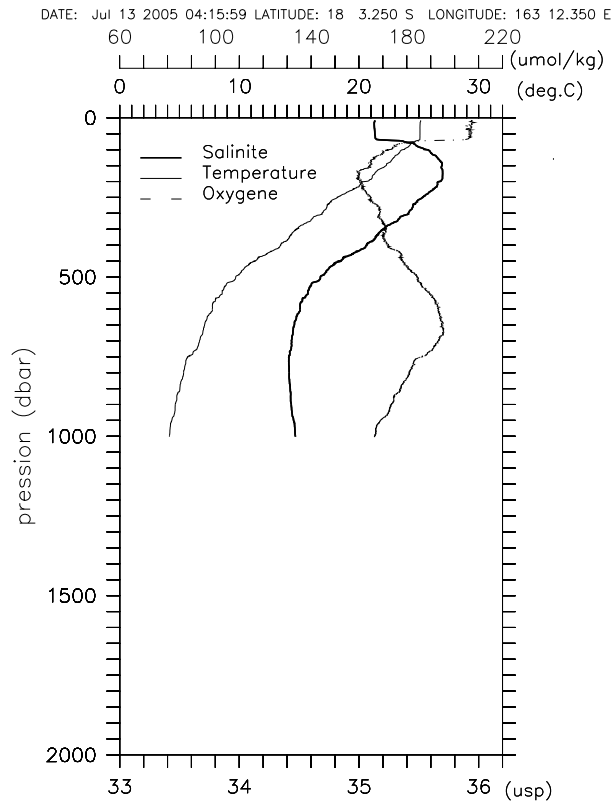
Secalis3 Station 0



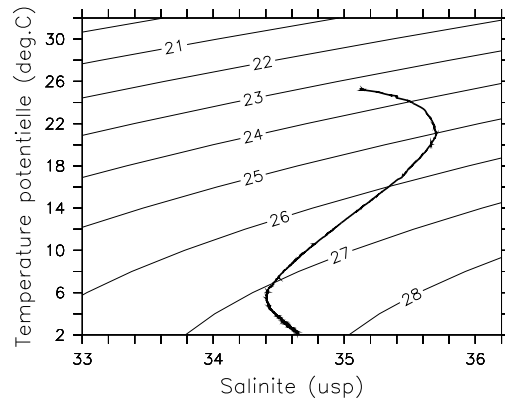
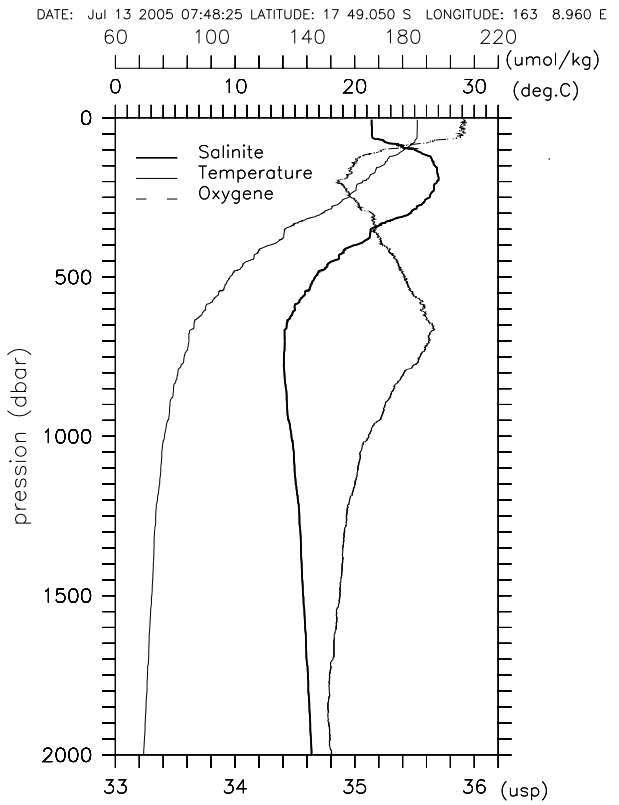
Secalis3 Station 1



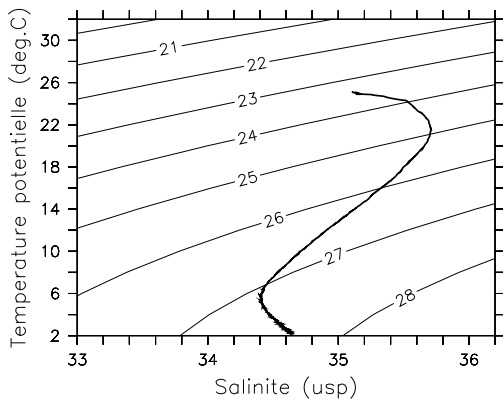
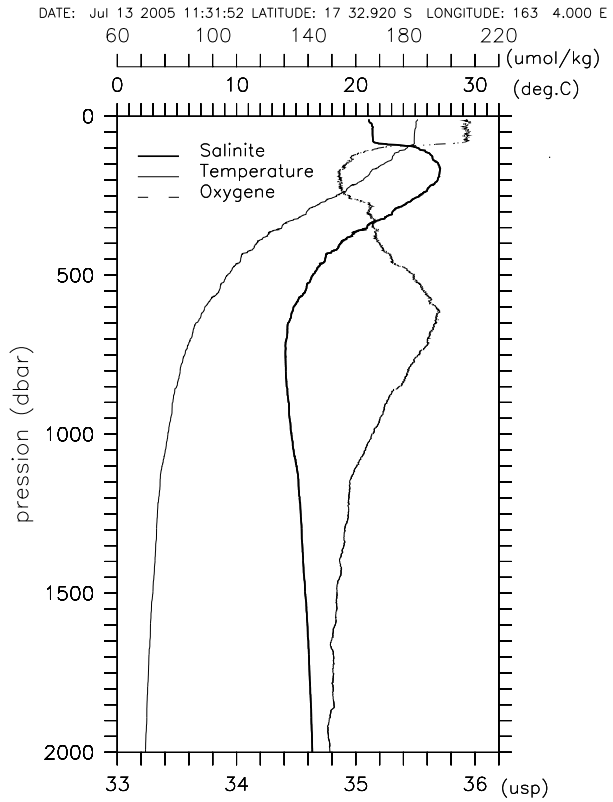
Secalis3 Station 2



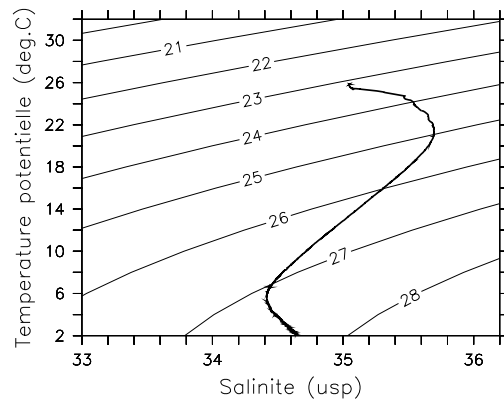
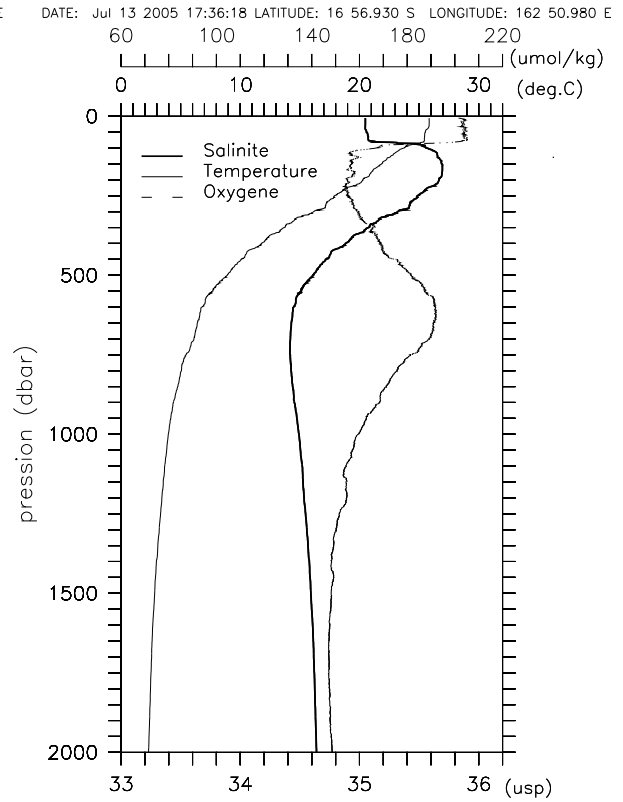
Secalis3 Station 3



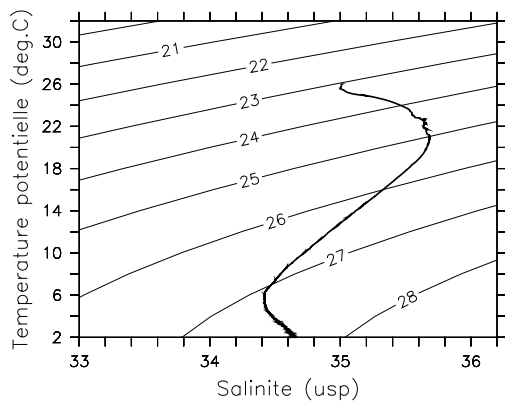
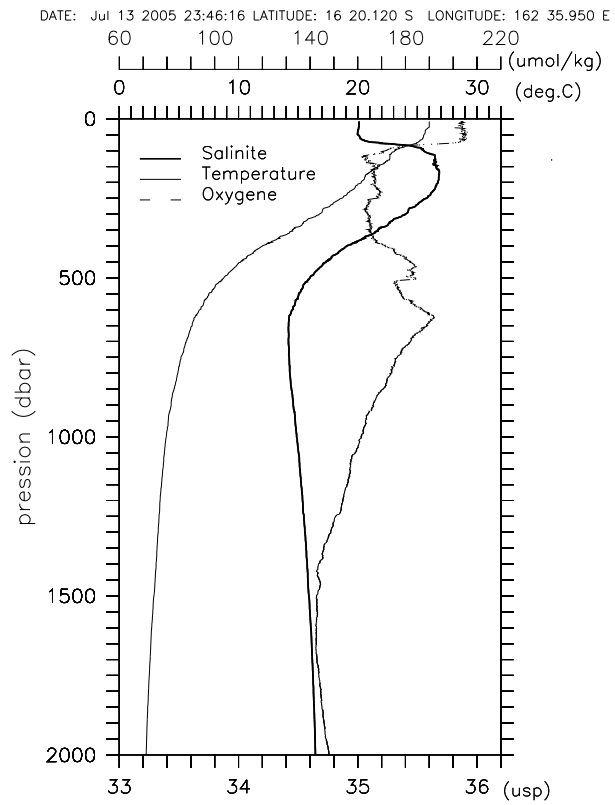
Secalis3 Station 4



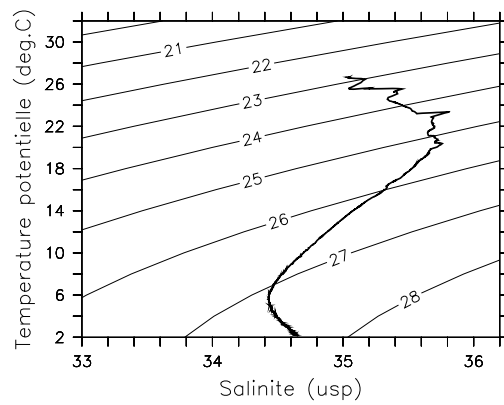
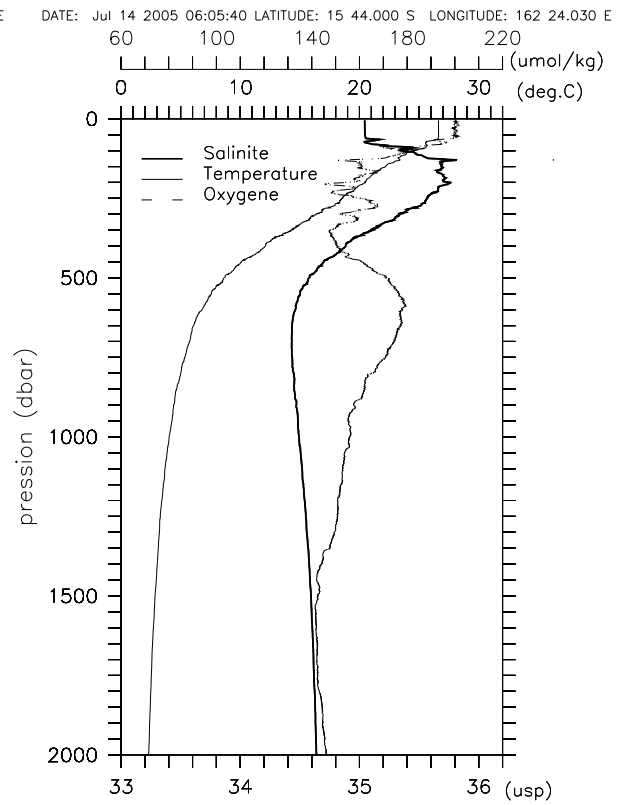
Secalis3 Station 5



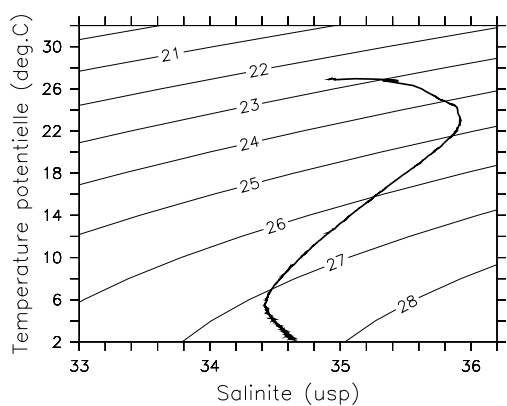
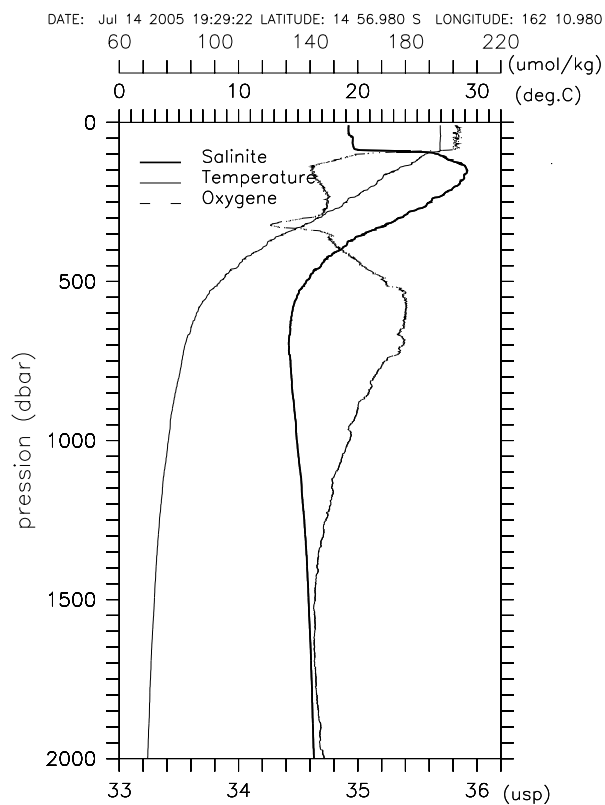
Secalis3 Station 6



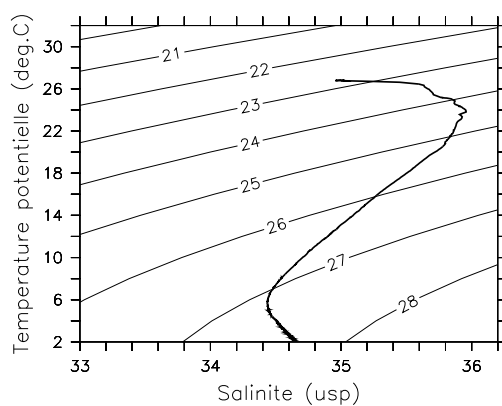
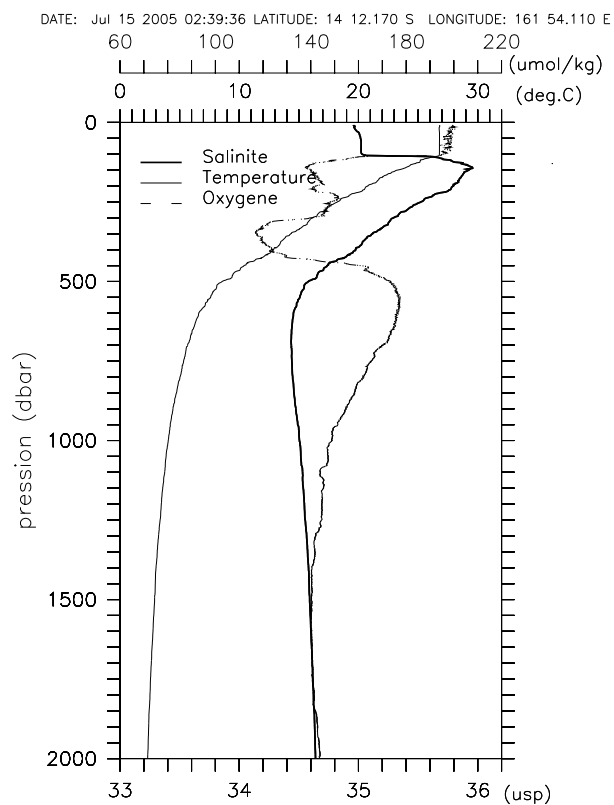
Secalis3 Station 7



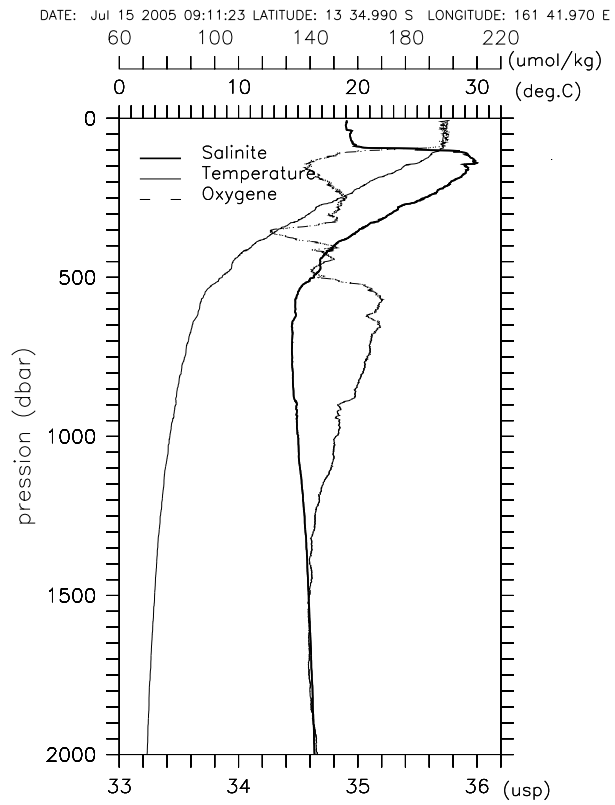
Secalis3 Station 8



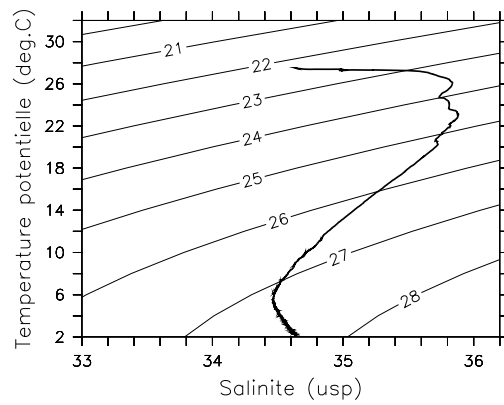
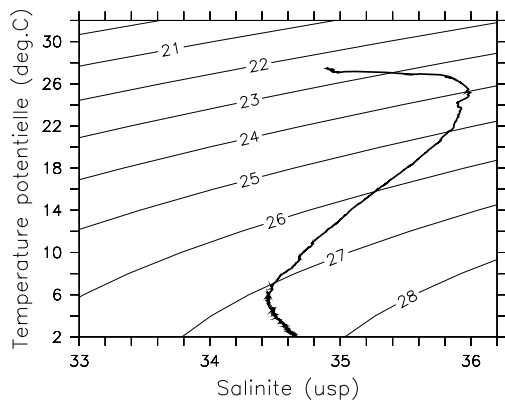
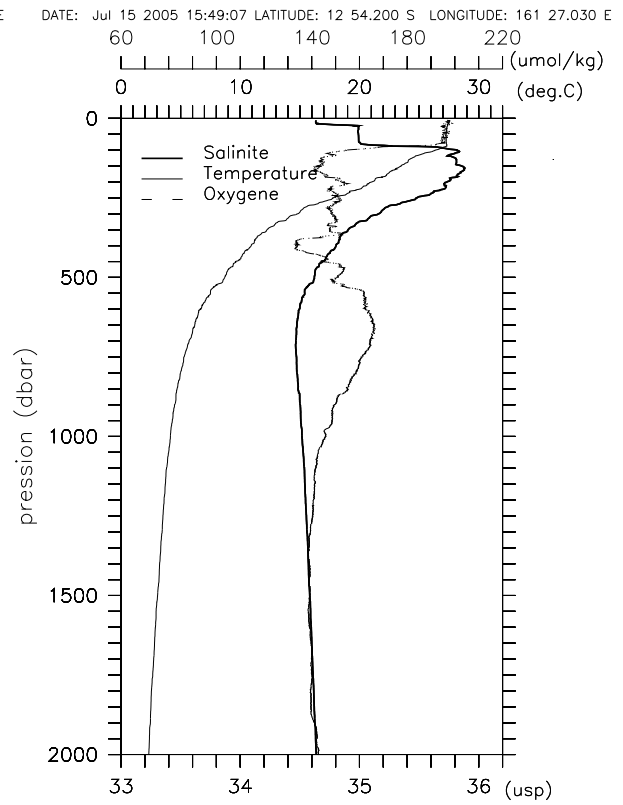
Secalis3 Station 9



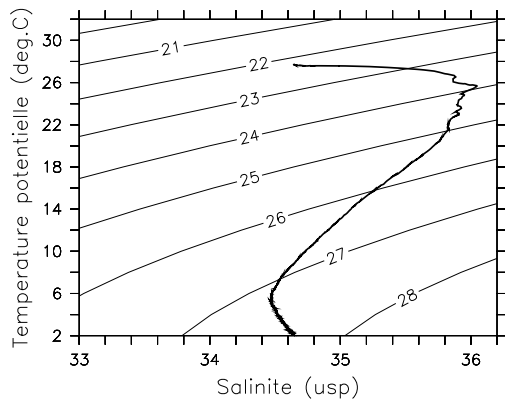
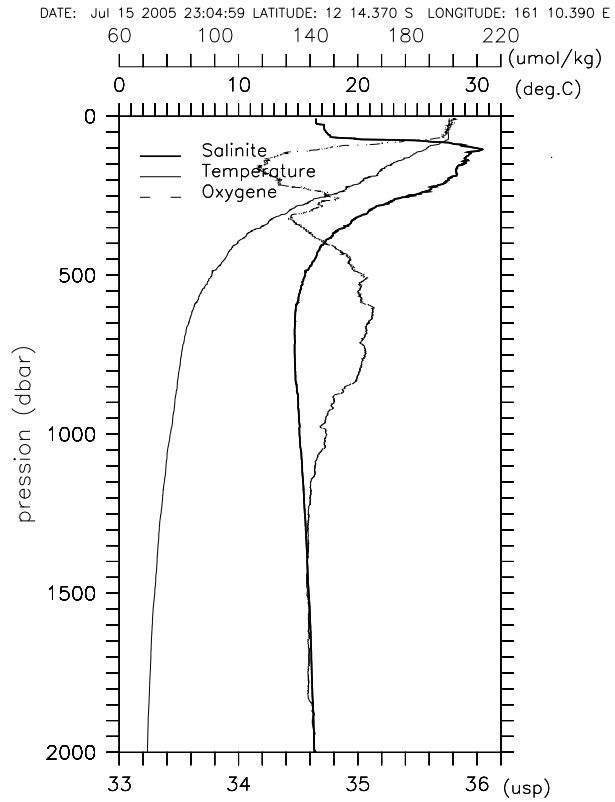
Secalis3 Station 10



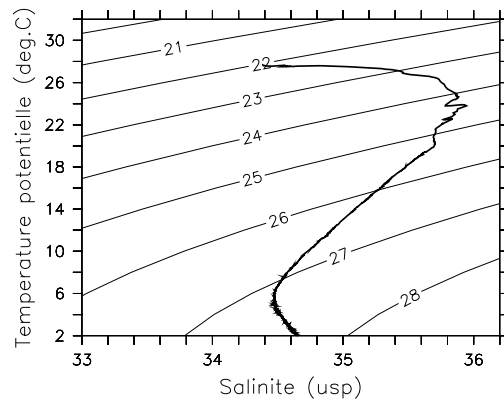
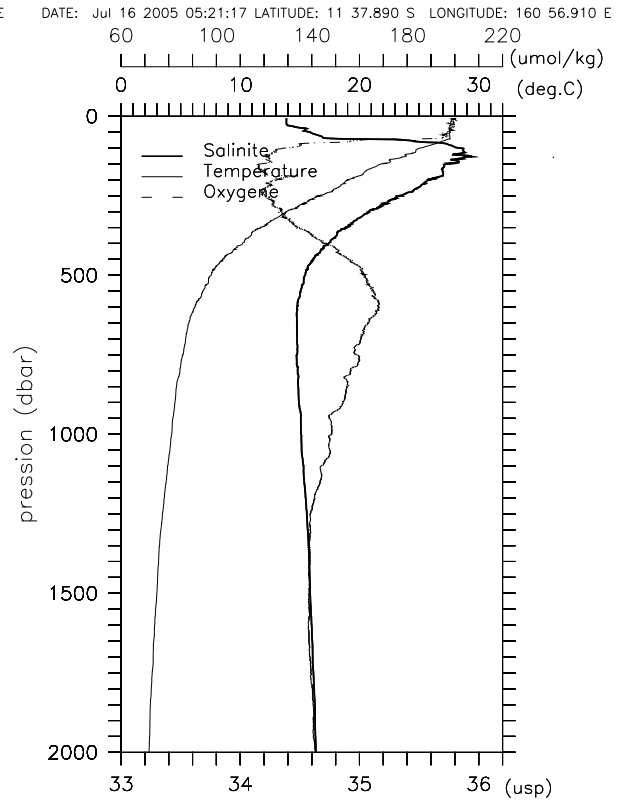
Secalis3 Station 11



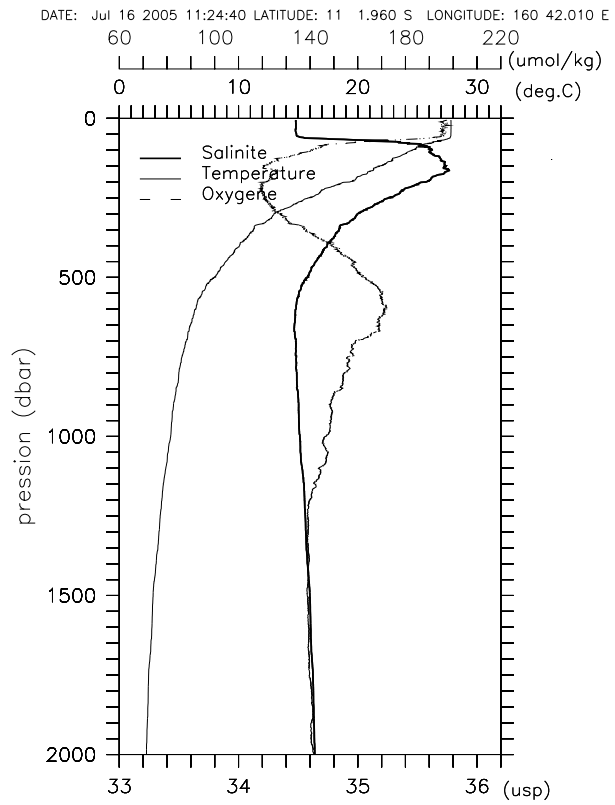
Secalis3 Station 12



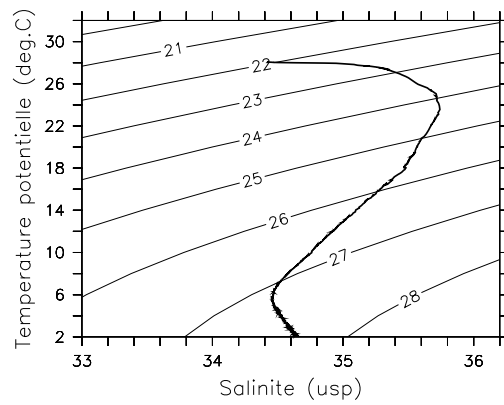
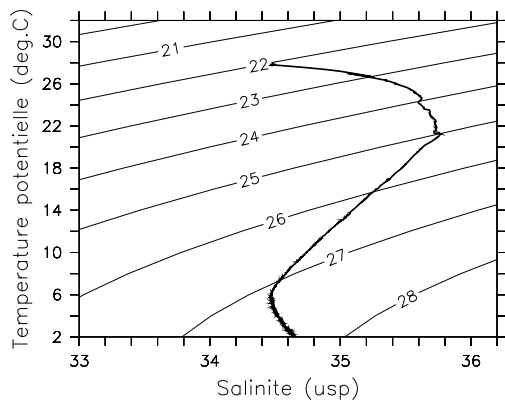
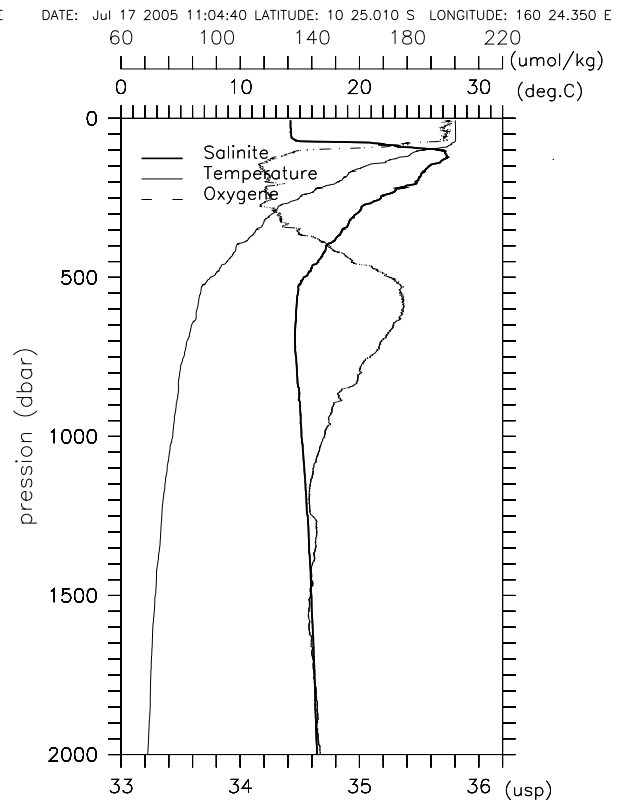
Secalis3 Station 13



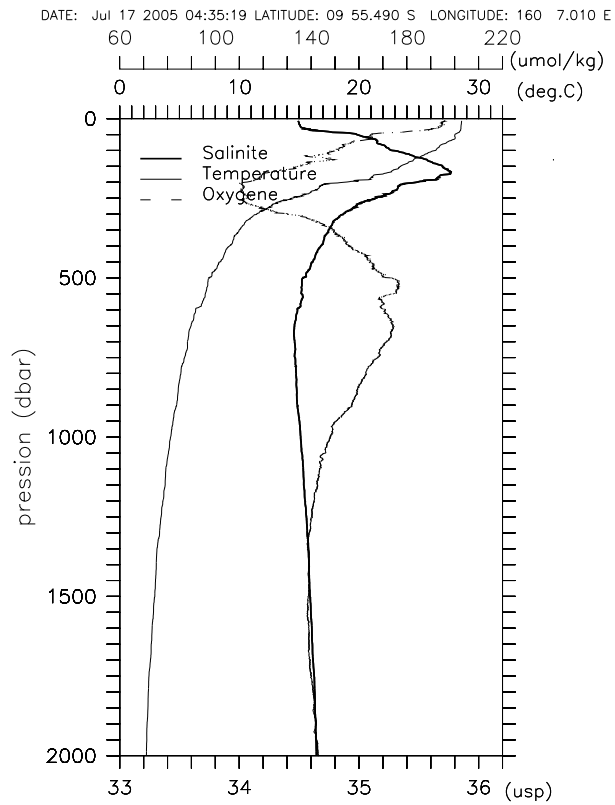
Secalis3 Station 14



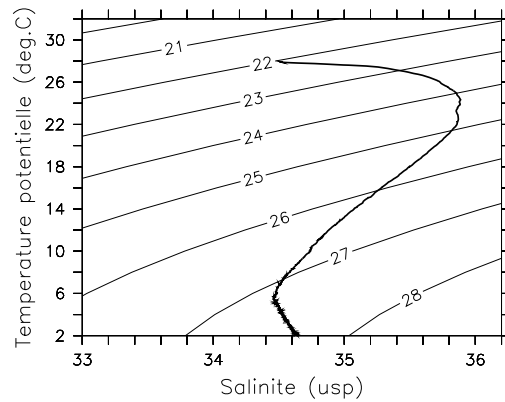
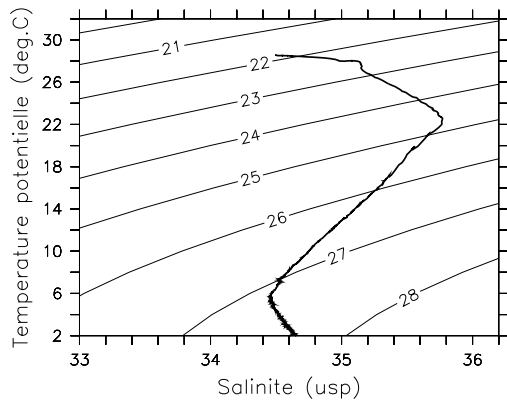
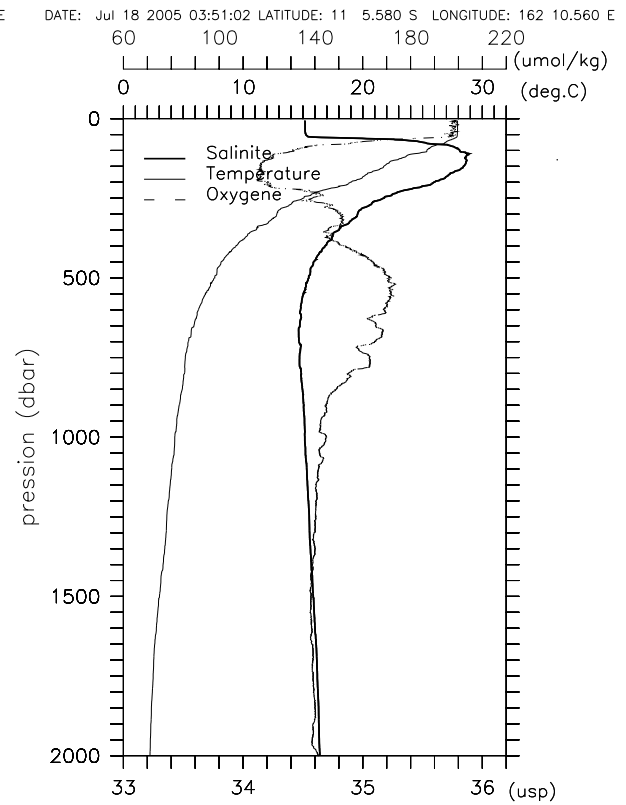
Secalis3 Station 15



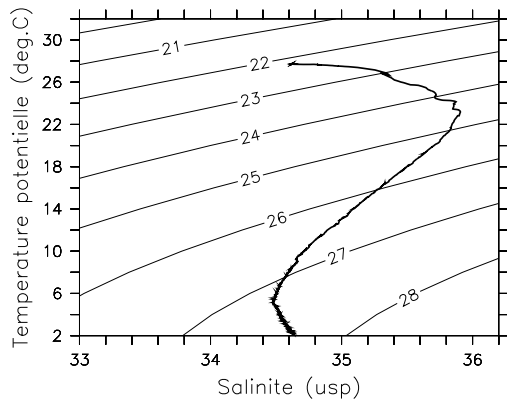
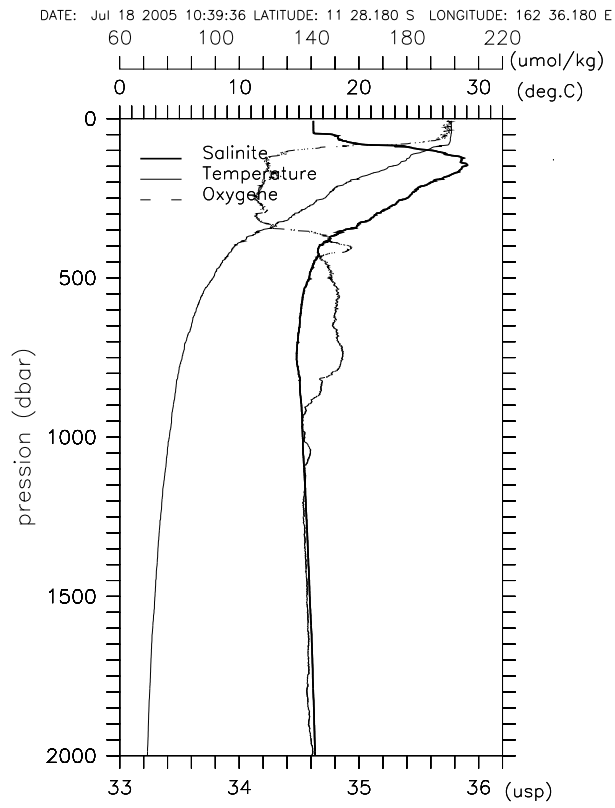
Secalis3 Station 16



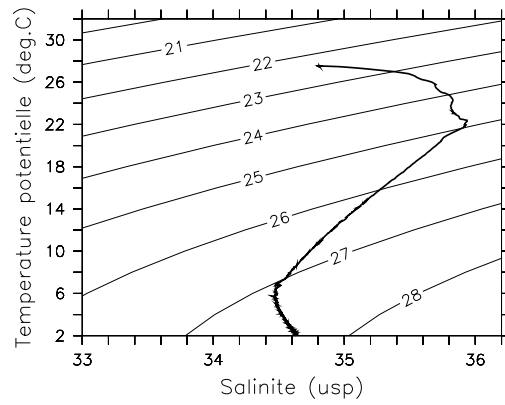
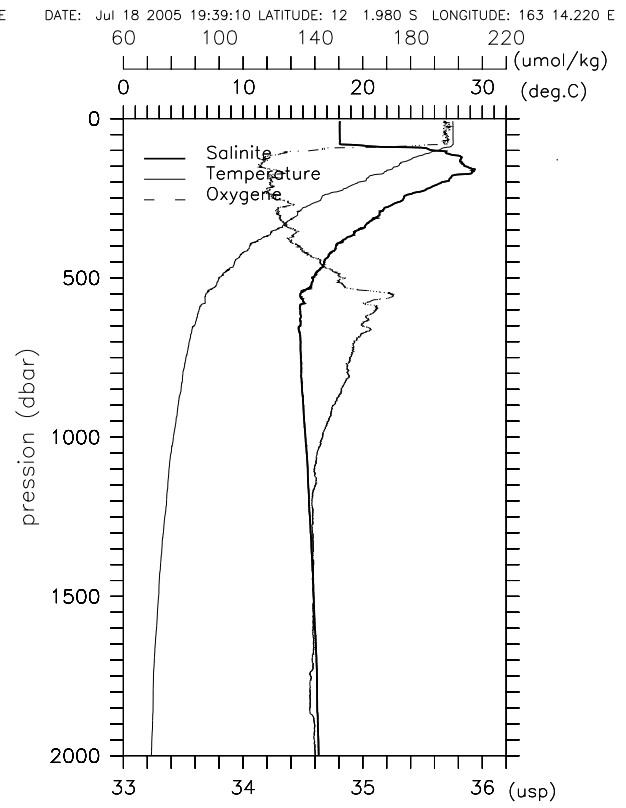
Secalis3 Station 17



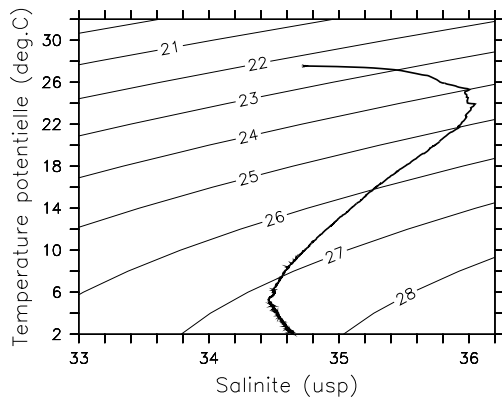
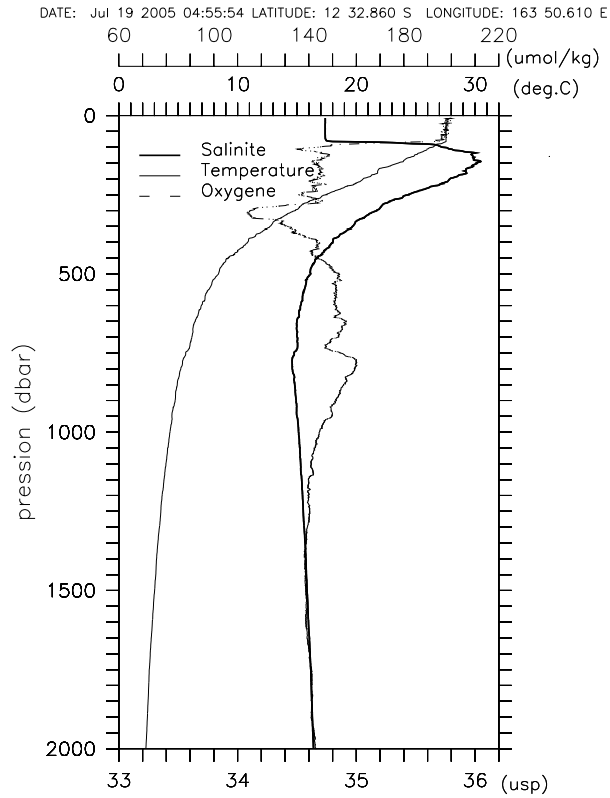
Secalis3 Station 18



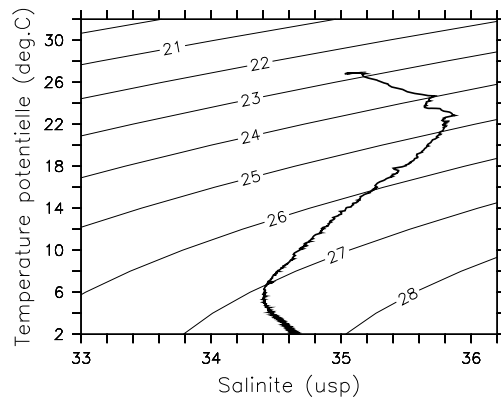
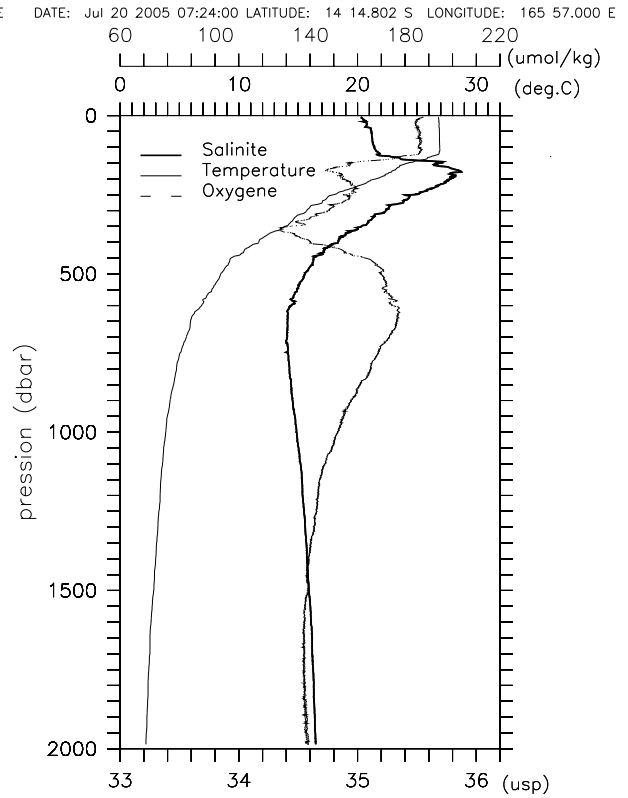
Secalis3 Station 19



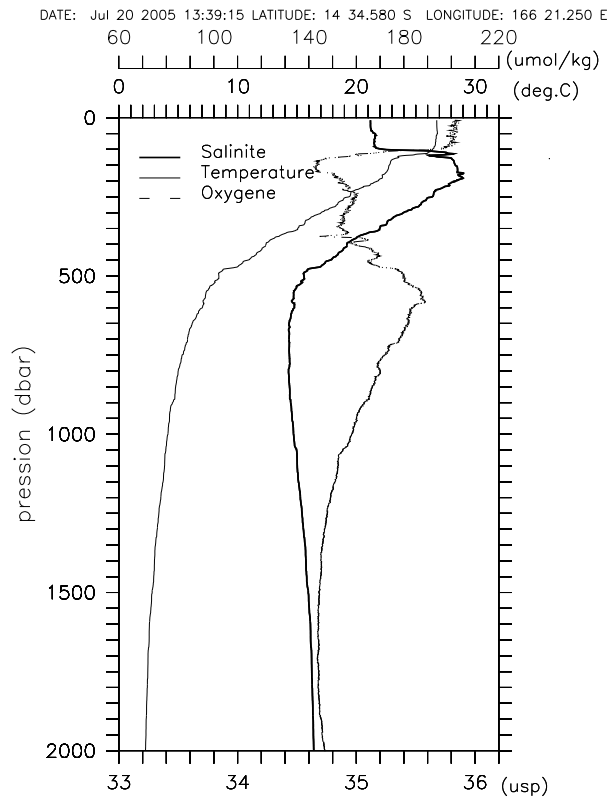
Secalis3 Station 20



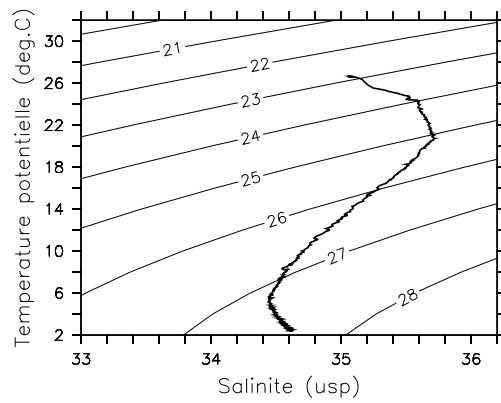
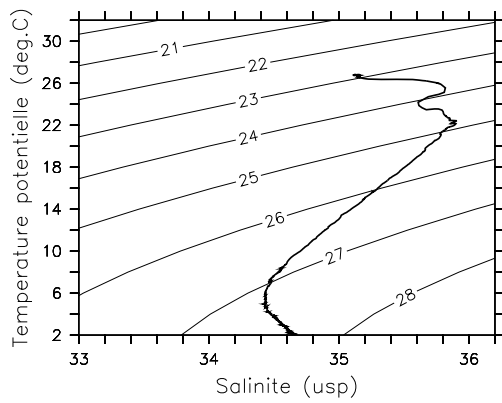
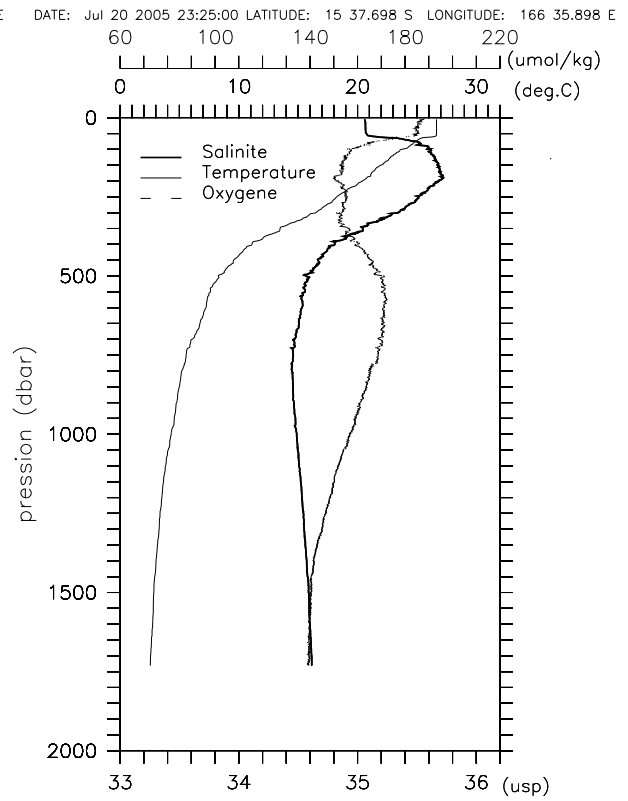
Secalis3 Station 21



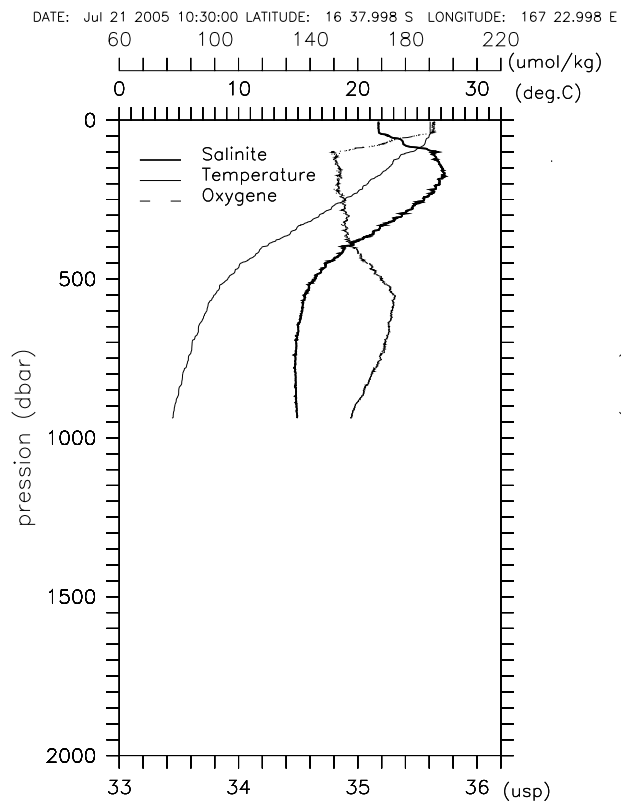
Secalis3 Station 22



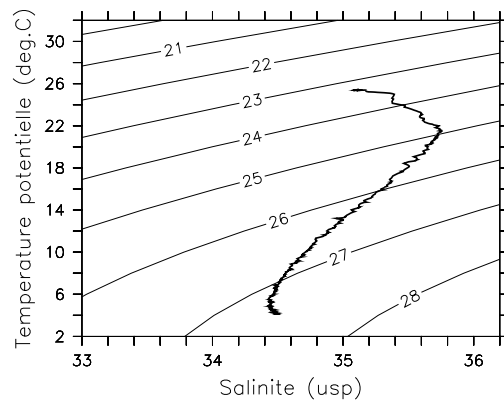
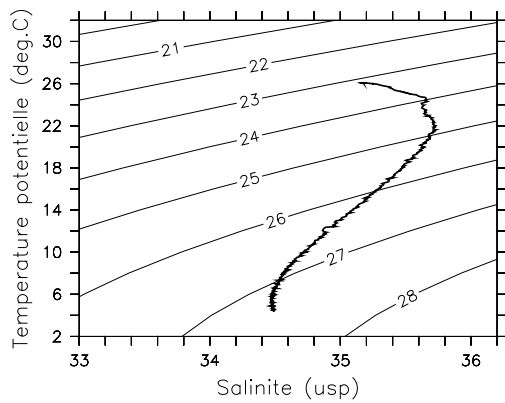
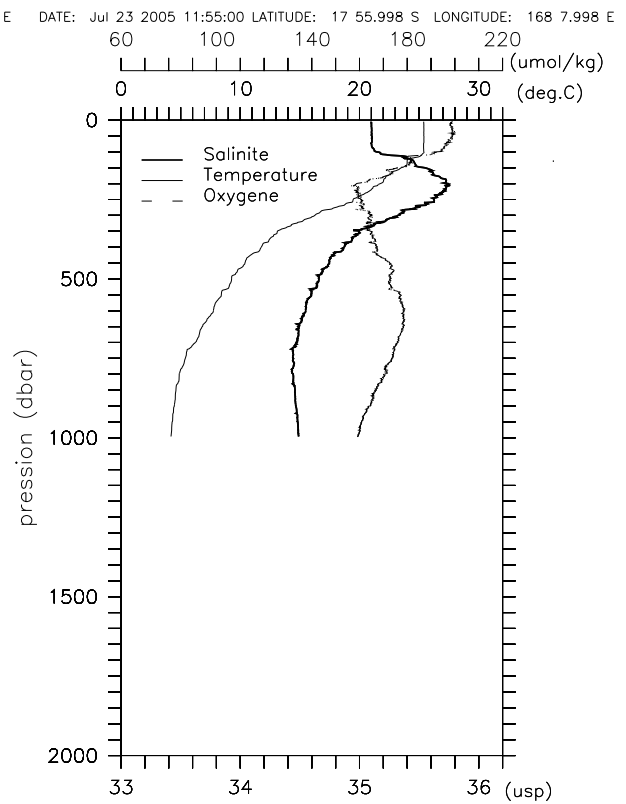
Secalis3 Station 23



Secalis3 Station 24

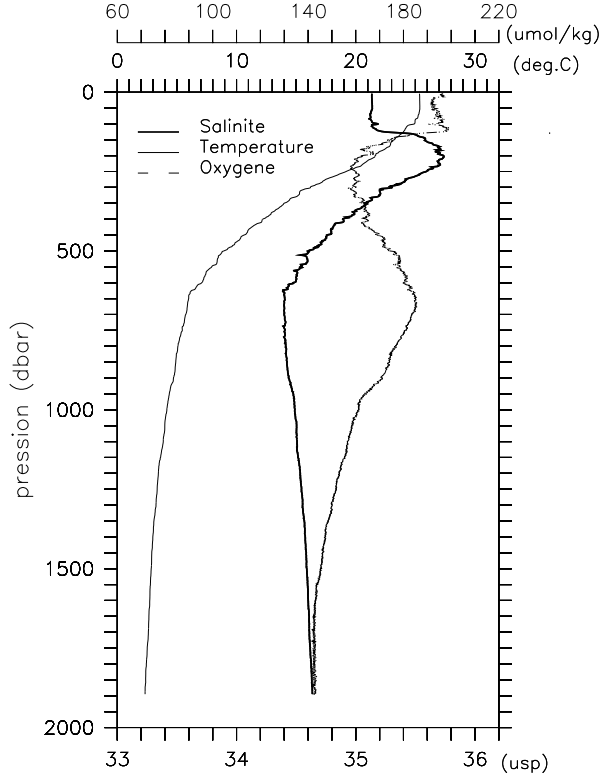


Secalis3 Station 25



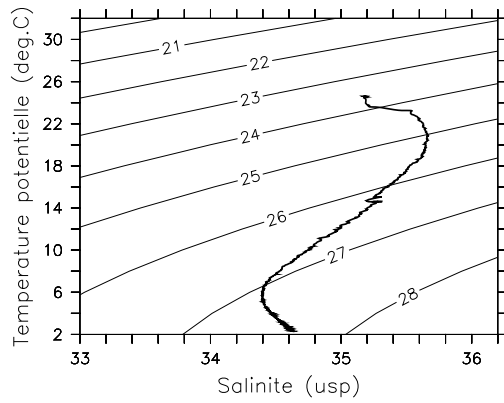
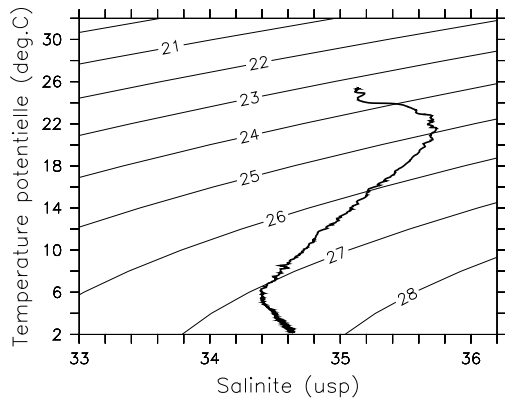
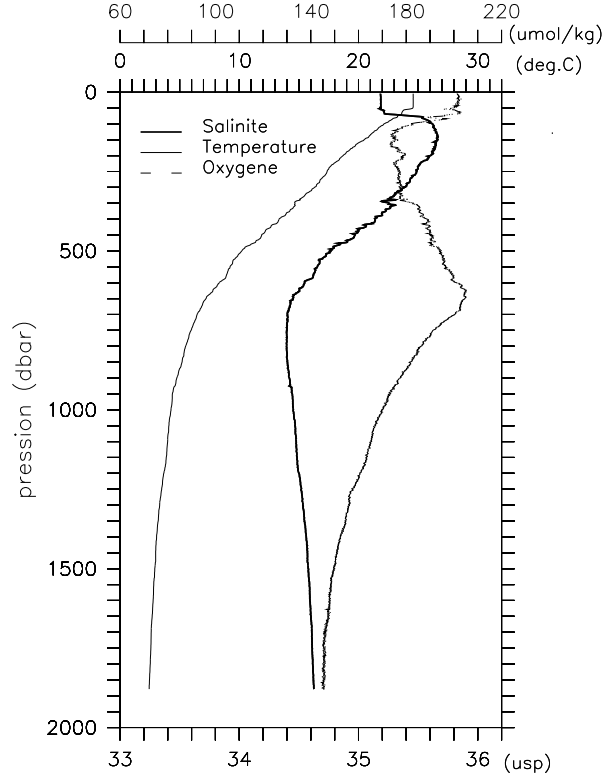
Secalis3 Station 26

DATE: Jul 23 2005 13:58:00 LATITUDE: 18 7.098 S LONGITUDE: 168 6.528 E

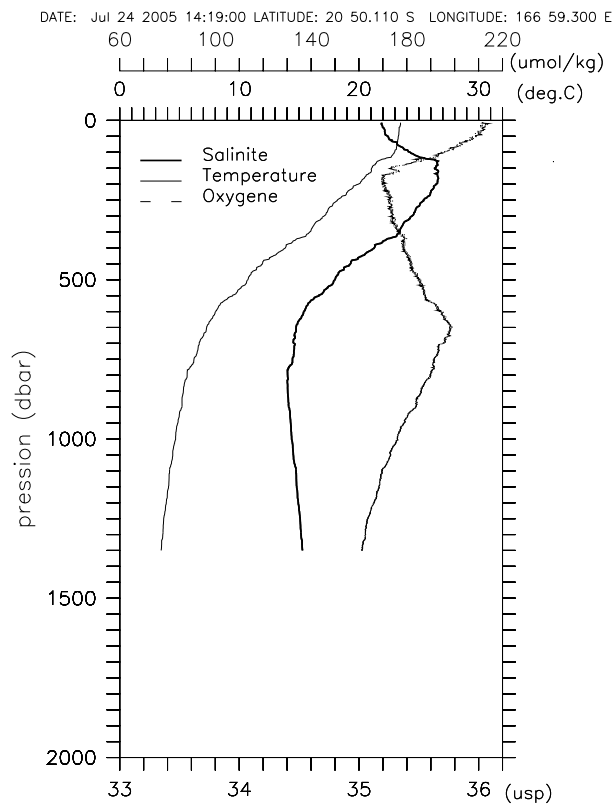


Secalis3 Station 27

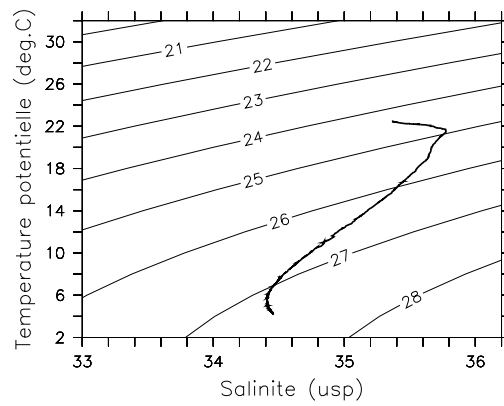
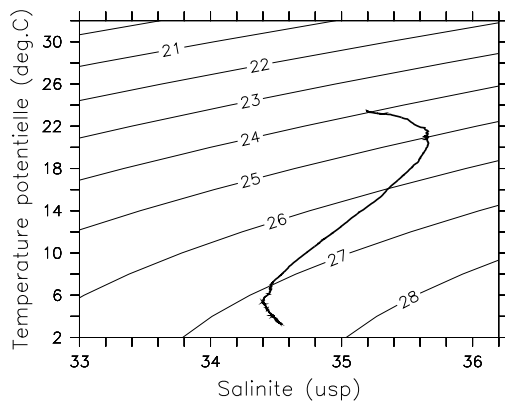
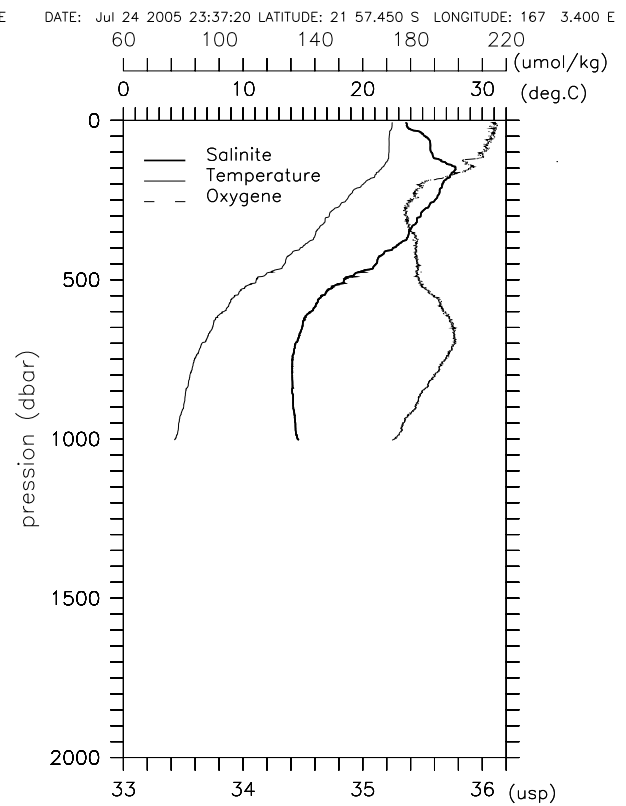
DATE: Jul 24 2005 09:33:00 LATITUDE: 20 21.042 S LONGITUDE: 167 5.328 E



Secalis3 Station 28

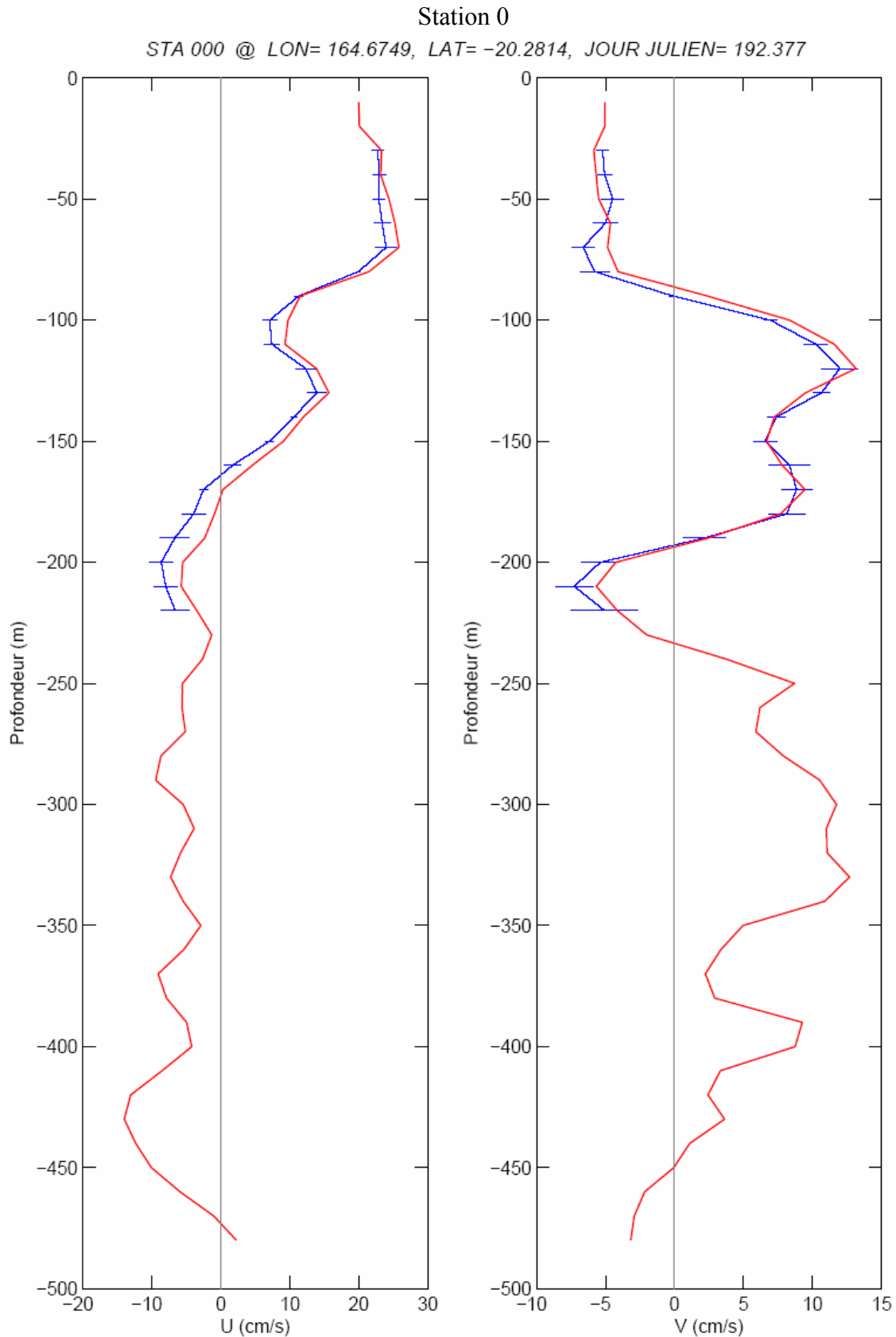


Secalis3 Station 29



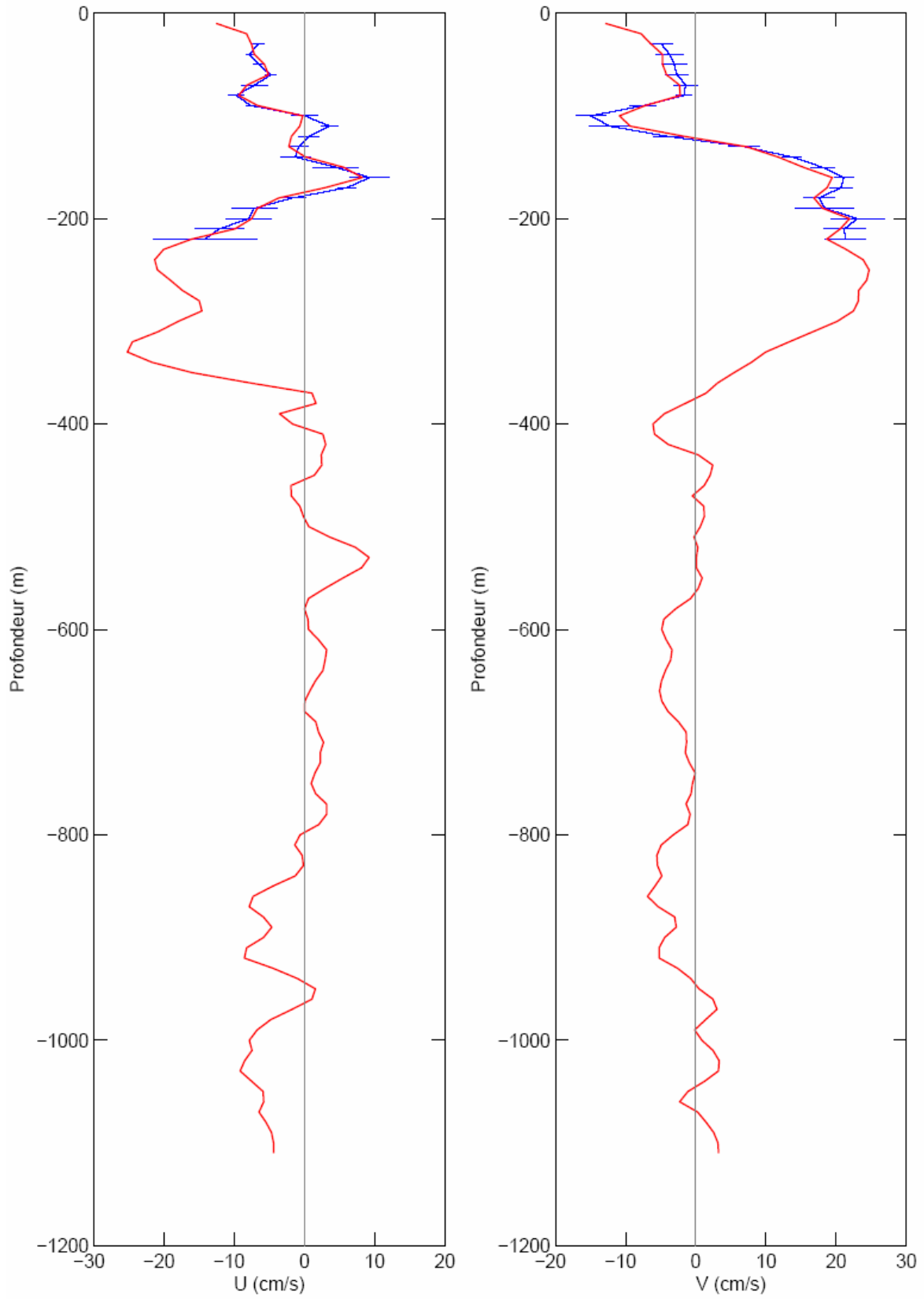
2.2 Courantométrie ADCP de sonde (LADCP) et de surface (SADCP)

Les figures suivantes donnent les courants zonaux et méridiens en fonction de la profondeur pour chaque station LADCP valide (trait rouge). Moyenne du courant VM-ADCP correspondant (trait bleu) et écart type du module (trait fin) pendant la station.

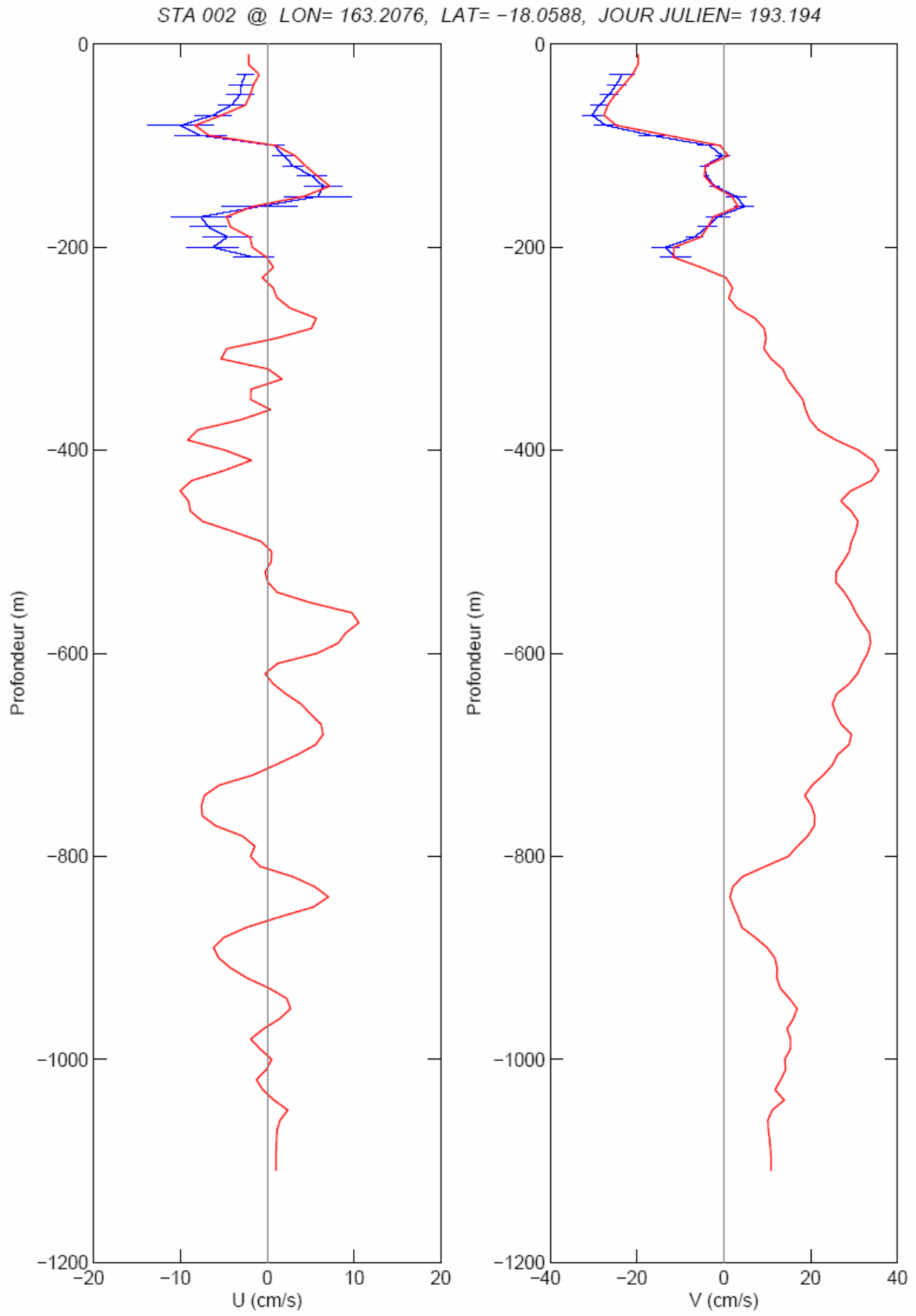


Station 1

STA 001 @ LON= 163.5846, LAT= -18.8697, JOUR JULIEN= 192.897

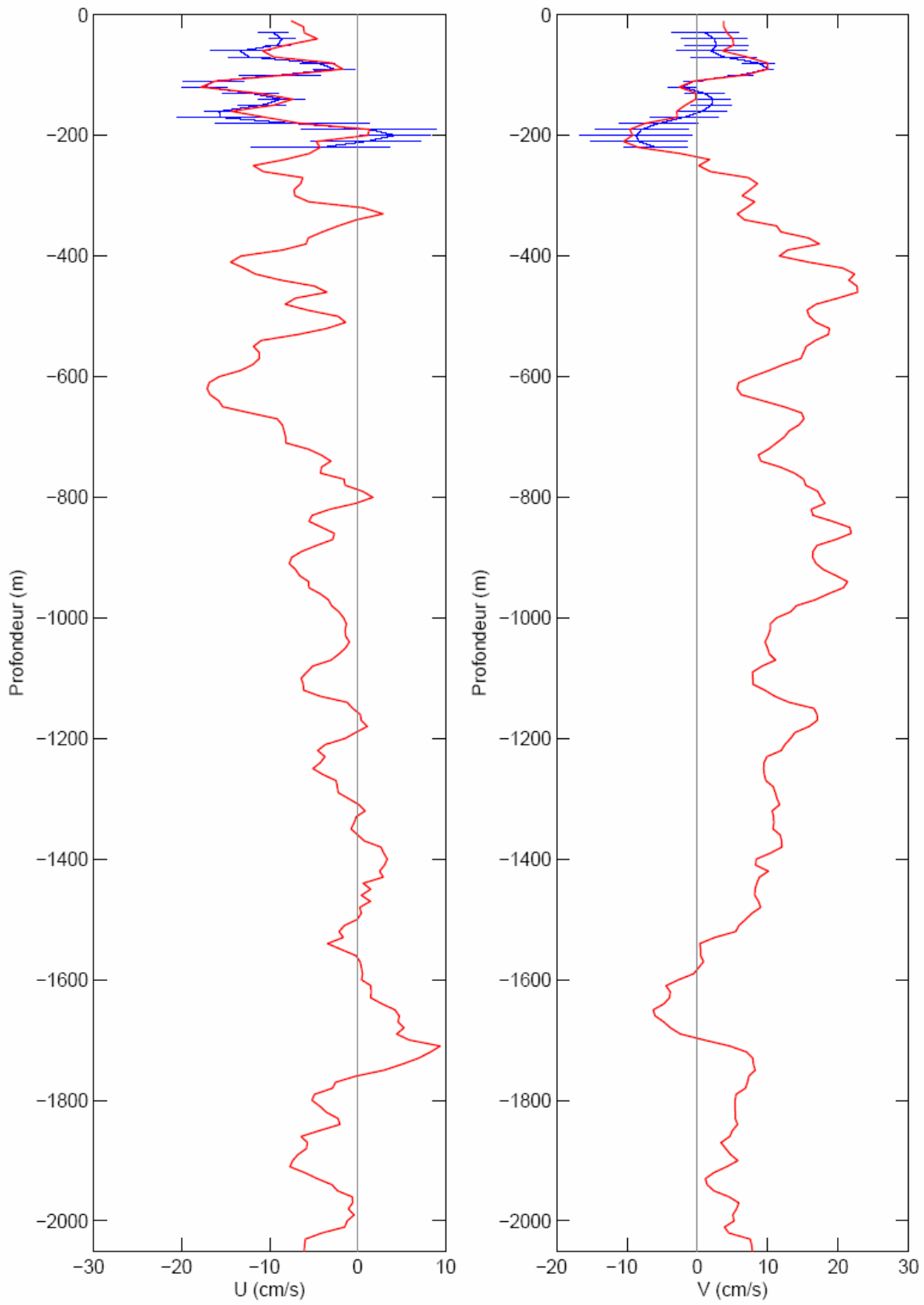


Station 2



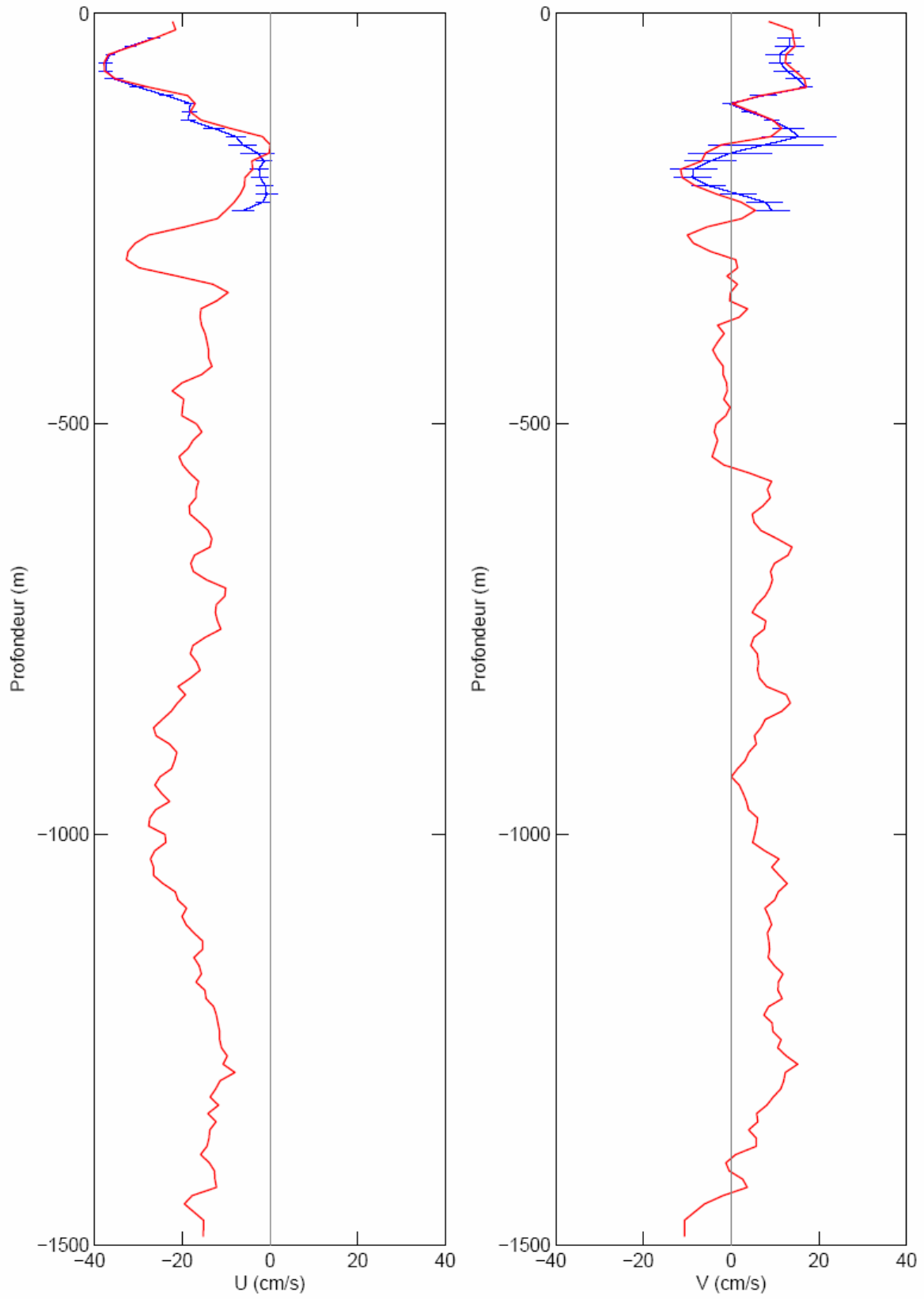
Station 3

STA 003 @ LON= 163.1511, LAT= -17.8183, JOUR JULIEN= 193.356



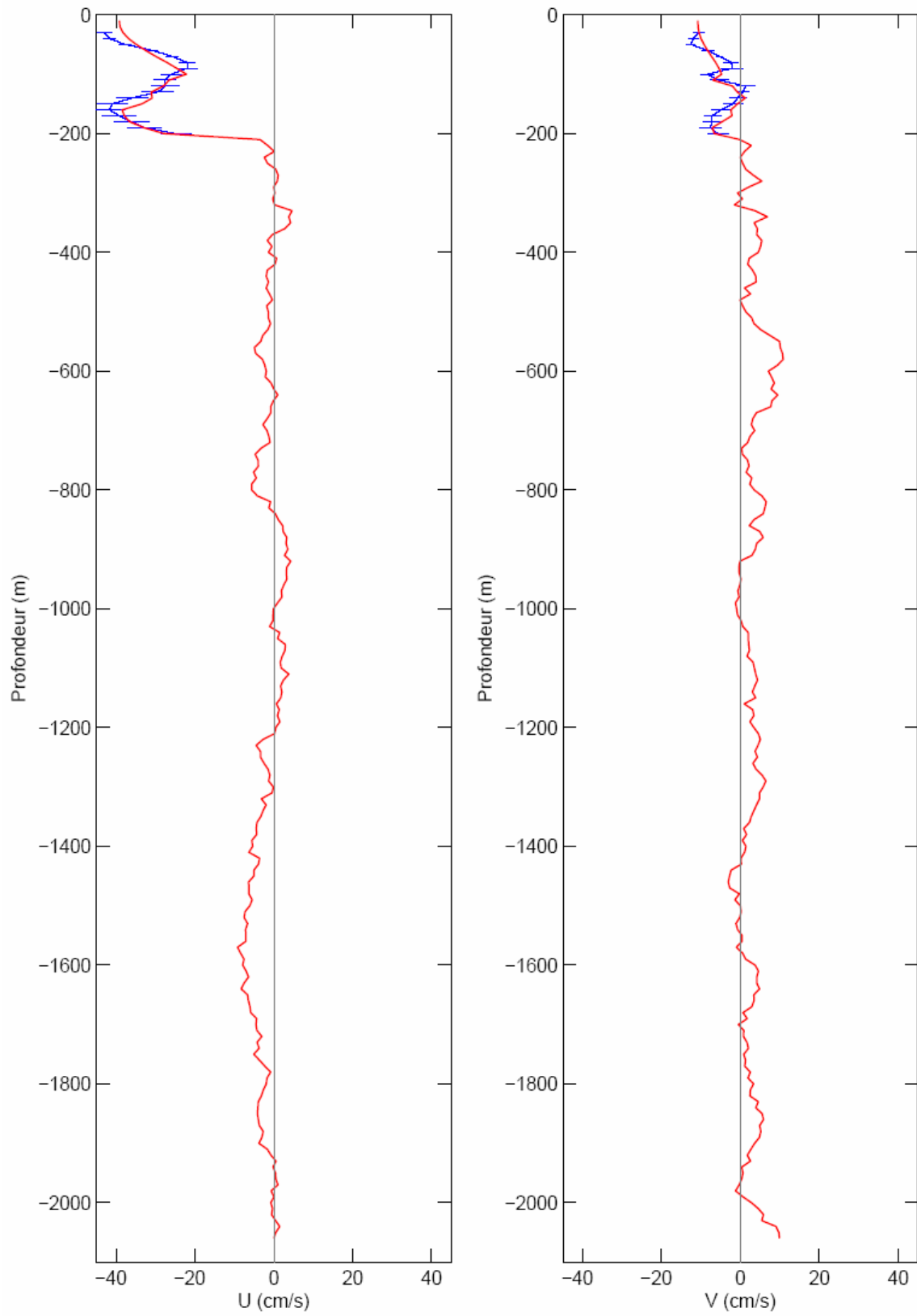
Station 4

STA 004 @ LON= 163.0677, LAT= -17.5486, JOUR JULIEN= 193.492



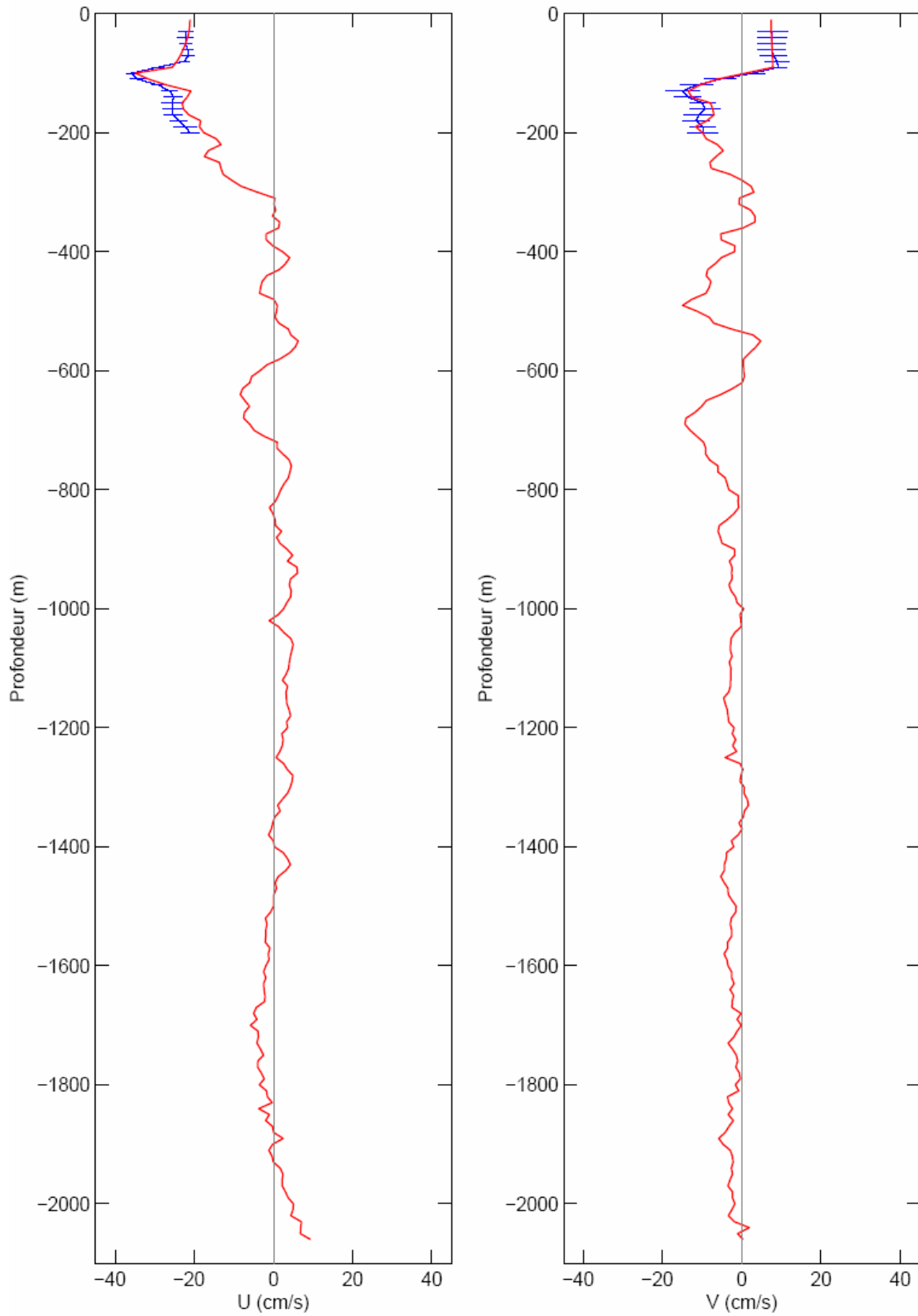
Station 17

STA 017 @ LON= 162.1775, LAT= -11.1013, JOUR JULIEN= 198.190



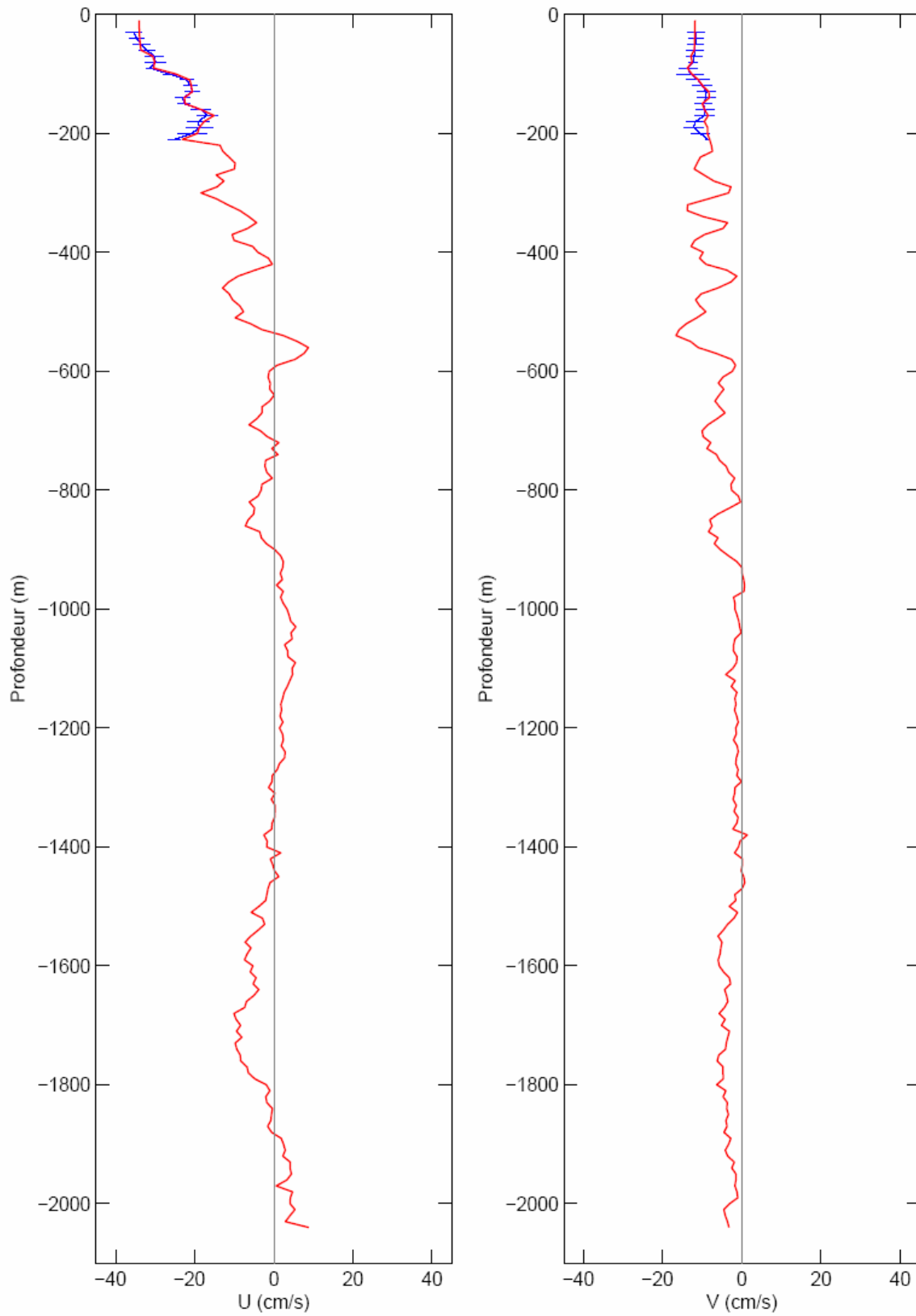
Station 19

STA 019 @ LON= 163.2424, LAT= -12.0348, JOUR JULIEN= 198.851



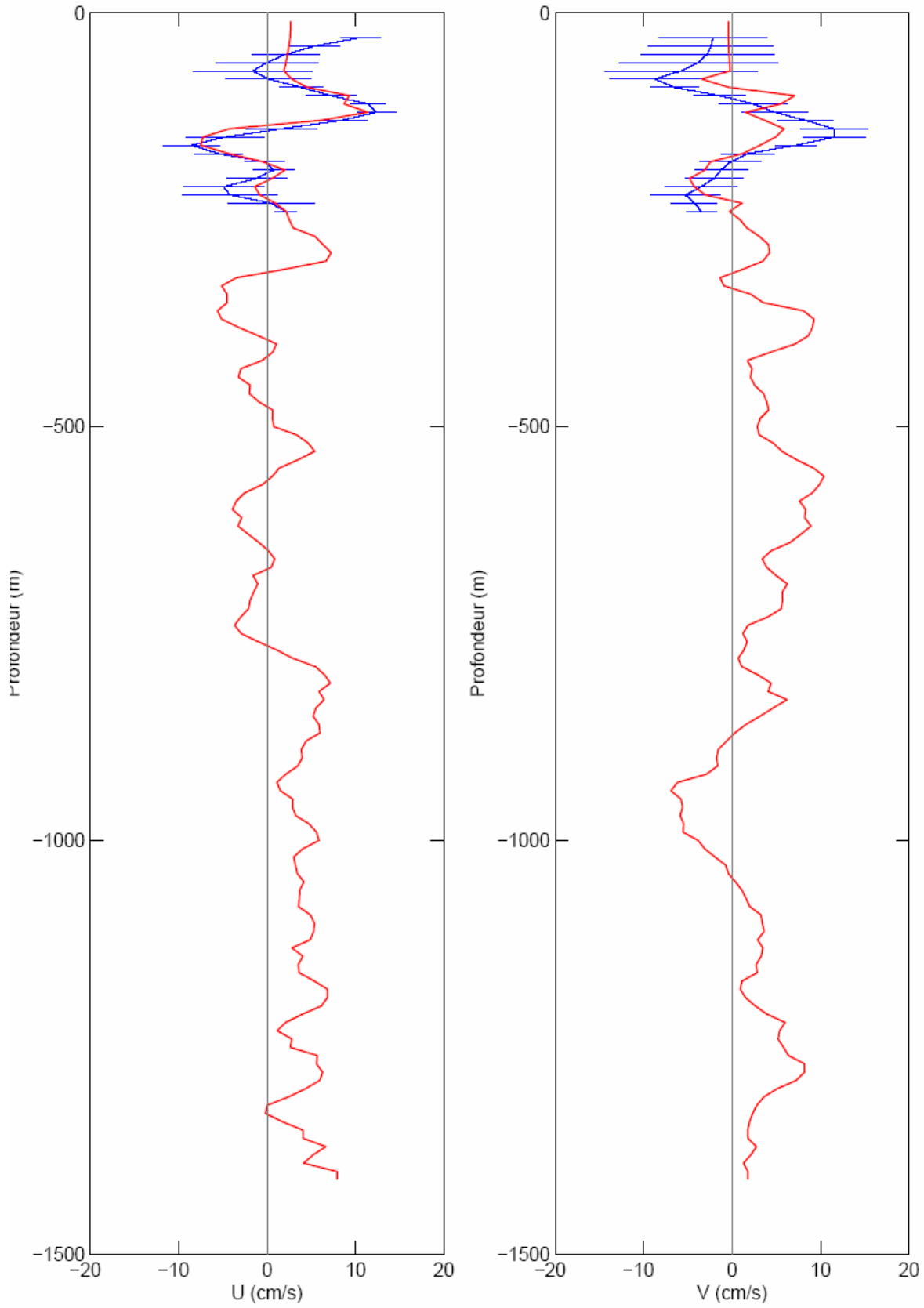
Station 20

STA 020 @ LON= 163.8493, LAT= -12.5555, JOUR JULIEN= 199.238



Station 28

STA 028 @ LON= 166.9967, LAT= -20.8409, JOUR JULIEN= 204.620



Station 29

