

RAPPORTS DE MISSIONS

SCIENCES DE LA MER
OCÉANOGRAPHIE PHYSIQUE

N° 19

2006

**Rapport de la mission
SECALIS 2
à bord du N.O. Alis
du 7 au 22 décembre 2004
25°S-16°S, 163°E-168°E**

**Alexandre GANACHAUD
Lionel GOURDEAU
Francis GALLOIS
Elodie KESTENARE
Andres VEGA
Martine RODIER
Léocadie JAMET
Bérengère VIGNAL
Gaël ALORY
Alain LAPETITE**



Institut de recherche
pour le développement

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

N° 19

2006

**Rapport de la mission SECALIS 2
à bord du N.O. Alis
du 7 au 22 décembre 2004
25°S-16°S, 163°E-168°E**

**Alexandre GANACHAUD
Lionel GOURDEAU
Francis GALLOIS
Elodie KESTENARE
Andres VEGA
Martine RODIER
Léocadie JAMET
Bérengère VIGNAL
Gaël ALORY
Alain LAPETITE**



**Institut de recherche
pour le développement**

© IRD, Nouméa, 2006

/Ganachaud, A.
/Gourdeau, L.
/Gallois, F.
/Kestenare, E.
/Vega, A.
/Rodier, M.
/Jamet, L.
/Vignal, B.
/Alory, G.
/Lapetite, A.

Rapport de la mission SECALIS 2 à bord du N.O. Alis du 7 au 22 décembre 2004, 25°S-16°S, 163°E-168°E.

Nouméa : IRD. Novembre 2006. 77 p.

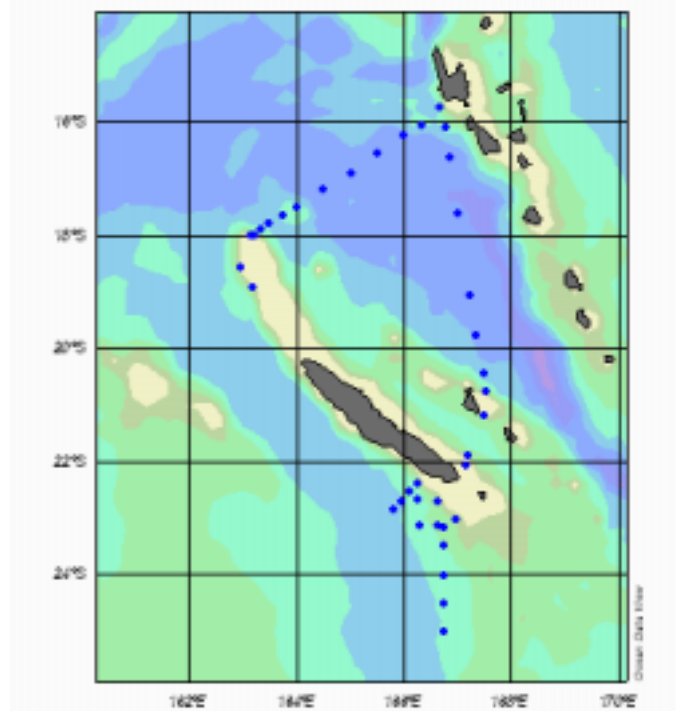
Missions : Sci. Mer; Océanogr. Phys; 19

CAMPAGNE OcéANOGRAPHIQUE; HYDROCLIMAT; CIRCULATION OcéANIQUE;
TEMPERATURE; SALINITE; VARIABILITE DECENNALE; ZONE TROPICALE / PACIFIQUE SUD
OUEST

Rapport de la Mission
SECALIS 2
à Bord du Navire Océanographique l'ALIS

SECALIS-2 Cruise Report

7-22 décembre 2004 ; 25°S-16°S, 163°E-168°E



Alexandre Ganachaud⁽¹⁾

L. Gourdeau⁽¹⁾

A. Vega^(1,2)

Martine Rodier⁽³⁾

A. Lapetite⁽³⁾

F. Gallois⁽⁴⁾

L. Jamet⁽⁵⁾

B. Vignal⁽⁵⁾

G. Alory⁽¹⁾

E. Kestenare⁽⁶⁾

⁽¹⁾UMR5566 IRD/LEGOS, Nouméa, Nouvelle Calédonie

⁽²⁾ZoNeCo, Nouvelle-Calédonie

⁽³⁾UR 99 CYANO, IRD, Nouméa, Nouvelle Calédonie

⁽⁴⁾US 25, IRD Nouméa, Nouvelle Calédonie

⁽⁵⁾US 122, IRD Nouméa, Nouvelle Calédonie

⁽⁶⁾UMR5566 IRD/LEGOS, Toulouse, France

RESUME

La Campagne SECALIS-2 fait partie d'une série de quatre 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 Equatoriale 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 la campagne SECALIS-1, 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 SECALIS-2 s'est déroulée à bord du navire océanographique l'ALIS, le long d'un parcours partant de Nouvelle Calédonie vers les îles Vanuatu et revenant par le nord du récif néo-calédonien. Malgré les conditions lourdement défavorisées par une panne mécanique majeure, 40 profils de température et salinité à la sonde CTD (0-2000 m) ont été effectués. En parallèle, ont été réalisés des prélèvements discrets sur les bouteilles Niskin pour l'analyse de la salinité, de l'oxygène, sur un câble différent, à l'aide de messagers et dans les 200 premiers mètres seulement. Des mesures de courants (0-250 m) en continu 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 enregistrées toutes les minutes. Cette campagne a également permis le largage de 4 bouées dérivantes. Ce rapport décrit le déroulement de la campagne ainsi que le matériel et les méthodes utilisés. Il présente également les figures préliminaires correspondant aux premiers résultats.

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

ABSTRACT

The SECALIS-2 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 all the way to the Australian coast. This cruise, along with the Secalis-1 cruise, 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 SECALIS-2 cruise was carried out from R/V ALIS from New Caledonia to Vanuatu, and return to New Caledonia through the northern reef tip. Although heavily hampered by a major mechanical failure, 40 temperature and salinity profiles were obtained with the CTD probe (0-2000m). Simultaneously, discrete samples were taken from Niskin bottles to analyze biochemical variables during the first leg southwest of New Caledonia, down to 120m and salinity down to 200m during the whole cruise. 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 release of 4 surface drifting buoys. This report describes the cruise and the materials and methods that were used. Preliminary results are also displayed.

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

REMERCIEMENTS

Les campagne hauturière sous ces latitudes ventées poussent à la limite de ces possibilités un navire de 28 mètres, et nous remercions l'équipage du NO ALIS, aux compétences hors normes : le commandant Le Houarno, les officiers et matelots, pour leur professionnalisme, leur disponibilité et leur serviabilité. Le sourire et l'humour sont restés omniprésents, même dans les conditions les plus extrêmes de mauvaise météo et de défaillances matérielles.

Les autorisations de travail pour le Vanuatu ont été obtenues grâce aux interventions de la direction du Centre IRD de Nouméa de l'ambassade de France au Vanuatu. Nous remercions sincèrement cette Ambassade ainsi que le gouvernement du Vanuatu pour son autorisation.

De nombreux aspects techniques et logistiques ont été mis en œuvre 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 de mise au point de François Baurand (US 25, Brest) et Rémy Chuchla (LEGOS, IRD), et l'aide de Philippe Gérard (IRD-Nouméa). 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 avec en interaction avec Creg Engler.

La campagne SECALIS-2 a été financée par l'IRD, et soutenue par la commission flotte de l'OPCB.

ACKNOWLEDGMENTS

A seafaring cruise under those windy latitudes reaches the limits of a 28-meter ship, and we thank the RV ALIS crew, officers and sailors for their exceptional competence, professionalism, availability and helpfulness. Smile and good mood were omnipresent, even in the extreme bad weather or material failure conditions.

Working authorizations in Vanuatu waters were granted through the IRD direction request to the French embassy. We sincerely thank the Embassy as well as the Vanuatu, Government for his authorizations.

Many logistical and technical aspects were worked out successfully by Paul Mazoyer, Jean-Yves Panche and Pierre Gode from the IRD-Noumea center, as well as the seagoing IRD bureau. Oxygen analyses have been setup with the advices from François Baurand (US 25, Brest), and Remy Chuchla (LEGOS, Brest) and the help from Philippe Gérard (IRD-Nouméa). 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 SECALIS-2 cruise was supported by IRD and the OPCB (National fleet commission).

Table des matières

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | Introduction | 8 |
| 2 | Déroulement de la campagne | 8 |
| 2.1 | Travaux réalisés en station | 9 |
| 2.2 | Travaux réalisés en route..... | 10 |
| 2.3 | Personnel scientifique embarqué..... | 10 |
| 2.4 | Personnel du bord embarqué..... | 10 |
| 3 | Hydrologie..... | 11 |
| 3.1 | Sonde CTD-Oxygène et calibration | 11 |
| 3.1.1 | Présentation des sondes utilisées stations 1-8 | 11 |
| 3.1.2 | Présentation des sondes utilisées stations 9-40 | 12 |
| 3.1.3 | Déroulement des travaux..... | 13 |
| 3.1.4 | Calibration de la température et de la salinité stations 9 à 40 | 13 |
| 3.1.5 | Calibration de la température et de la salinité stations 1 à 8 | 18 |
| 3.1.6 | Calibration de l'oxygène..... | 19 |
| 3.1.7 | Contenu et format des fichiers générés..... | 20 |
| 3.1.8 | Sections de température et salinité | 21 |
| 3.2 | Mesures de salinité | 24 |
| 3.2.1 | Prélèvement des échantillons | 24 |
| 3.2.2 | Equipement..... | 25 |
| 3.2.3 | Analyse des échantillons | 25 |
| 3.2.4 | Résultats | 25 |
| 3.3 | Mesures d'oxygène | 25 |
| 3.3.1 | Technique d'échantillonnage | 25 |
| 3.3.2 | Analyse des échantillons | 26 |
| 3.3.3 | Précautions particulières | 27 |
| 3.3.4 | Contrôle des réactifs pendant la campagne | 27 |
| 3.3.5 | Détermination de la concentration d'oxygène des échantillons | 28 |
| 4 | Thermosalinographe..... | 29 |
| 5 | Mesures de courants par le profileur de coque à effet Doppler (VM-ADCP) | 32 |
| 5.1 | Introduction | 32 |
| 5.2 | Equipement..... | 32 |
| 5.3 | Acquisition | 32 |
| 5.4 | Traitement des données | 33 |
| 5.4.1 | Constitution d'une base de données | 33 |
| 5.4.2 | Vérification des profils relatifs..... | 33 |
| 5.4.3 | Intégration de la navigation..... | 33 |
| 5.4.4 | Etalonnage..... | 33 |
| 5.4.5 | Contrôle de qualité | 35 |
| 5.4.6 | Présentation des résultats | 35 |
| 6 | Mesures météorologiques..... | 43 |
| 7 | Mesures chimiques | 45 |
| 7.1 | Mesure en continu de la pression partielle du CO2 | 45 |
| 7.2 | Sels nutritifs (ammonium, nitrates, nitrites, phosphates)..... | 46 |
| 7.2.1 | Ammonium (NH ₄ ⁺) | 46 |
| 7.2.2 | Nitrates (NO ₃ ⁻) et Nitrites (NO ₂ ⁻)..... | 46 |
| 7.2.3 | Phosphate soluble réactif (PO ₄ ⁻ ou PSR)..... | 47 |
| 8 | Mesures biologiques..... | 47 |
| 8.1 | Chlorophylle "a" (Chla) et phéopigments(Phéo)..... | 47 |
| 8.2 | Mésozooplancton (200-2000µm)..... | 47 |

| | | |
|----|--|----|
| 9 | Bouées dérivantes..... | 53 |
| 10 | Références | 54 |
| 11 | Annexe 1 : Photos | 55 |
| 12 | Annexe 2 : Chronologie détaillée de la campagne..... | 56 |
| 13 | Annexe 3 : Profils CTD..... | 57 |

Liste des figures

| | |
|---|----|
| Figure 1 : Stations effectuées pendant la campagne SECALIS-2..... | 9 |
| Figure 2 : Ecart entre les données température calibrées issues de la station 31 de Secalis-2 et des stations à 17°S, 165°E des campagnes Frontalis 2 et 3. | 15 |
| Figure 3 : Ecart entre les données salinité calibrées issues de la station 31 de Secalis-2 et des stations à 17°S, 165°E des campagnes Frontalis 2 et 3..... | 15 |
| Figure 4 : profil de la station 31 après traitement, comparé à la climatologie CARS..... | 16 |
| Figure 5 : Statistiques des déviations de salinité entre les données CTD et CARS : écart moyen sur toutes les stations (9-40) (trait continu) et écart type des déviations (cercles). | 16 |
| Figure 6 : Comparaison des mesures CTD et prélèvement salinité entre 0 et 200 mètres (stations 10 à 40) | 17 |
| Figure 7 : Statistiques des déviations de salinité entre les données CTD et CARS : écart moyen sur les stations (1-8) (trait continu) et écart type des déviations (cercles). | 18 |
| Figure 8 : Comparaison des mesures CTD et prélèvement salinité entre 0 et 200 mètres (stations 1 à 8) | 19 |
| Figure 9 : Température potentielle et salinité sur les radiales ouest (et carte du détail des stations) | 21 |
| Figure 10 : Température potentielle et salinité sur la radiale sud | 22 |
| Figure 11 : Température potentielle et salinité sur la radiale Est (Havannah-Santo) | 23 |
| Figure 12 : Température potentielle et salinité le long de la section Nord (Santo-Huon) et du grand passage (ouest) | 23 |
| Figure 13 : Evolution du titre du thiosulfate. Il varie entre 1,996.10 ⁻² et 2,010.10 ⁻² , soit une très légère évolution de cette normalité..... | 28 |
| Figure 14 : Données salinité du TSG SBE 21. Les croix dénotent les prélèvements bouteille. | 30 |
| Figure 15 : Données TSG 21 de salinité sur la partie nord de la campagne. | 30 |
| Figure 16 : Données TSG 21 de salinité sur la partie ouest de la campagne. | 31 |
| Figure 17 : Données TSG 21 de salinité sur la partie sud de la campagne. | 31 |
| Figure 18 : 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)..... | 34 |
| Figure 19 : Histogrammes de A et ϕ et différences d'horloges GPS-ADCP après application de la correction GPS-gyro. | 35 |
| Figure 20 : S-ADCP, section perpendiculaire au récif de Nouvelle Calédonie devant la passe de Boulari | 36 |
| Figure 21 : S-ADCP, Section zonale au large du récif sud de Nouvelle-Calédonie | 37 |
| Figure 22 : S-ADCP, section zonale 2, au large du récif sud de Nouvelle-Calédonie..... | 38 |
| Figure 23 : S-ADCP, section méridienne Sud, aller | 39 |
| Figure 24 : S-ADCP, section méridienne Sud-retour..... | 40 |
| Figure 25 : Section Nouvelle-Calédonie (Havannah) - Vanuatu | 41 |
| Figure 26 : S-ADCP, section Vanuatu-Récif Nord (à droite) et grand passage ouest (à gauche) | 42 |
| Figure 27 : S-ADCP, section Récif Nord-Nouméa à l'extérieur de la côte ouest..... | 43 |
| Figure 28 : Vent et humidité relevés le long d'une partie de la trajectoire ouest par la station BATOS. La flèche de référence indique 10 noeuds..... | 44 |
| Figure 29 : Vent et humidité relevés le long de la trajectoire du deuxième leg par la station BATOS. La flèche de référence indique 10 noeuds..... | 44 |

| | |
|--|----|
| Figure 30 : Pression partielle de CO ₂ (ppm), avec température et salinité TSG, Ouest de la Nouvelle-Calédonie..... | 45 |
| Figure 31 : Pression partielle de CO ₂ (ppm), avec température et salinité TSG, partie sud. . | 46 |
| Figure 32 : Données d'Ammonium, radiale ouest : (haut) position des stations ; (gauche) : section nord large-côte ; (milieu) : section intermédiaire le long du récif ouest ; (droite) section sud côte-large. Les numéros de station sont donnés au dessus de chaque graphique..... | 48 |
| Figure 33 : Idem Figure 32 pour NO ₃ et NO ₂ | 49 |
| Figure 34 : Idem Figure 32 pour le phosphate soluble réactif..... | 50 |
| Figure 35 : Idem Figure 32 pour la chlorophylle-A (haut) et la fraction de taille > 10µm (chl _{a10} , en pourcentage du total)..... | 51 |
| Figure 36 : Idem Figure 32 pour le Phéopigment..... | 52 |
| Figure 37 : Prélèvements zooplancton (poids secs corrigés d'un facteur de 3). | 52 |
| Figure 38 : Trajectoire des la bouées dérivantes. Les trajectoires sont marquées toutes les 12 heures | 53 |

1 Introduction

Aux alentours de la Polynésie Française (15°S), l'eau de thermocline (la thermocline est une zone de gradient vertical de température séparant les eaux chaudes de surface des eaux froides de sub-surface) est en contact avec la surface. Elle y acquiert certaines propriétés physiques de température et de salinité avant de plonger de 100 à 200 mètres et de nourrir le grand Courant Equatorial Sud (CES) qui se déplace vers l'ouest. Une étude publiée en 2000 à partir d'un modèle numérique a révélé qu'à la rencontre des nombreux obstacles topographiques que forment la Nouvelle-Calédonie, le Vanuatu et Fidji, le CES se scinde en veines de forts courant. Ces veines, assimilables à des jets, traversent alors uniformément la Mer de Corail avant de rencontrer la côte Australienne. Les eaux bifurquent alors, une partie rejoignant le grand courant Est Australien au sud, l'autre partie remontant, le long de la côte, vers la Papouasie Nouvelle Guinée puis l'Equateur. Ainsi, par ce cheminement océanique original, les eaux du Pacifique sud-ouest alimentent en partie les eaux équatoriales, participant de ce fait à la modulation d'El Niño. Une série de campagnes océanographiques dédiée à ces jets (campagnes SECALIS, 2003-2004-2005, puis lâcher du Glider GLALIS en juillet 2005) a permis de mesurer les forts courants suspectés au nord et au sud du récif néo-calédonien.

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).

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.

La campagne SECALIS-2 a été gravement handicapée par le dysfonctionnement du treuil hydrographique (fuite hydraulique dans le système de freinage dès la première station). Une solution de secours a été adoptée, en mettant une sonde autonome attachée au bout du câble d'un treuil de pêche. De ce fait, les LADCP n'ont pu être utilisés. Des échantillons ont pu être pris sur les 200 premiers mètres seulement en utilisant un messenger sur des bouteilles attachées le long d'un petit câble, avec les inconvénients que cela comporte (faible précision pour la profondeur et échantillons non simultanés à la sonde).

2 Déroutement de la campagne

La campagne SECALIS-2 s'est déroulée en trois temps. Après une station d'essai dans le lagon de Nouvelle-Calédonie (test des appareils) le 7 décembre 2004, le NO ALIS a appareillé le 8 décembre vers le large. Dès la première station, une défection du treuil hydrologique a contraint un retour à quai immédiat (frein hydraulique cassé et fuite de liquide hydraulique). La panne n'étant pas réparable, une solution alternative a été mise en place, utilisant les treuils de pêche, avec un câble de 200 mètres sans troncannage pour les prélèvements par bouteilles et messagers. Parallèlement, une sonde CTD autonome était descendue à 500 mètres, puis 2000 mètres, sur un autre treuil de pêche. L'ALIS a pris la mer à nouveau le 9 décembre pour une première série de stations hydrologiques devant la côte ouest néo-calédonienne, suivie d'une tentative de mise à l'eau d'un prototype de mouillage. Après un changement d'équipage le 12 décembre, et dans l'attente d'une escale de réparation à Nouméa, une section a été effectuée le long de 166.7°E à partir de la pointe sud-ouest du récif néo-calédonien jusqu'à 25°S. L'ALIS a fait escale à Nouméa le 14 décembre pour une

tentative de réparation du treuil hydrologique. La pièce cassée n'ayant pu être livrée à temps, l'ALIS a dû reprendre la mer ce même jour pour effectuer, toujours avec la sonde CTD autonome, et le système à messagers, les sections Sud-Est Nouvelle-Calédonie – Vanuatu et Vanuatu-Nord Nouvelle-Calédonie, avant un retour à Nouméa le 22 décembre. Sans la dévotion de l'équipage, cette campagne aurait été purement et simplement annulée, suite à la défection du treuil hydraulique. Les mesures sont bien moins complètes qu'anticipé : la rosette n'étant pas utilisée, nous n'avons pas de données LADCP ; et la CTD autonome SBE19 est beaucoup moins fiable que la SBE911p. Les prélèvements ont aussi été extrêmement limités par l'utilisation de messagers avec limitation aux 200 premiers mètres et de grandes incertitudes dans la profondeur.

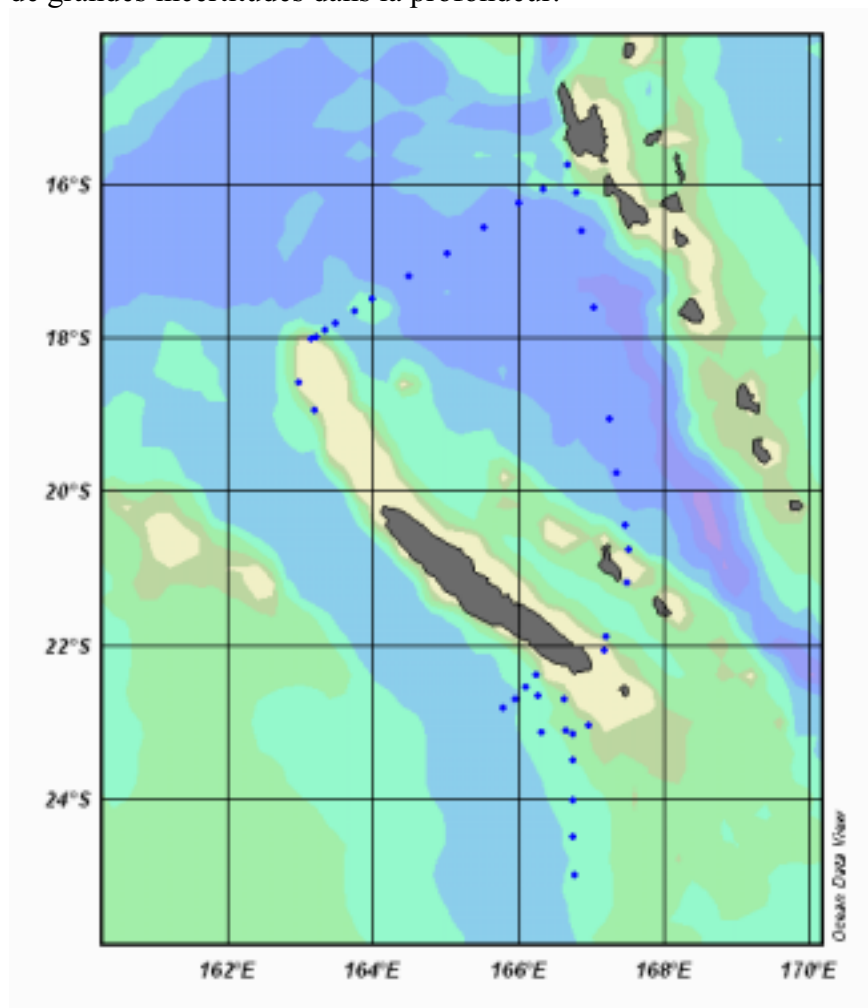


Figure 1 : Stations effectuées pendant la campagne SECALIS-2.

2.1 Travaux réalisés en station

40 stations hydrologiques CTD (0-500m et 0-2000m) ont été effectuées.

Chronologie sommaire (détail en annexe) :

- 7 décembre : station d'essai proche de Nouméa
 - Station CTD et LADCP
- 8 décembre
 - Départ de Nouméa ; Panne treuil hydrologique ; Retour Nouméa
- 9-11 décembre
 - Stations 1-8 CTD 500m et biochimie
- 10 décembre
 - Pose mouillage
- 11 décembre

- Escale à Nouméa
- Départ vers site mouillage
- 12 décembre
 - Récupération mouillage
 - Radiale Sud : Stations 9-14 CTD 2000m et oxygène
- 13 décembre
 - Escale à Nouméa (tentative de réparation treuil)
- 14-20 décembre
 - Boucle Nord : Stations 15-41 CTD 2000m et oxygène
- 22 décembre : Arrivée 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 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

| | | |
|---------------------|---------------------|--------------------------|
| Alexandre Ganachaud | CR, Chef de mission | LEGOS, IRD Nouméa |
| Francis Gallois | IE | US25, IRD Nouméa |
| Andres Vega | IE, Leg 1 | LEGOS, IRD Nouméa/Zoneco |
| Martine Rodier | CR, Leg 1 | UR99, IRD Nouméa |
| Alain Lapetite | TRA, Leg 1 | UR99, IRD Nouméa |
| L. Jamet | ARA, Leg 1 | US122, IRD Nouméa |
| Lionel Gourdeau, | CR, Leg 2 | LEGOS, IRD Nouméa |
| B. Vignal | VCAT, Leg 2 | US122, IRD Nouméa |
| G. Alory | CDD, Leg 2 | LEGOS, IRD Nouméa |

2.4 Personnel du bord embarqué

| | |
|-----------------------|----------------------|
| Hervé Le Houarno | Commandant |
| Jean François Barazer | Second |
| Robert Zamora | Lieutenant |
| Jean-Charles Ollivier | Chef Mécanicien |
| Alain David | Second Mécanicien |
| Sébastien Canet | Troisième Mécanicien |
| Jacques Quenenoj | Cuisinier |
| Nicolas Josse | Maître d'hôtel |
| Liufau Félice | Bosco |
| Guy Lalie | Matelot |
| Garcia Jean-Paul | Matelot |



3 Hydrologie

3.1 Sonde CTD-Oxygène et calibration

La campagne s'est effectuée avec une sonde CTD autonome de secours descendue à l'aide du treuil de pêche (câble 18mm). Une pompe externe relie les différents capteurs, afin d'assurer une meilleure synchronisation de leurs réponses. Pour plus de détails sur les différents capteurs de la SEABIRD 19/ 19p, se référer au site internet du constructeur : <http://www.seabird.com/>.

3.1.1 Présentation des sondes utilisées stations 1-8

La sonde hydrologique CTD utilisée est une sonde SEABIRD de type SBE19+, 19P30415-4310. La sonde comporte :

- un capteur de pression « strain-gauge ». 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 1450 psia ('pound per square inch, absolute' soit 1000 dbar, avec $1 \text{ dbar} = 1.4503774 \text{ psia}$) avec une résolution de 0.002% de la pleine échelle (soit 0.02 dbar) et une précision de 0.1% de la pleine échelle (soit environ 1 dbar).
- un capteur de température ; ces capteurs permettent des mesures entre -5°C et $+35^{\circ}\text{C}$, avec une résolution de 0.0001°C et une précision de 0.005°C .
- un capteur de conductivité. La gamme de mesure se situe de 0 à 9 S/m (Siemens par mètre, équivalent à 0-90 mmho/cm), avec une résolution de $5 \cdot 10^{-5} \text{ S/m}$ et une précision de 0.0005 S/m .
- un fluorimètre de marque WetStar, mesurant la concentration en Chlorophylle-a entre 0.03 et $75 \mu\text{g/l}$ avec une sensibilité de $0.03 \mu\text{g/l}$.
- un capteur de luminosité « PAR » de Biospherical Instruments / LICOR, modèle QSP2300
- un capteur de turbidité Seapoint détectant la diffusion de la lumière par les particules en suspension utilisant deux sources lumineuses à 850nm et deux photodiodes. Le rayon de mesure est de 5 cm. Le gain est réglé à 100X, pour une sensibilité de 200mv/FTU et une échelle de 0 à 25 FTU.

Les numéros de série des différents capteurs utilisés pendant la campagne sont reportés dans le Tableau 1 ci-dessous (date de calibration).

Tableau 1 : date de calibration des capteurs SBE19plus

| Stations | 1-8 |
|---------------------------|-----------|
| Temp (06-07-2005) | 4310 |
| Cond (06-07-2005) | 4310 |
| Pression (10-10-2002) | 2074 |
| Fluorimétrie (28-07-2005) | WS3S-793P |
| Luminosité (29-07-2005) | 4662 |
| Turbidité (20-07-2005) | 1185 |

3.1.2 Présentation des sondes utilisées stations 9-40

La sonde hydrologique CTD utilisée est une sonde SEABIRD de type SBE19-01, 195403-0839 (SEACAT PROFILER). La sonde 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 $+35^{\circ}\text{C}$, avec une résolution de 0.001°C et une précision de $0.02^{\circ}\text{C}/\text{an}$.
- 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 1.10^{-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 $\mu\text{mol}/\text{kg}$, 4 $\mu\text{mol}/\text{kg}$ et 0.4 $\mu\text{mol}/\text{kg}$ 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** ci-dessous (date de calibration).

Tableau 2 : date de calibration des capteurs SBE19-01 (stations 9-40)

| Pré-calibration | Post-calibration | ID capteur |
|-----------------------|-----------------------|------------|
| Temp (07-04-2004) | Temp (01-06-2006) | 839 |
| Cond (07-04-2004) | Cond (01-06-2006) | 839 |
| Pression (15-04-2004) | Pression (05-06-2006) | 149842 |
| Oxygène (10-08-2001) | Oxygène (13-06-2006) | 230496 |

Les capteurs de température et de conductivité de la sonde avaient été calibrés par SEABIRD 8 mois avant la campagne. Une période de 26 mois s'est écoulée entre les deux calibrations. Pendant cette période, la température subit une dérive de $-1.21 \cdot 10^{-3} \text{K}/\text{an}$; la conductivité a dérivé de 0.002 S/m (pour 5 S/m) ; ce qui implique une dérive en salinité de $-0.005 \text{PSU}/\text{mois}$.

Les mesures de conductivité du profil de descente sont ensuite calibrées comme décrit ci-dessous.

Les mesures 'brutes' d'oxygène de la sonde ne peuvent *a priori* être utilisées que pour visualiser les variations de la concentration en oxygène selon la verticale. Cependant, le logiciel d'acquisition de SEABIRD prend en compte un algorithme (Owens et Millard, 1985) qui permet de corriger la mesure du capteur d'oxygène de l'influence de la pression. Les mesures *in-situ* de 0 à 200 mètres ont été jugées insuffisantes pour permettre une calibration fiable de la sonde, elles ont donc été abandonnées.

Une fois la station terminée, les données sont chargées sur le PC d'acquisition. Une procédure de traitement préalable préconisée par le constructeur est appliquée aux données des profils de descente et de montée (voir le document joint au logiciel et indiqué en référence). La procédure exécute à la suite les programmes suivants du logiciel SBE data proc, avec les paramètres indiqués pour chaque série de station (5.33):

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

- ALIGNCTD : ce programme avance les mesures relatives à l'oxygène afin de les recalculer par rapport aux mesures de pression.
- FILTER : ce programme applique un filtre 'passe-bas' à la conductivité et à la pression ; ainsi qu'à la température, à la température d'oxygène et au courant d'oxygène.
- CELLTM : correction de l'effet de la pression sur la conductivité ;
- LOOPEDIT : ce programme vérifie si le déplacement vertical de la sonde est correct pour effectuer les mesures. Il repère les mesures 1) dont la variation de pression est opposée au déplacement vertical moyen (descente ou montée) ou 2) pour lesquelles la vitesse verticale est inférieure à 25 cm/s.
- DERIVE : calcul de la salinité et de l'oxygène.
- BINAvg : ce programme effectue une moyenne des mesures et supprime les mesures 'mauvaises' repérées par BINAvg. Ici, la moyenne est effectuée en fonction de la pression tous les décibars.
- SPLIT : séparation 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.

Les à-coups sur la sonde dus au fort tangage du bateau génèrent des anomalies dans les profils, notamment lors des fortes décélérations, en descente. Le filtrage par LOOPEDIT élimine une grande partie de ces problèmes.

Stations 1-8, sonde SBE19plus (Procédure Processemerlis19p)

1. filter: 1s sur la pression, 0.5s sur les autres (notice SBE)
2. alignctd : T: 0.7; C: 0.0; Fluo: 0.7 ; Turb=1 (paramètres recommandés par JYPanche)
3. celltm: alpha=0.04 beta=8.0 (notice SBE)
4. loopedit: retire les mesures associées à une vitesse descente inférieure à 0.25 m/s
5. derive (calcul de la salinité)
6. binavg à 1m

Stations 9-40, sonde SBE19-01.

1. filter: 2s sur la pression, 0.5s sur les autres (notice SBE)
2. alignctd : T: 0.5; C: 0.0; Oxyg: 4 (notice SBE)
3. celltm: alpha=0.04 beta=8.0 (notice SBE)
4. loopedit: retire les mesures associées à une vitesse descente inférieure à 0.25 m/s
5. derive
6. binavg à 1m

La station 17 n'a pu être récupérée malgré plusieurs échanges avec SEABIRD, le fichier de données brutes étant corrompu.

3.1.3 Déroulement des travaux

40 stations hydrologiques profondes ont été effectuées. Les températures, salinité et pression ont été analysées sur toutes les stations. En outre, la fluorescence, la turbidité et la luminescence ont été mesurées de la station 1 à la station 8, puis l'oxygène de la station 18 à la station 40 (ce dernier capteur n'ayant pu fonctionner entre la station 9 et la station 17).

3.1.4 Calibration de la température et de la salinité stations 9 à 40

Les données sont rejouées en pré-calibration ; puis en post-calibration. Le jeu de données final est obtenu en supposant une dérive linéaire dans le temps entre les dates de pré et post-calibration, c'est-à-dire en appliquant respectivement les facteurs 2/3 et 1/3 aux données de température et de conductivité (les salinités sont alors recalculées).

Une comparaison avec la climatologie CARS, avec les prélèvements dans les 200 premiers mètres et une station co-localisée avec les campagnes Frontalis-2 et Frontalis-3

donnent **un accord statistique à 0.005 PSU en salinité (un écart-type) sous 1000 mètres**, ce qui laisse supposer une précision du même ordre de grandeur.

3.1.4.1 Comparaison des stations par paires

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 de la différence, Tableau 3, suggèrent une précision d'une station à l'autre de l'ordre de 0.004 PSU pour la salinité et de l'ordre de 0.02°C pour la température (les différences sont à 0.01°C proche des talus)

| STATIONS | NPT | TEMP | THETA | SAL |
|----------|-----|----------|----------|----------|
| 13 14 | 40 | -0.00172 | -0.00170 | 0.00258 |
| 19 20 | 208 | 0.06614 | 0.06515 | -0.00722 |
| 20 21 | 211 | -0.09252 | -0.09112 | 0.00787 |
| 21 22 | 221 | -0.00511 | -0.00504 | 0.00042 |
| 22 23 | 221 | 0.02096 | 0.02063 | 0.00169 |
| 23 24 | 164 | 0.03010 | 0.02968 | -0.00686 |
| 24 25 | 124 | -0.02792 | -0.02752 | 0.00296 |
| 25 26 | 33 | -0.08822 | -0.08691 | 0.00848 |
| 27 28 | 36 | 0.00894 | 0.00881 | -0.00036 |
| 28 29 | 209 | -0.02169 | -0.02136 | 0.00067 |
| 29 30 | 160 | -0.03699 | -0.03645 | 0.00480 |
| 30 31 | 160 | 0.04775 | 0.04703 | -0.00382 |
| 31 32 | 22 | 0.01850 | 0.01824 | -0.00377 |
| 32 33 | 20 | 0.01535 | 0.01513 | -0.00284 |
| 33 34 | 17 | -0.03441 | -0.03394 | 0.00679 |
| 34 35 | 22 | 0.01132 | 0.01117 | -0.00295 |
| 36 37 | 133 | 0.11488 | 0.11315 | -0.00464 |

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.

3.1.4.2 Comparaison avec les données co-localisées des campagnes Frontalis

Les campagnes Frontalis 2 (avril 2004) et Frontalis 3 (avril 2005) ont toutes deux effectué une station à 17°S, 165°E ; proche de la station 31 de Secalis-2. Ces comparaisons (Figure 2 et Figure 3) montrent un faible écart proche de 1000 mètres (profondeur maximale des stations Frontalis): en salinité, les moyennes des différences au delà de 900m sont de l'ordre de 0.003PSU pour Frontalis2 et .005 psu pour Frontalis3.

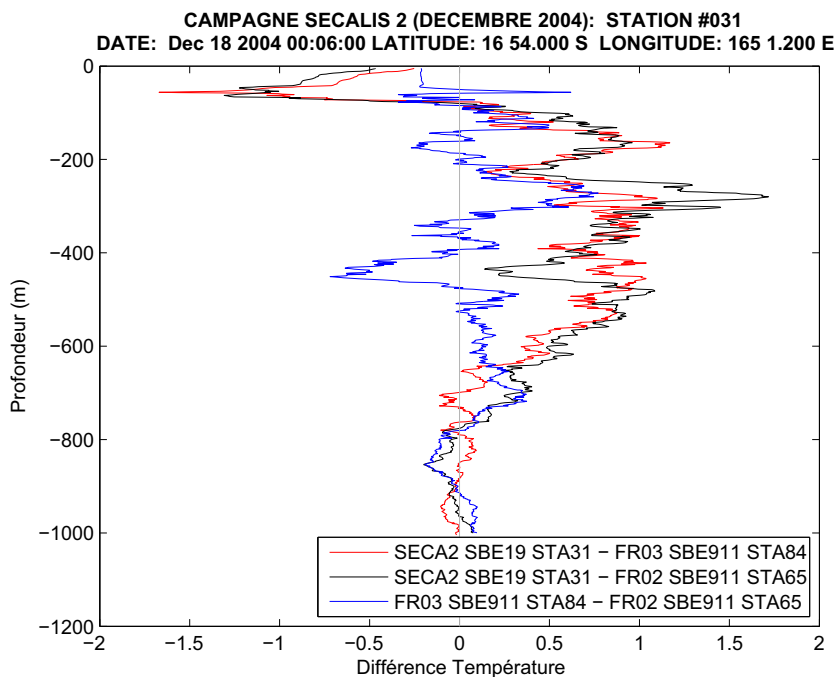


Figure 2 : Ecart entre les données température calibrées issues de la station 31 de Secalis-2 et des stations à 17°S, 165°E des campagnes Frontalis 2 et 3.

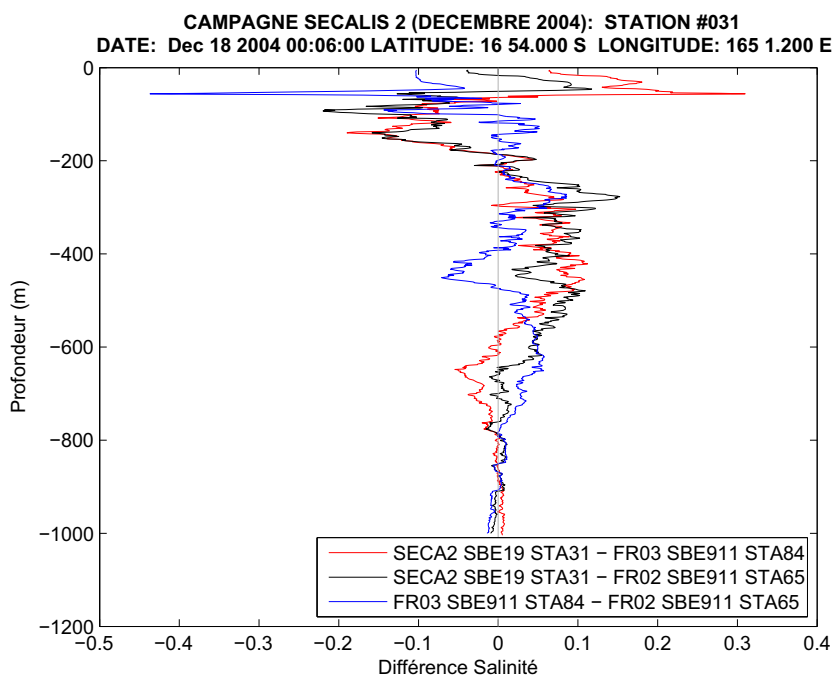


Figure 3 : Ecart entre les données salinité calibrées issues de la station 31 de Secalis-2 et des stations à 17°S, 165°E des campagnes Frontalis 2 et 3.

3.1.4.3 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/>. Les comparaisons par stations individuelles (station 31, Figure 4) montre un accord en profondeur qui, statistiquement sur l'ensemble des stations, n'excède pas 0.005 PSU (Figure 5). La pauvreté des données existante dans cette région ne permet pas de recherche à obtenir un accord plus poussé.

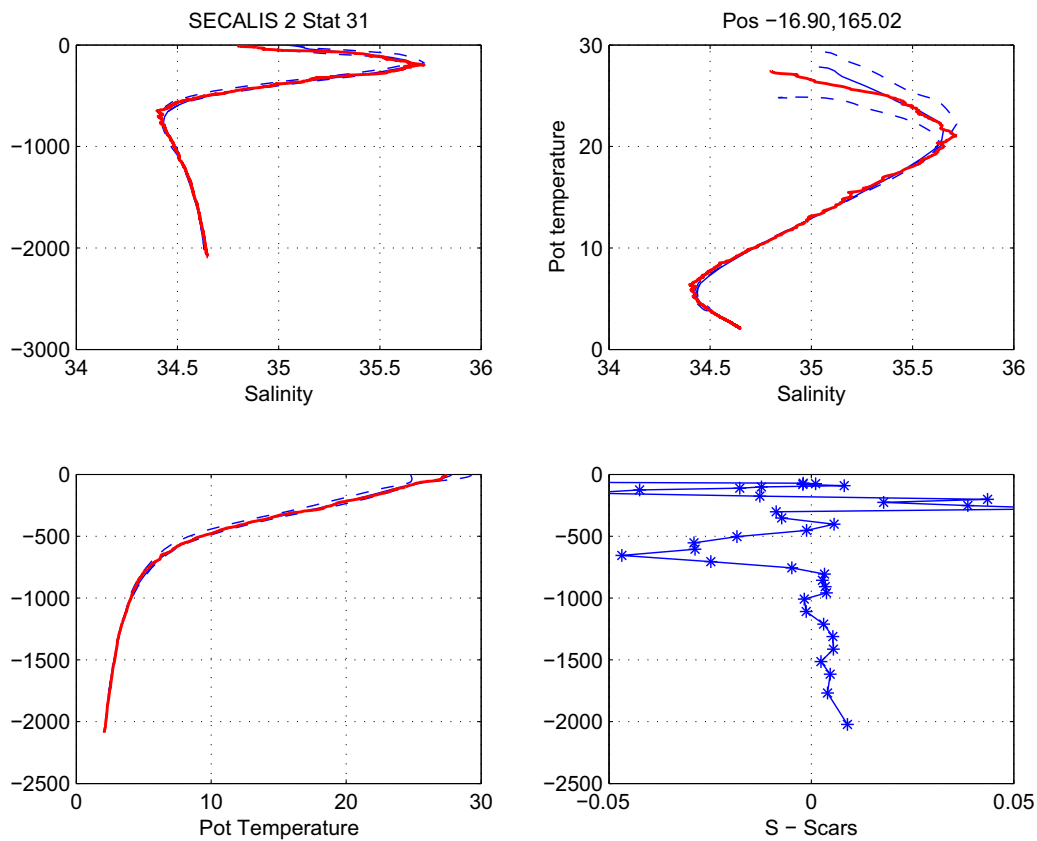


Figure 4 : profil de la station 31 après traitement, comparé à la climatologie CARS.

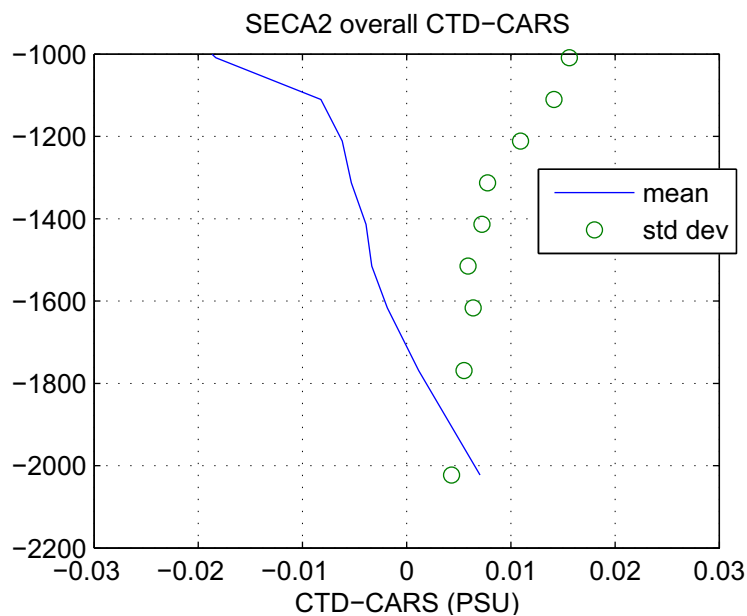


Figure 5 : Statistiques des déviations de salinité entre les données CTD et CARS : écart moyen sur toutes les stations (9-40) (trait continu) et écart type des déviations (cercles).

3.1.4.4 Comparaison aux échantillons bouteille

Normalement une calibration des capteurs de conductivité doit être faite en comparant au niveau de fermeture des bouteilles les mesures de conductivité de la CTD lors du profil de montée avec la conductivité in situ des échantillons d'eau de mer prélevés dans ces bouteilles.

Cependant, lors de la campagne SECALIS-2, la configuration ne permettait ni de prendre des échantillons en dessous 200 mètres, ni de les prendre simultanément avec la mesure CTD, ni de connaître avec certitude la profondeur d'échantillonnage (inclinaison du câble). Par conséquent, les échantillons ne peuvent, à priori, être considérés comme référence.

La visualisation des écarts entre les salinités des échantillons d'eau de mer et les mesures brutes de salinité du profil de montée de la sonde ne permettent pas de corriger les données. La Figure 6 montre cette comparaison et met en évidence le manque de précision dû à l'incertitude de la profondeur de prélèvement (inclinaison du câble) dans les zones de gradients. Cependant les mesures sont plus précises à 0m (pas de problème d'inclinaison) et à 200 mètres (plus faible gradient de salinité).

L'écart en salinité entre l'échantillon et le modèle est comparé à l'écart-type de l'ensemble des écarts. Les échantillons qui s'écartent de plus de 2,0 fois l'écart-type sont rejetés, l'écart type à nouveau calculé pour une nouvelle itération. Le processus est arrêté lorsque tous les écarts sont inférieurs à ce seuil. En surface, la déviation obtenue après rejets est de (CTD-Echantillon) 0.005PSU avec un écart-type de 0.002 ; en profondeur cette déviation est de 0.008 PSU avec un écart type à 0.006. Nous avons donc une légère sur-estimation de la salinité de 0.005 PSU en surface.

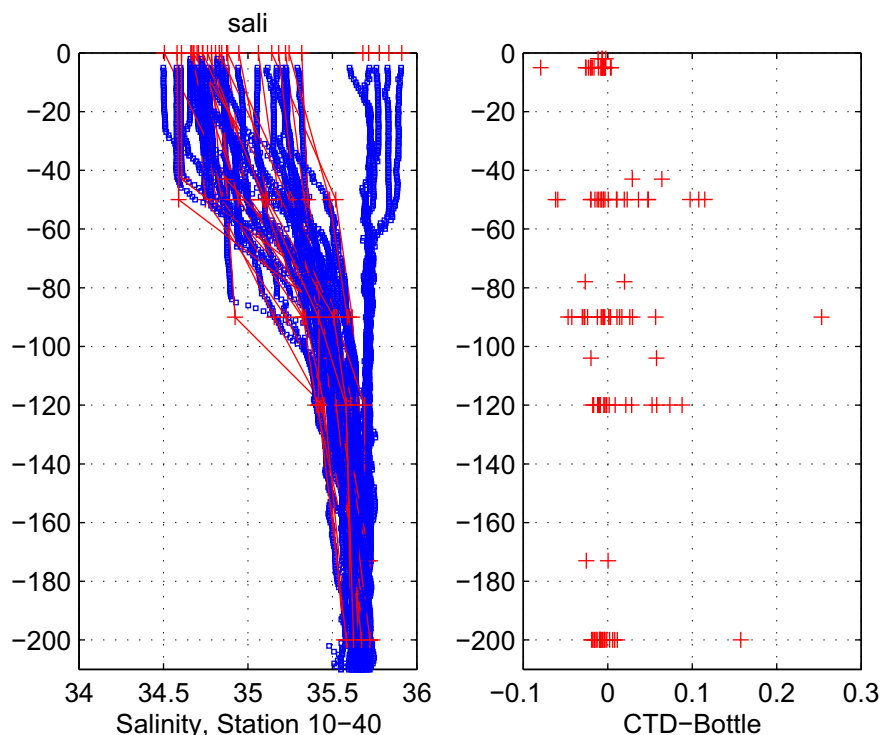


Figure 6 : Comparaison des mesures CTD et prélèvement salinité entre 0 et 200 mètres (stations 10 à 40)

3.1.5 Calibration de la température et de la salinité stations 1 à 8

La sonde SBE19p a été re-calibrée en juillet 2005. Après comparaisons, notamment avec les salinités bouteilles, ces coefficients de recalibration ont été adoptés. Une comparaison avec la climatologie CARS, avec les prélèvements dans les 200 premiers mètres et deux stations co-localisées (9 et 14) effectuées ensuite, avec la sonde calibrée SBE19 suggèrent une légère sous-estimation de la salinité par la CTD à -0.0043 ± 0.0075 . La précision du jeu de données la sonde est estimée à 0.005 PSU.

3.1.5.1 Comparaison des stations par paires

Les stations 1 à 8 ne dépassant pas une profondeur de 500 mètres, cette comparaison n'a pas été effectuée.

3.1.5.2 Comparaison avec les stations co-localisées 9 et 14 (sonde calibrée SBE19)

Les stations 2 et 14 ont été effectuées à une distance de 20 km et à un intervalle de 4 jours. Les stations 7 et 9 ont été effectuées à une distance de 13km et à un intervalle de 26h. Les écarts de 0.01 à 0.03 PSU pour les eaux plus froides que 15°C étant du même ordre que la variabilité, ces comparaisons ne peuvent servir de référence

3.1.5.3 Comparaison à la climatologie du CSIRO (CARS)

Les données sont compatibles avec la climatologie CARS (voir section 3.1.4.3). Une comparaison statistique (Figure 7) est donnée à titre qualitatif car la forte variabilité ne permet pas de déterminer un biais.

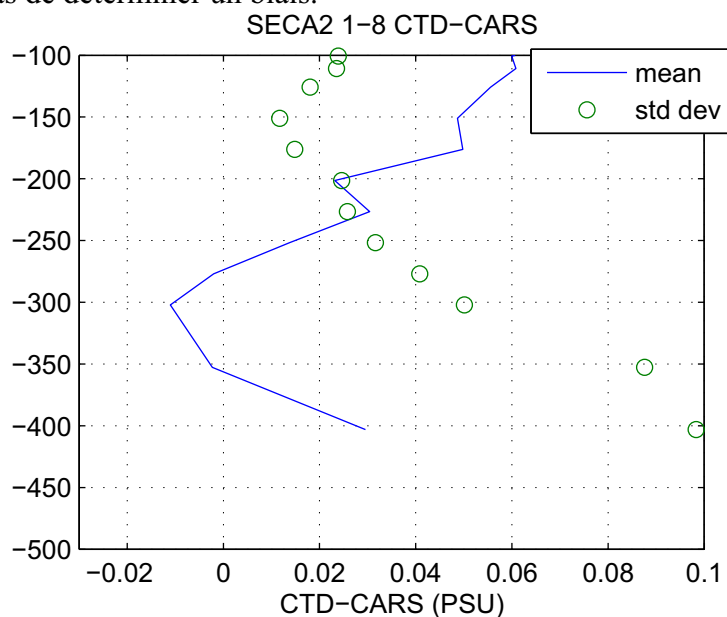


Figure 7 : Statistiques des déviations de salinité entre les données CTD et CARS : écart moyen sur les stations (1-8) (trait continu) et écart type des déviations (cercles).

3.1.5.4 Comparaison aux échantillons bouteille

Pendant les stations 1 à 8, des échantillons ont été prélevés jusqu'à 200 mètres seulement, dans des conditions similaires à celles des stations 9 à 40.

Le processus d'itération, comme décrit ci-dessus pour les stations 9 à 40, est effectué à 120 mètres, profondeurs à laquelle les données étaient les plus nombreuses. A 120m la sonde sous-estime la salinité de -0.0043 ± 0.0075 (un écart-type). Les données, bien que moins nombreuses aux autres profondeurs (Figure 8) de prélèvement, montrent un écart similaire sur toute la colonne.

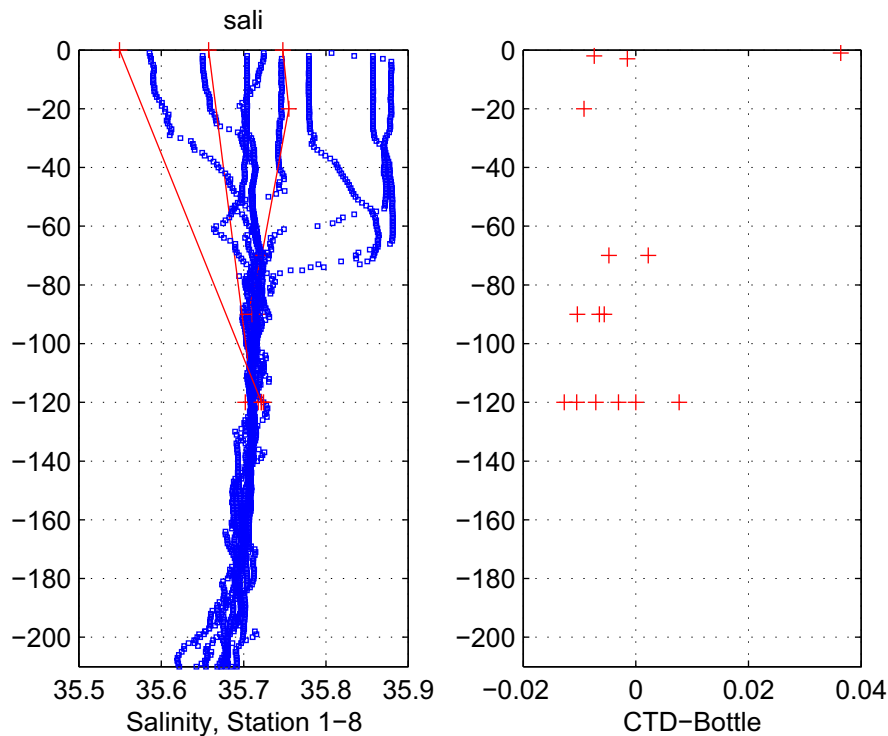


Figure 8 : Comparaison des mesures CTD et prélèvement salinité entre 0 et 200 mètres (stations 1 à 8)

3.1.6 Calibration de l'oxygène.

a. Calibration :

Les mesures CTD d'oxygène n'ayant été prises que dans les 200 premiers mètres, aucune calibration fiable n'est possible.

3.1.7 Contenu et format des fichiers générés.

Les fichiers des stations CTD19 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). Les stations CTD19p ont un format analogue, avec un en-tête réduit.

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

```
                SECALIS 2
STRNBR   26  CASTNO  1  NO.RECORDS  2099
DATE:    Dec 16 2004 22:25:00
LATITUDE: 16 6.000 S  LONGITUDE: 166 48.000 E
CTDPRS   CTDTMP   CTDSAL   CTD OXY   CTD OXY   QUALT1
  DBAR    ITS-90    PSS-78    ML/L    UMOL/KG
*****  *****  *****  *****  *****  *****
   5.00   28.0407   34.6841    3.57   156.05    3311
   6.00   28.0225   34.6834    3.59   156.69    3311
   7.00   28.0112   34.6851    3.59   156.68    3311
   8.00   27.9927   34.6865    3.58   156.40    3311
   9.00   27.9639   34.6909    3.59   156.73    3311
  10.00   27.9450   34.6966    3.58   156.55    3311
  11.00   27.9145   34.7026    3.58   156.57    3311
  12.00   27.8501   34.7144    3.59   156.94    3311
```

avec :

- 1ère ligne : intitulé de la campagne.
- 2nde ligne : indications de l'indice de la station, de la palanquée et du nombre de données du profil.
- 3ème ligne : date, et heure (TU).
- 4ème ligne : position (degrés, minutes.centèmes).
- 5ème ligne : code des paramètres (p, T, S, O2, nombre de mesures considérées pour le calcul des valeurs, code de qualité des valeurs)
- 6ème ligne : unité des paramètres.

La signification des codes de qualité est la suivante :

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

A noter que :

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

3.1.8 Sections de température et salinité

Les profils individuels CTD sont donnés en Annexe 13. Les figures ci-dessous donnent les coupes par sections.

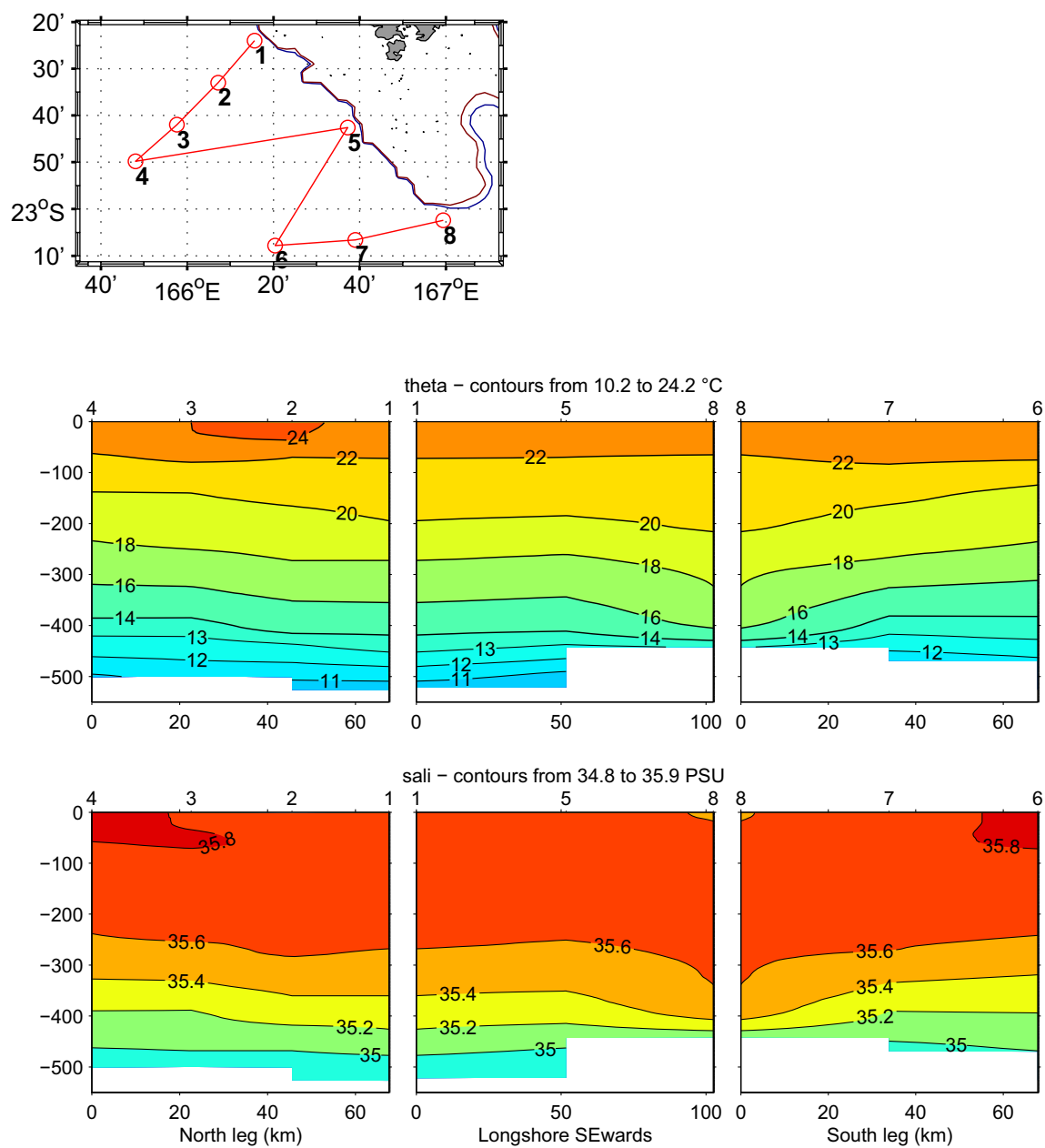


Figure 9 : Température potentielle et salinité sur les radiales ouest (et carte du détail des stations)

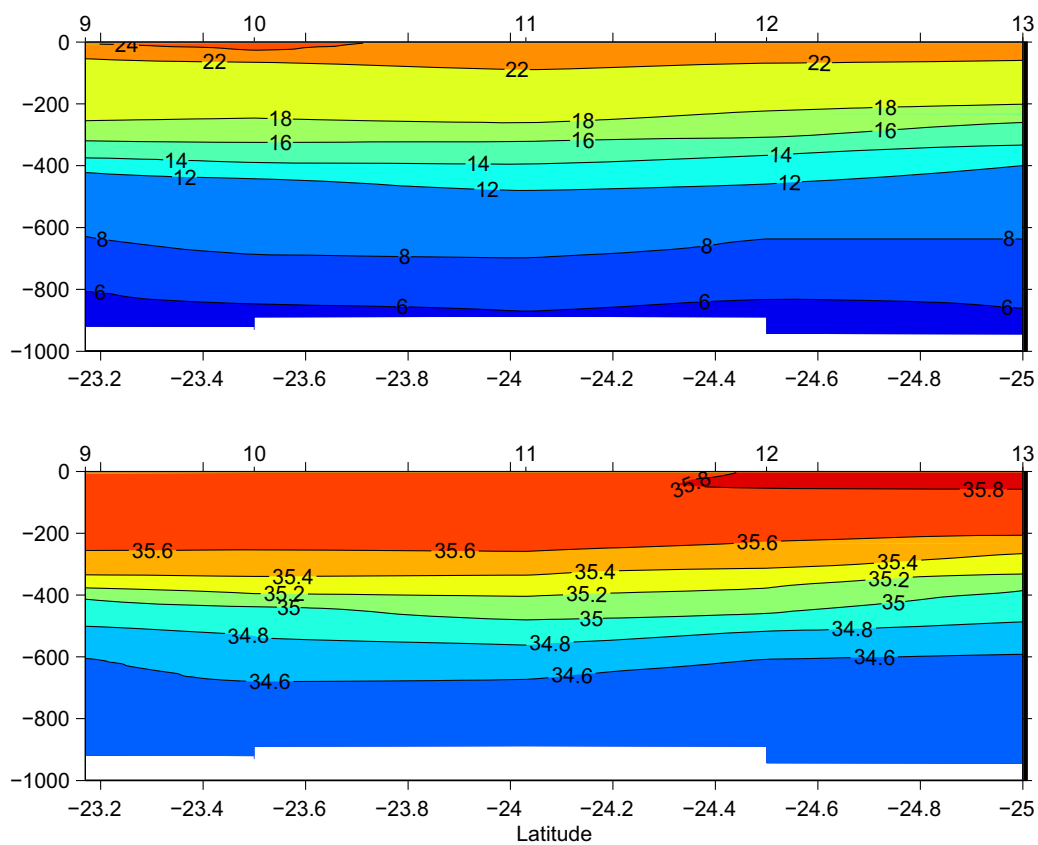


Figure 10 : Température potentielle et salinité sur la radiale sud

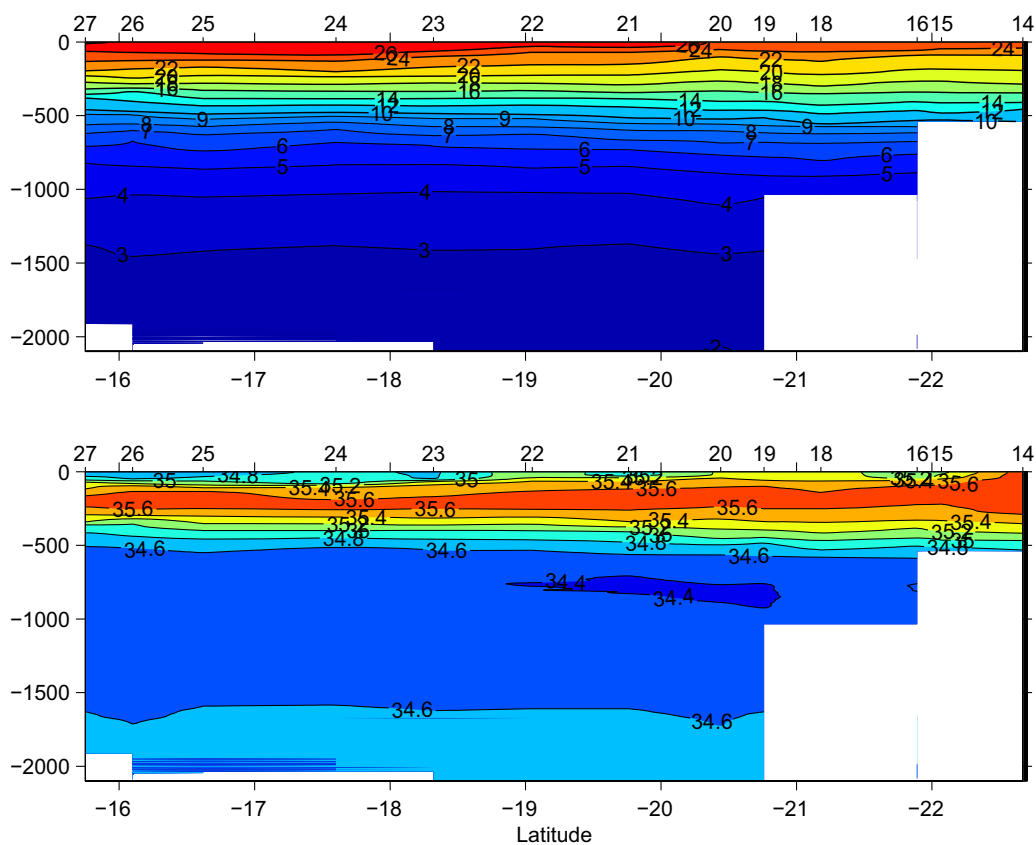


Figure 11 : Température potentielle et salinité sur la radiale Est (Havannah-Santo)

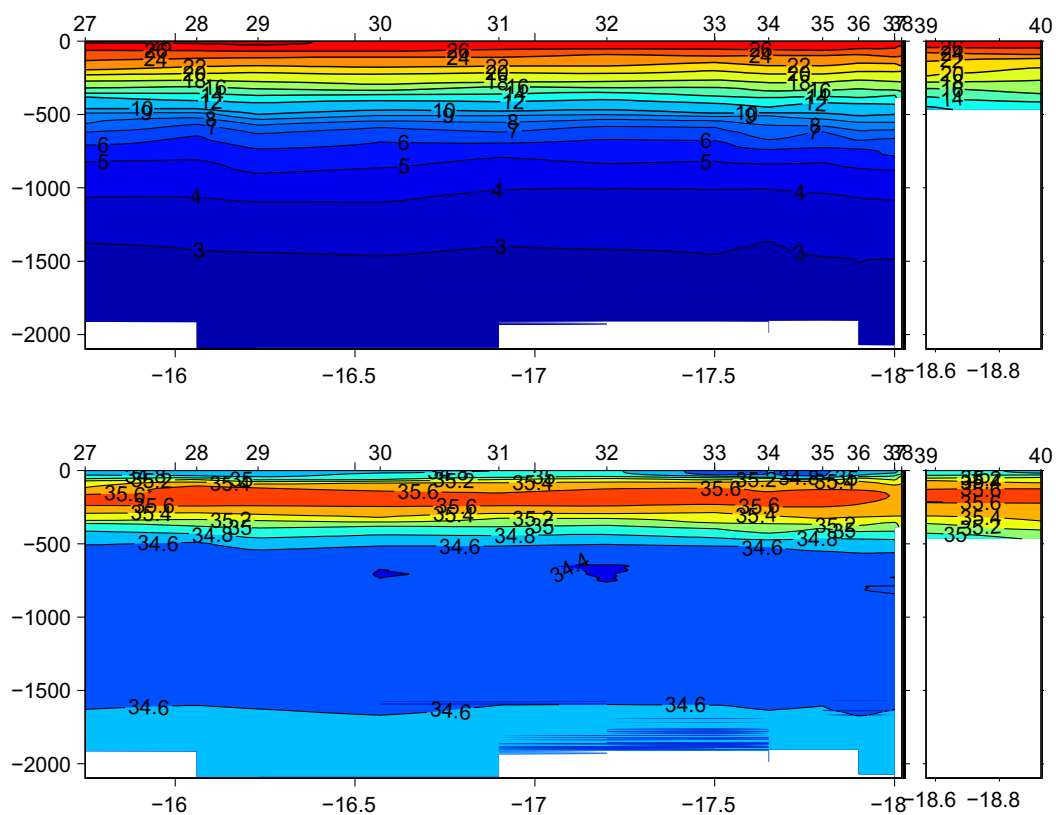


Figure 12 : Température potentielle et salinité le long de la section Nord (Santo-Huon) et du grand passage (ouest)

3.2 Mesures de salinité

Lorsque possible, des prélèvements étaient effectués à différents niveaux pour l'analyse de la salinité et de l'oxygène dissous, ce afin de pouvoir calibrer les données issues des sondes CTD. Les prélèvements étaient effectués entre 200db et la surface. Les analyses de salinité ont été effectuées à terre, 15 jours après le retour du bateau, les échantillons restant stockés dans le laboratoire. Les échantillons ont été analysés en laboratoire, au retour de la mission, entre le 5 janvier 2005 (Station 1 à 32) et le 6 janvier 2005 (Station 33 à 40).

Définition

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

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

avec:

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

RT : Rapport de conductivité mesuré

T: Température du bain thermostaté du salinomètre

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

3.2.1 Prélèvement des échantillons

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

Pour les stations 10 à 14, aucune bouteille n'était prélevée car le capteur d'oxygène ne fonctionnant pas cela n'a pas été jugé nécessaire. Une bouteille était prélevée en surface pour les stations 9, 15, et 16. Pour les stations 17 à 40, aucune bouteille n'était fermée en surface à cause du nombre limité de messagers et de l'intérêt limité des mesures d'oxygène en surface. Dans ce cas, un échantillon était prélevé à la sortie d'eau de mer après la mesure du PCO₂.

Lors de la station 15, un prélèvement de vérification a été effectué à la sortie du circuit d'eau de PCO₂, puis un à la sortie du circuit d'eau du thermosalinographe, pour tester l'hypothèse d'une évaporation dans la circuiterie du PCO₂. Les valeurs 35.1343 (sortie

thermo) et 35.1364 (sortie PCO₂) sont très proches (+0.002 PSU) pour une mesure bouteille de 35.1408.

Un échantillon de salinité a été prélevé en début de CTD, puis un échantillon en fin de CTD au niveau de la sortie du circuit de mesure de la pression partielle de CO₂, station 10, indiquant un changement de 35.7779 (CTD=35.7696) à 35.7885 (CTD=35.7842), une dérive de -0.0095 PSU similaire à la dérive CTD (-0.0146) due à la dérive du bateau pendant la station.

3.2.2 Equipement

Appareils de mesure

Les mesures sont faites avec un salinomètre Guildline de type Portasal modèle 8410, S/N 63895, calibré. La résolution de cet appareil est de 0,0003 équivalent PSU, à 15°C et pour une salinité de 35 PSU.

Eau Normale

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

Mesures

Calibration ou standardisation du salinomètre

La température du bain thermostaté était fixée pour cette campagne à 23.003°C. Avant les deux séries de mesure, le salinomètre est standardisé le matin à 7h45 en utilisant une ampoule d'eau normale.

3.2.3 Analyse des échantillons

En fin d'analyse, la conductivité mesurée (l'après-midi à 14h50), à 0.99999 (soit une dérive de 0.00008) le 5 janvier et de 0.99996 le 6 janvier (soit une dérive de 0.00005). Aucune correction n'a été effectuée pour cette dérive très faible. 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.

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.

Les profondeurs 90m et 120m de la station 18 ont été inversées, les données laissant supposer une inversion des flacons lors du prélèvement.

3.2.4 Résultats

Précision

La précision des résultats de mesure est principalement appréciée par la répétitivité des résultats. Deux fois seulement les mesures ont été doublées, donnant un écart de 0.002PSU.

3.3 Mesures d'oxygène

3.3.1 Technique d'échantillonnage

La récolte des échantillons sur les bouteilles de prélèvement (la rosette n'a pas été utilisée suite au problème de treuil) à des profondeurs données : 5 profondeurs pour oxygène et salinité. Les échantillons d'oxygène sont pris en premier, la salinité ensuite. On a effectué à chaque station un doublet à profondeur variable. Les profondeurs ainsi que les bouteilles de

prélèvement, flacons de salinité et flacons d'oxygène ont été consignés dans des fiches de prélèvement.

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

Après addition successive de 1 ml de chaque réactif de fixation ($MnCl_2$, puis KOH/KI), le flacon est hermétiquement fermé et agité pendant 30 secondes environ. Lorsque l'ensemble des échantillons a été prélevé, les collerettes des flacons sont remplies avec de l'eau distillée pour éviter l'entrée d'air. Les flacons sont ensuite stockés à l'abri de la lumière dans le laboratoire, où la température a varié entre 23 et 29°C, pour être ensuite analysés entre 4 à 24h après.

3.3.2 Analyse des échantillons

Mode opératoire

6 séries de mesures d'oxygène dissous ont été effectuées : station 1 à 5, station 6 à 8, station 15 à 20, station 27 à 31, station 32 à 36, station de 37 à 40.

Un arrêt des prélèvements a été observé entre les stations 8 à 14 car le capteur d'oxygène de la sonde SBE19 n'était pas fonctionnel puis entre les stations 21 et 26 car la sonde ne donnait pas de résultats probants jusqu'à une rectification de la formule de calcul de traitement des données. La panne du treuil portant la rosette a également apporté beaucoup de contretemps, le nombre de stations et de bouteilles par station a donc été réduit.

Trois manipulateurs ont effectué les analyses : Léocadie Jamet (première partie de la mission du 9 au 11/12), Gaël Alory (du 11 au 22/12) et Bérengère Vignal (du 14 au 22/12).

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, WHP91, 1994), dérivée de la méthode de Winkler (Carpenter, 1965).

Les analyses sont effectuées dans le laboratoire où la température a varié entre 23 et 28°C, au cours de la campagne.

En milieu basique (obtenu par ajout de KOH), 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 répétabilité des résultats car entièrement automatisée. La qualité des mesures est néanmoins très dépendante des précautions prises au cours des prélèvements des échantillons, de la vérification de la volumétrie et de la concentration des réactifs.

3.3.3 Précautions particulières

Volumétrie

La verrerie utilisée (flacons de prélèvement, dispensettes pour réactifs, pipette automatique, ...) est calibrée suivant le principe de la double pesée et les indications de la balance sont vérifiées puis corrigées par comparaison avec deux séries de poids étalons. Toutes les corrections recommandées par WOCE (température, poussée de l'air,...) ont été appliquées aux pesées. Le volume des flacons de prélèvement est déterminé à $\pm 0,003 \text{ cm}^3$ 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.

Le réactif 1, chlorure de manganèse, a été réalisé à 3M 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. 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. Pendant la mission chaque jour, le flacon de thiosulfate a été complété à 1 litre et la solution a été dosée.

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 1,42668g de KIO_3 dans une fiole jaugée de 2000ml dont la normalité est de $2,003 \cdot 10^{-2} \text{ N}$ à 20°C . 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. Le blanc obtenu pour les six séries d'analyse est respectivement de *0.028 ml*, *0.044 ml*, *0.047 ml*, *0.042 ml*, *0.041 ml* et *0.040 ml* avec une moyenne de *0.0403 ml*, soit un ordre de grandeur supérieur aux campagnes ETHAMBOT2 et SECALIS (malgré une série complète de tests préalables et de vérifications des paramètres).

Détermination de la normalité du thiosulfate de sodium

Une solution de 20 litres de thiosulfate a été préparée en début de campagne. La préparation donne une normalité voisine de 0,02 N. Chaque jour, la burette automatique qui délivre le thiosulfate est complétée à 1 litre avec la solution de stockage. La normalité du thiosulfate est obtenue par un dosage quotidien de 5 prises d'essai d'iodate de potassium de référence.

La normalité du thiosulfate est contrôlée avant chaque série d'analyses à l'aide d'une solution 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 13 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.

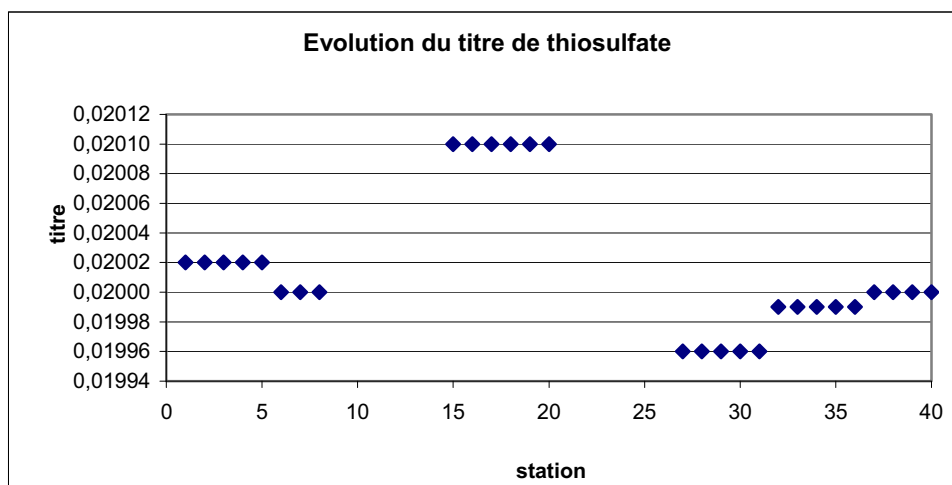


Figure 13 : Evolution du titre du thiosulfate. Il varie entre 1.996.10⁻² et 2,010.10⁻², soit une très légère évolution de cette normalité.

3.3.5 Détermination de la concentration d'oxygène des échantillons

Les dosages sont effectués à une température moyenne de 27°C, ce qui oblige à effectuer les corrections de température sur les volumes des réactifs de iodate et de thiosulfate délivrés. La totalité du volume prélevé étant dosée directement dans le flacon, la concentration d'oxygène est obtenue en utilisant la formule recommandée dans le document WOCE Opération Manual (1991).

$$O_2 \text{ (ml l}^{-1}\text{)} = \frac{(V_x - V_{\text{blk,dw}}) * V_{\text{IO}_3^-} * N_{\text{IO}_3^-} * 5598}{(V_{\text{std}} - V_{\text{blk,dw}})} - 1000 * DO_{\text{reg}}$$

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

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 (cm³)
- $N_{\text{IO}_3^-}$ = normalité de l'iodate
- DO_{reg} = 0.0017 cm³, 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 cm³ à 20°C (après correction)
- $V_{\text{IO}_3^-}$ = 5 cm³ à 20°C (après correction)
- $N_{\text{IO}_3^-}$ = 1.99959.10⁻² N

Le résultat du calcul de concentration d'oxygène est converti en micromoles par kilogramme ($\mu\text{mol kg}^{-1}$), et tous les contrôles sont effectués dans cette unité.

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

Le calcul suivant permet de transformer toutes les valeurs, exprimées en ml l^{-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).

Résultats

La précision des mesures a été évaluée par l'analyse de doublets.

Le calcul de l'écart-type ('Standard deviation' selon le manuel DOE, 1994), sur le lot des 24 doublets (station 32 mise à part suite à une légère ouverture de la bouteille), par la formule:

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

di : écarts entre les doublets
n : nombre de doublets

permet d'estimer la répétabilité des résultats de concentration en oxygène dissous à $2,41 \mu\text{mol kg}^{-1}$ (soit $0,054 \text{ml.l}^{-1}$).

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 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 4. Les dérives se sont avérées négligeables.

| Capteurs | Pré-étalonnage | Post-étalonnage | Dérive |
|---------------|----------------|-----------------|----------------------|
| SBE21, T 1325 | 08/06/2004 | 11/04/2006 | -0.00054 °C/year |
| SBE21, S 1325 | 08/06/2004 | 11/04/2006 | -0.0006 Psu/month |

Tableau 4 : Dates de pré- et post- étalonnages des capteurs de température et de salinité et dérives avant re-calibration observées entre ces dates (°C/an pour T et équivalent en psu/mois pour la conductivité mesurée à 3.0 S/m)

Les mesures TSG ont été comparées aux mesures par prélèvement de surface pour chaque station. Cette comparaison a montré un biais quasiment constant sur toute la campagne pour la sonde SBE21, avec un écart-type de 0.04 PSU. Les données TSG de salinité de surface ont été corrigées en considérant les mesures bouteilles comme représentant la vérité terrain (Figure 14) : Salinité (Prélèvements-SBE21) = $0.0007dt + 0.1$.



Figure 14 : Données salinité du TSG SBE 21. Les croix dénotent les prélèvements bouteille.

Après avoir enlevé les tendances linéaires sur les périodes distinctes, la moyenne et l'écart type des différences entre mesures TSG et CTD ont été calculées et sont reportées dans le Tableau 5.

| | Moyenne des différences | Ecart type des différences |
|------------------------------------|-------------------------|----------------------------|
| Salinité (prélèvements-SBE21, psu) | -0.00029 psu | 0.037 psu rms |

Tableau 5 : 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.

Les valeurs TSG de salinité de surface des deux parties de la campagne sont présentées Figure 15 à Figure 17 en fonction de la latitude ou de la longitude.

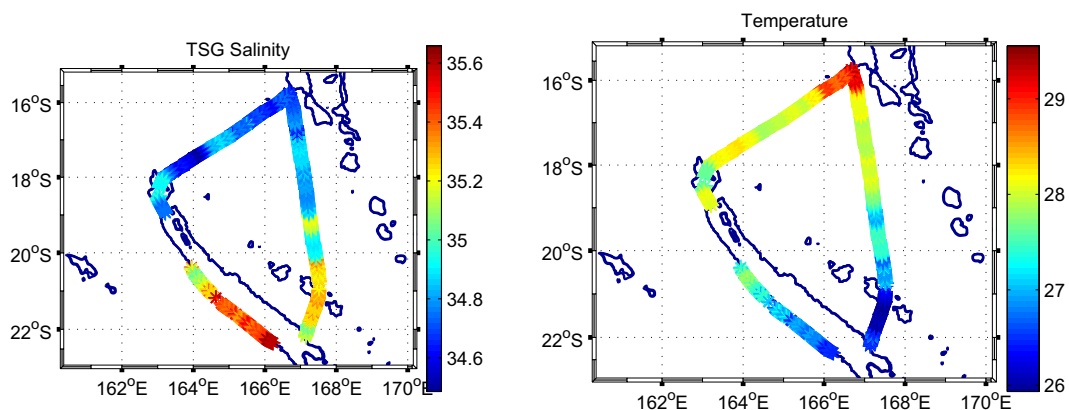


Figure 15 : Données TSG 21 de salinité sur la partie nord de la campagne.

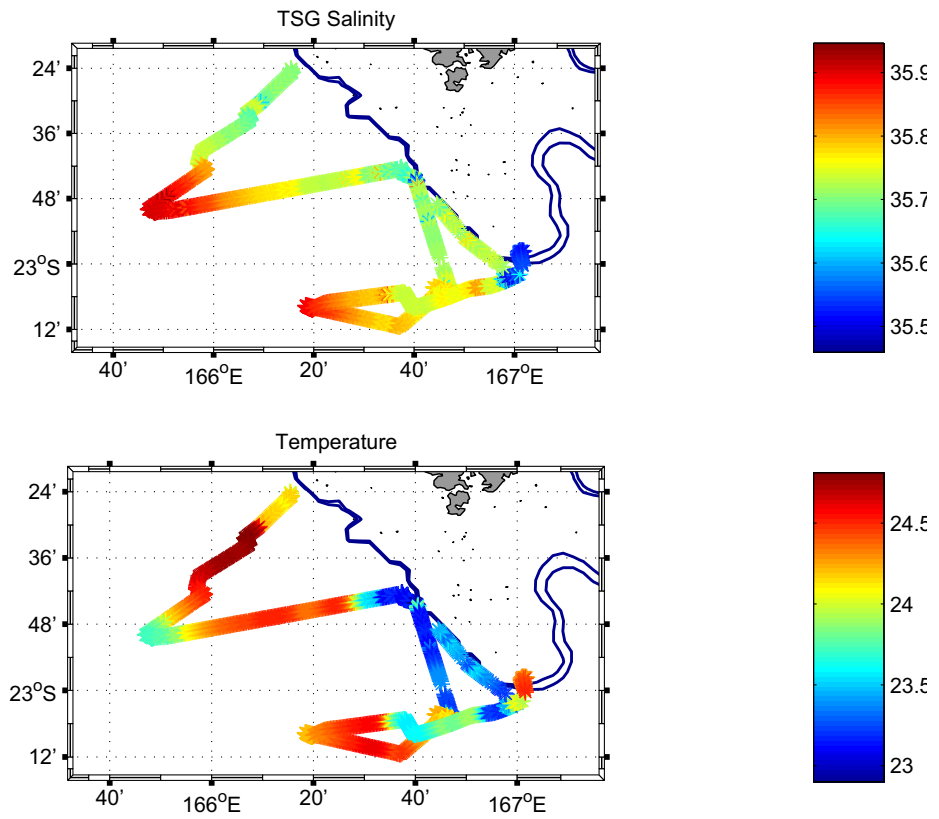


Figure 16 : Données TSG 21 de salinité sur la partie ouest de la campagne.

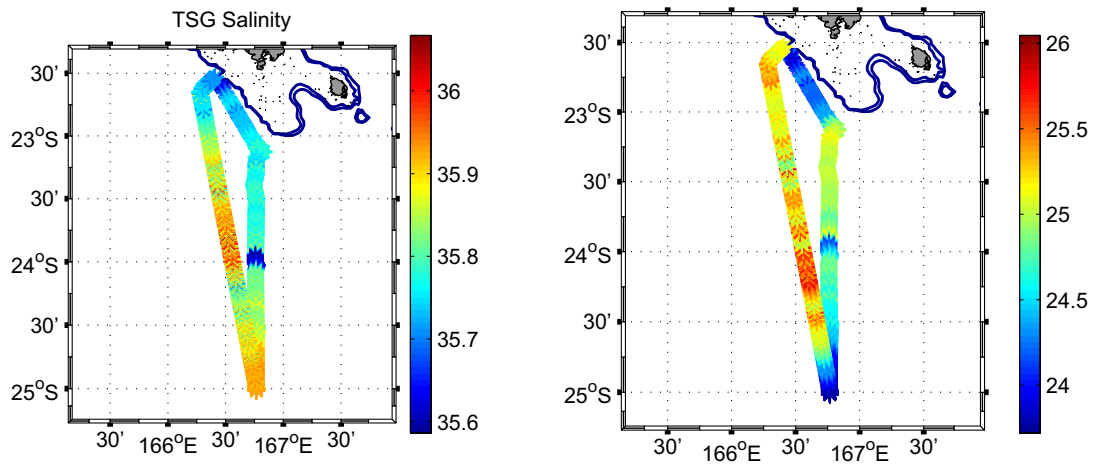


Figure 17 : Données TSG 21 de salinité sur la partie sud de la campagne.

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.

5.2 Equipement

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

5.3 Acquisition

L'acquisition se fait sur un PC. La configuration d'acquisition est résumée dans le Tableau 6. Le logiciel d'acquisition VM-DAS (v. 1.42) a été utilisé.

L'acquisition (Tableau 6) s'est déroulée sans incident tout au long de la campagne. L'ADCP était prioritairement réglé en mode 7, qui permet une portée maximale au détriment d'une plus grande sensibilité aux mouvements du bateau. Du fait des conditions de mer calme, ce paramètre n'a pas été modifié au cours de la mission. Les données GPS (positionnement et attitude) ont été acquises sans interruption et stockées dans les fichiers issus de VM-DAS. Ce programme stocke à la fois les pings individuels et des moyennes temporelles nécessitent un espace disque important, de l'ordre de 3 Go pour un mois de campagne.

| Acquisition BB-150 pour Secalis 02 | |
|--|----------------------|
| Programme d'acquisition | VM-DAS v. 1.42 |
| Longueur de « bin » | 8 m |
| « Blanking interval » | 4 m |
| Mode d'acquisition | 7 |
| Durée d'ensemble | 300 s |
| Passage en coordonnées géographiques à chaque « ping » | Oui |
| Corrections roulis/tangage | Non |
| Calcul vitesse du son à chaque « ping » | Oui |
| Prof. du premier « bin » | 14 m |
| Premier profil | 08/12/2004, 03:30 TU |
| Dernier profil | 21/12/2004, 18:16 TU |

Tableau 6: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., 1990). Une partie est effectuée à bord au fur et à mesure de l'acquisition. C'est la version « mgw » de ce logiciel qui a été utilisée ici, sur un PC sous Windows XP avec Cygwin et WindowMaker. Après la campagne le traitement a été repris et un étalonnage effectué (voir ci-dessous).

5.4.1 Constitution d'une base de données

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

5.4.2 Vérification des profils relatifs

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

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

Les profils peuvent être entachés de diverses erreurs provenant d'un niveau de bruit excessif ou de réflexions sur le fond ou des objets. Des tests statistiques sur les dérivées verticales des vitesses ou d'autres paramètres permettent de détecter, de visualiser et de corriger les profils s'écartant de la moyenne.

5.4.3 Intégration de la navigation

Les positions GPS GPGGA enregistrées à la fin de chaque profil et les vitesses relatives ADCP permettent de calculer le courant absolu dans une couche de référence (ici bins 4 à 12 soit 38-102 m). Ce courant est filtré (filtre de Blackman de ½ largeur 30 mn) et la vitesse du navire par rapport à cette couche lissée est stockée dans la base. Le courant absolu pourra être calculé à chaque niveau à partir de cette vitesse.

5.4.4 Etalonnage

Deux types d'erreur interviennent dans le calcul des vitesses absolues de courant : l'erreur sur l'orientation horizontale de l'embase en coordonnées géographiques et l'erreur sur l'amplitude de la vitesse calculée par effet Doppler. L'erreur d'orientation provient de l'erreur sur les indications du gyro et d'une éventuelle erreur sur l'orientation de l'embase au montage. L'erreur d'amplitude peut être associée à un problème d'électronique ou de calcul de l'effet Doppler (vitesse du son).

La partie variable de l'erreur d'orientation associée aux erreurs gyro est estimée par différence entre les caps gyro et les caps fournis par le GPS d'attitude, moyennés sur la durée de chaque profil (Figure 28). L'écart est resté négligeable, inférieur à 0.5 °. Une centrale inertielle MRU était aussi disponible. Cependant ses données de cap provenaient directement du gyro du bord et n'ont donc pas pu être utilisées pour ce calcul de déviation gyro.

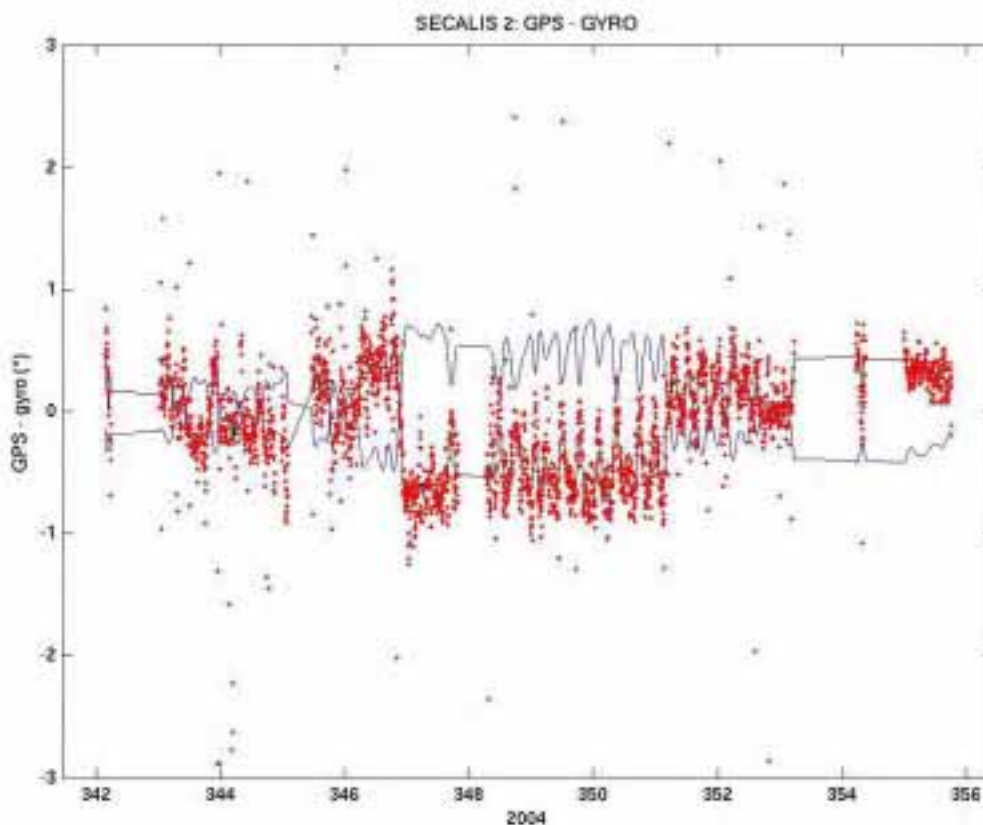


Figure 18 : Différence cap GPS - cap gyro au cours du temps pendant l'ensemble de la campagne : valeur moyenne à chaque profil (points rouges), après application d'un filtre médian sur 15 points (en noir), après changement de signe, interpolation des trous et passage d'une moyenne mobile sur 10 points (en bleu).

Il a été montré (Pollard et Read, 1989) que la comparaison des vitesses de courant absolues avant/après les changements importants de vitesse du navire (stations) permet une estimation statistique d'un angle ϕ et d'un facteur multiplicatif A à appliquer aux profils relatifs. Dans le cas présent ϕ représentera l'angle résiduel entre l'axe des antennes du GPS d'attitude et l'axe de l'ADCP ; les valeurs trouvées sont données au Tableau 7. Les rotation et homothétie correspondantes sont appliquées aux profils relatifs et le calcul de navigation (4.3) est de nouveau effectué.

L'amplitude A et la phase ϕ sont du même ordre que pour les campagnes précédentes de l'Alis (A proche de 1 et ϕ variant de -0.4 à -1°). La Figure 29 présente les histogrammes des valeurs calculées de A, ϕ , et de l'écart d'horloge ADCP-GPS qui est resté négligeable.

| | |
|------------|---------------|
| Secalis 02 | BB-150 |
| A | 1.0014 |
| ϕ | -0.57° |

Tableau 7: Valeurs des coefficients d'étalonnage déterminés après correction des erreurs dues au gyro du navire.

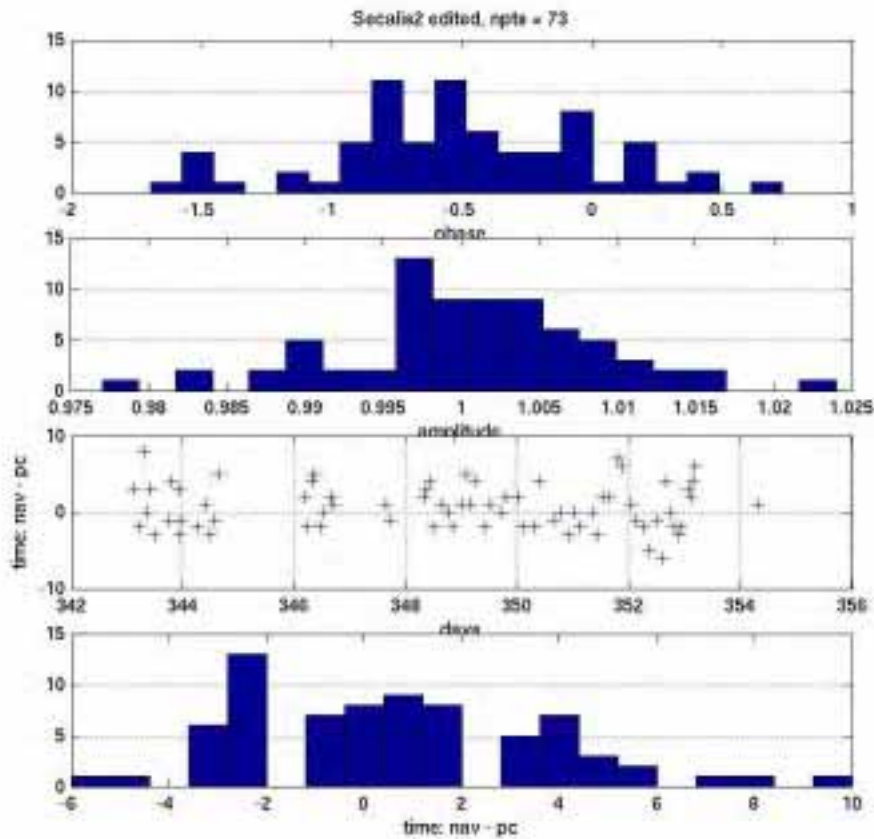


Figure 19 : Histogrammes de A et ϕ et différences d’horloges GPS-ADCP après application de la correction GPS-gyro.

5.4.5 Contrôle de qualité

Des statistiques sur les profils sont calculées pour estimer la qualité des données et avoir un suivi des performances de l'appareil. En particulier, les valeurs moyennes du pourcentage de bon « pings » en fonction de la profondeur (PGOOD) renseignent sur la portée utile des appareils. La portée moyenne (donnée par la profondeur où PGOOD = 30%) est de 235 m en stations et de 225 m en route.

5.4.6 Présentation des résultats

Le logiciel CODAS permet d’obtenir des sections et séries temporelles pour tracés de coupes ou de vecteurs. Les coupes des composantes de vitesse U et V sont présentées Figure 20 à Figure 27 pour les sections les plus significatives de la campagne.

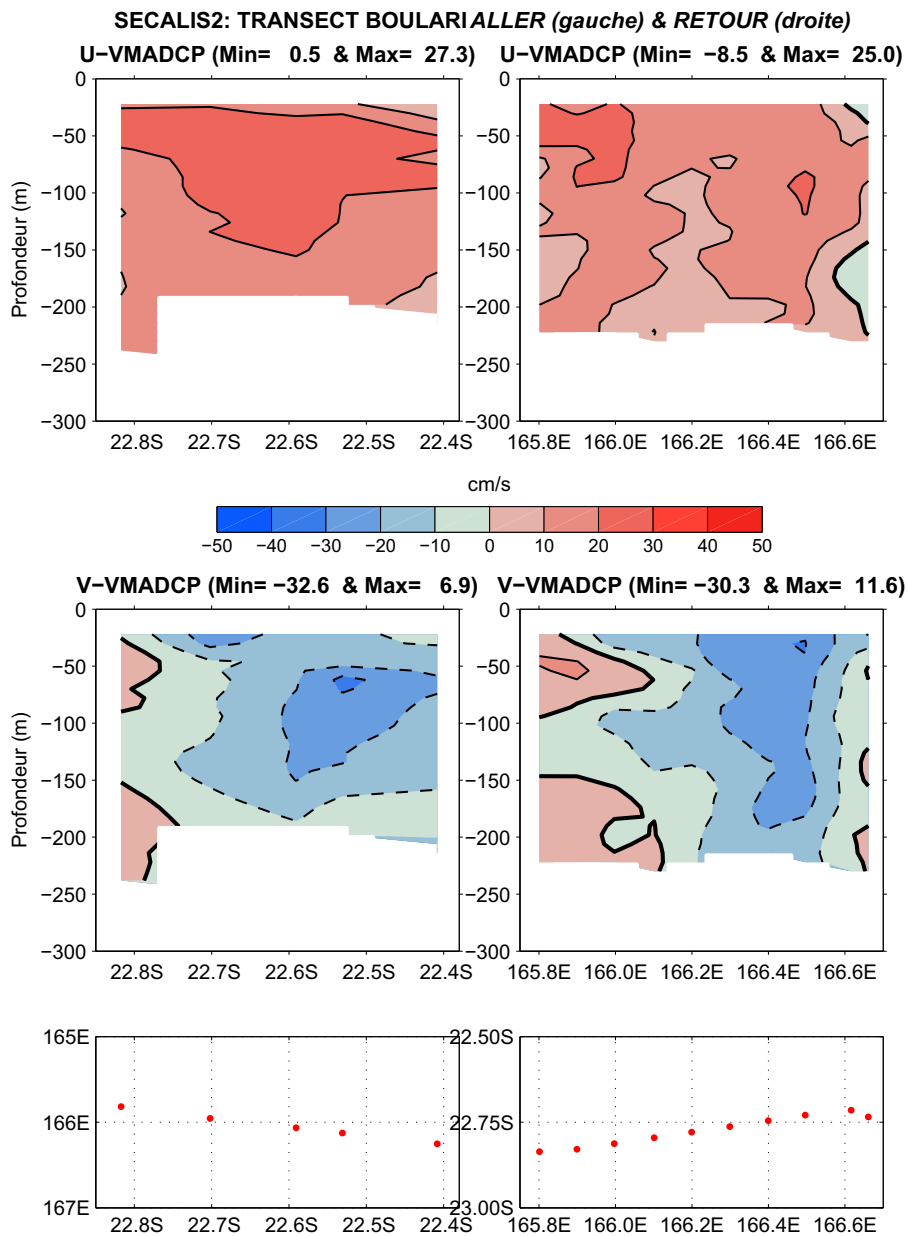


Figure 20 : S-ADCP, section perpendiculaire au récif de Nouvelle Calédonie devant la passe de Boulari

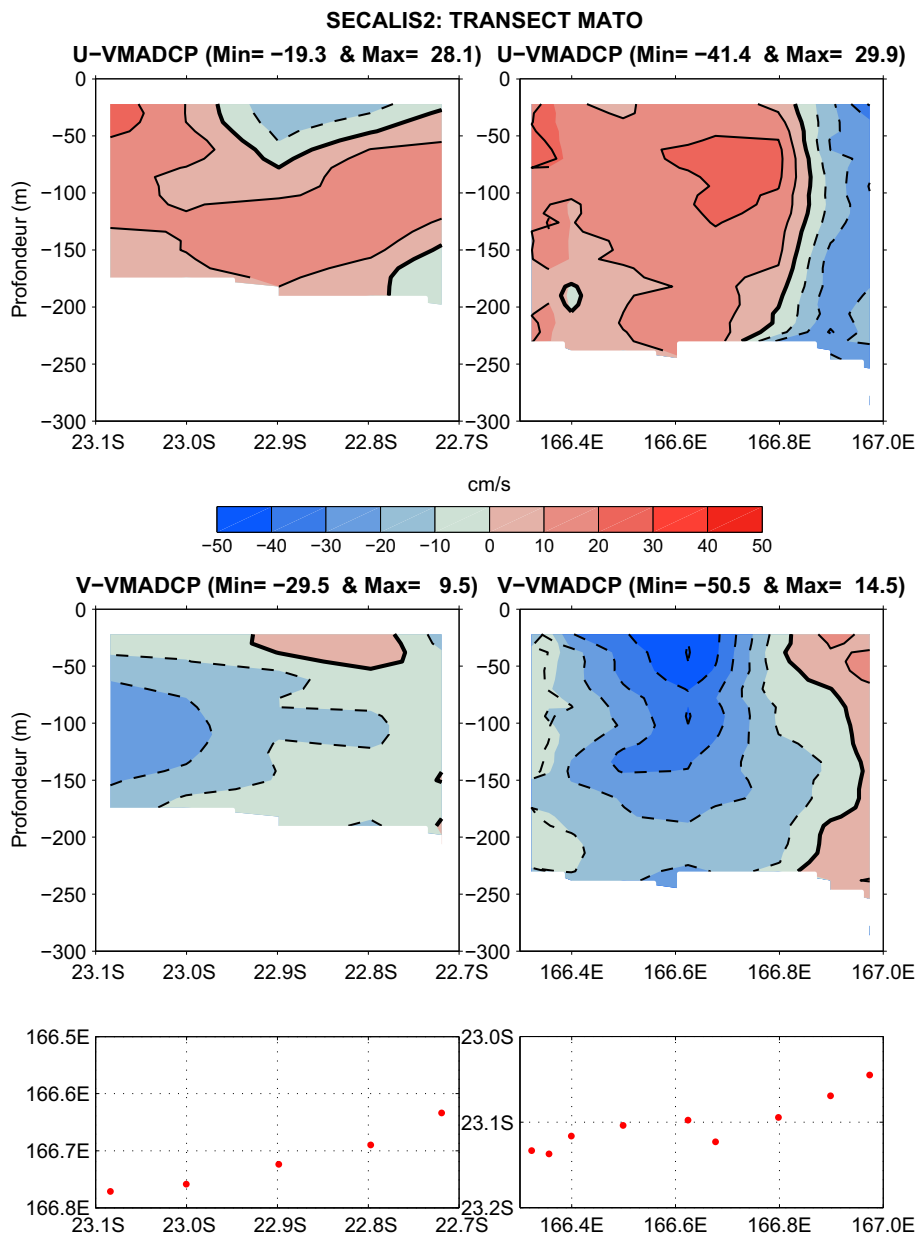


Figure 21 : S-ADCP, Section zonale au large du récif sud de Nouvelle-Calédonie

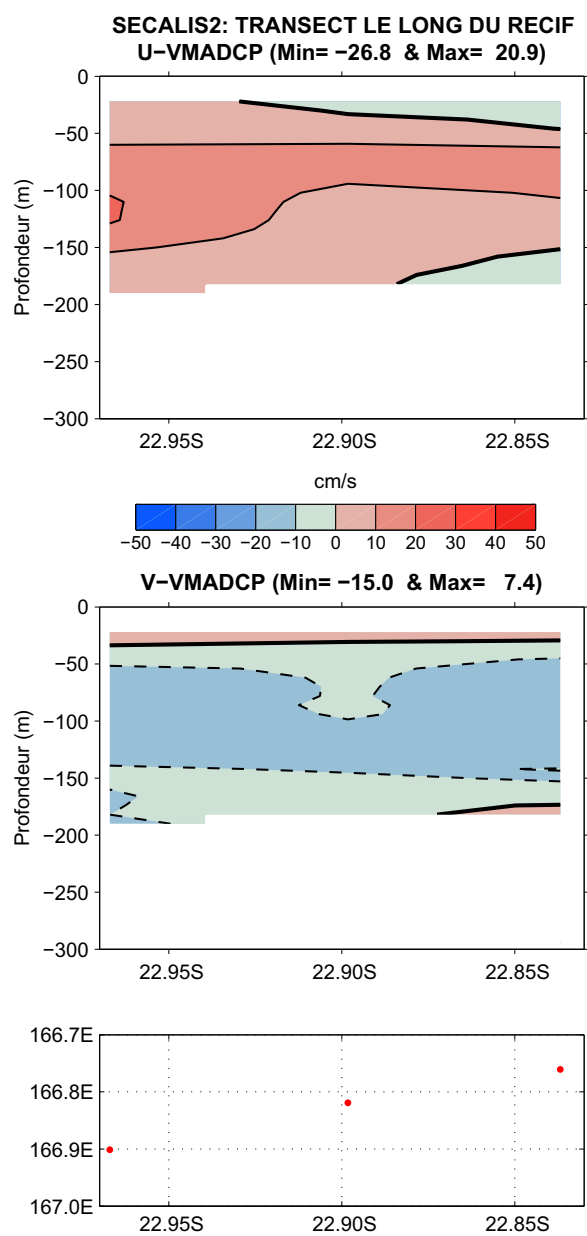


Figure 22 : S-ADCP, section zonale 2, au large du récif sud de Nouvelle-Calédonie

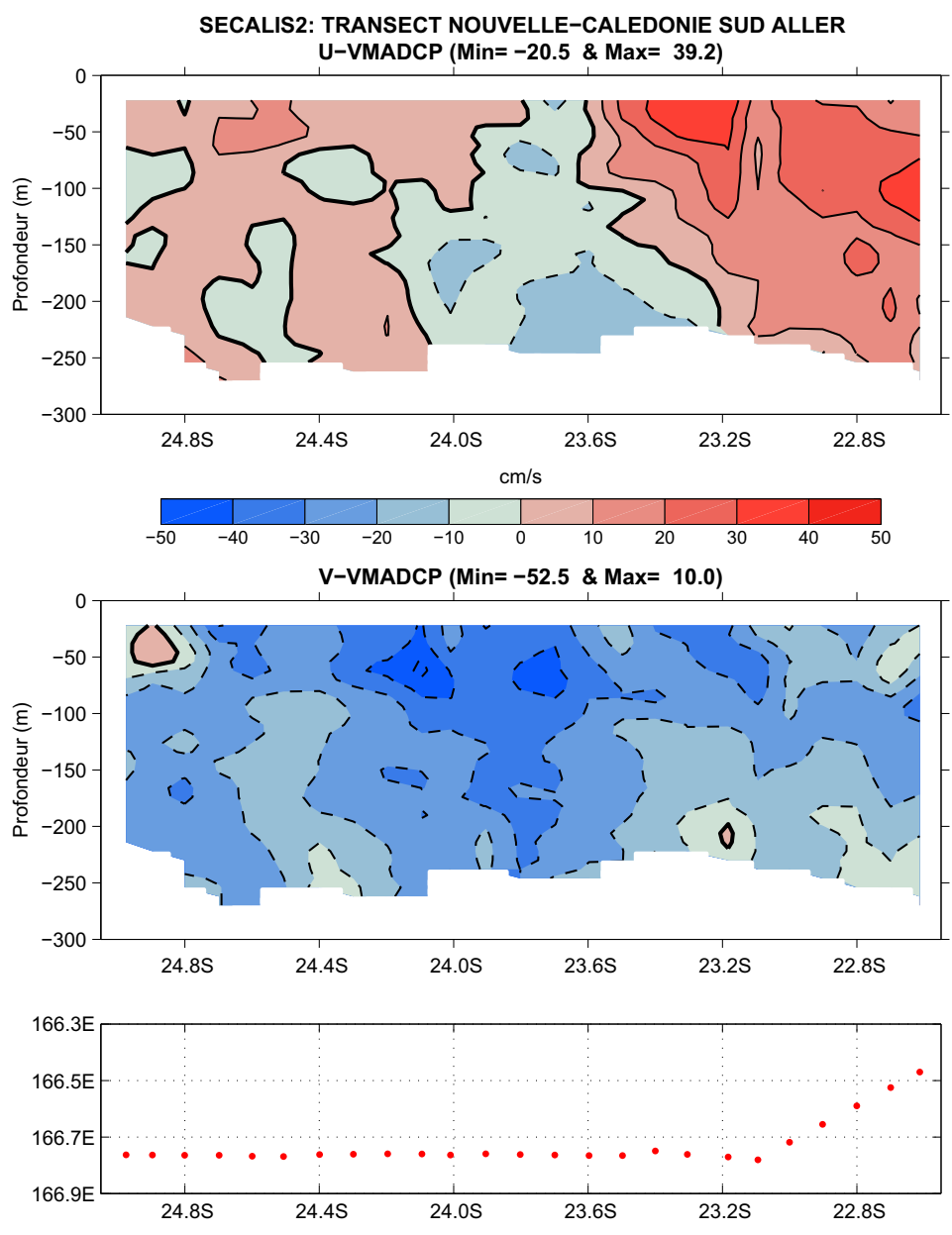


Figure 23 : S-ADCP, section méridienne Sud, aller

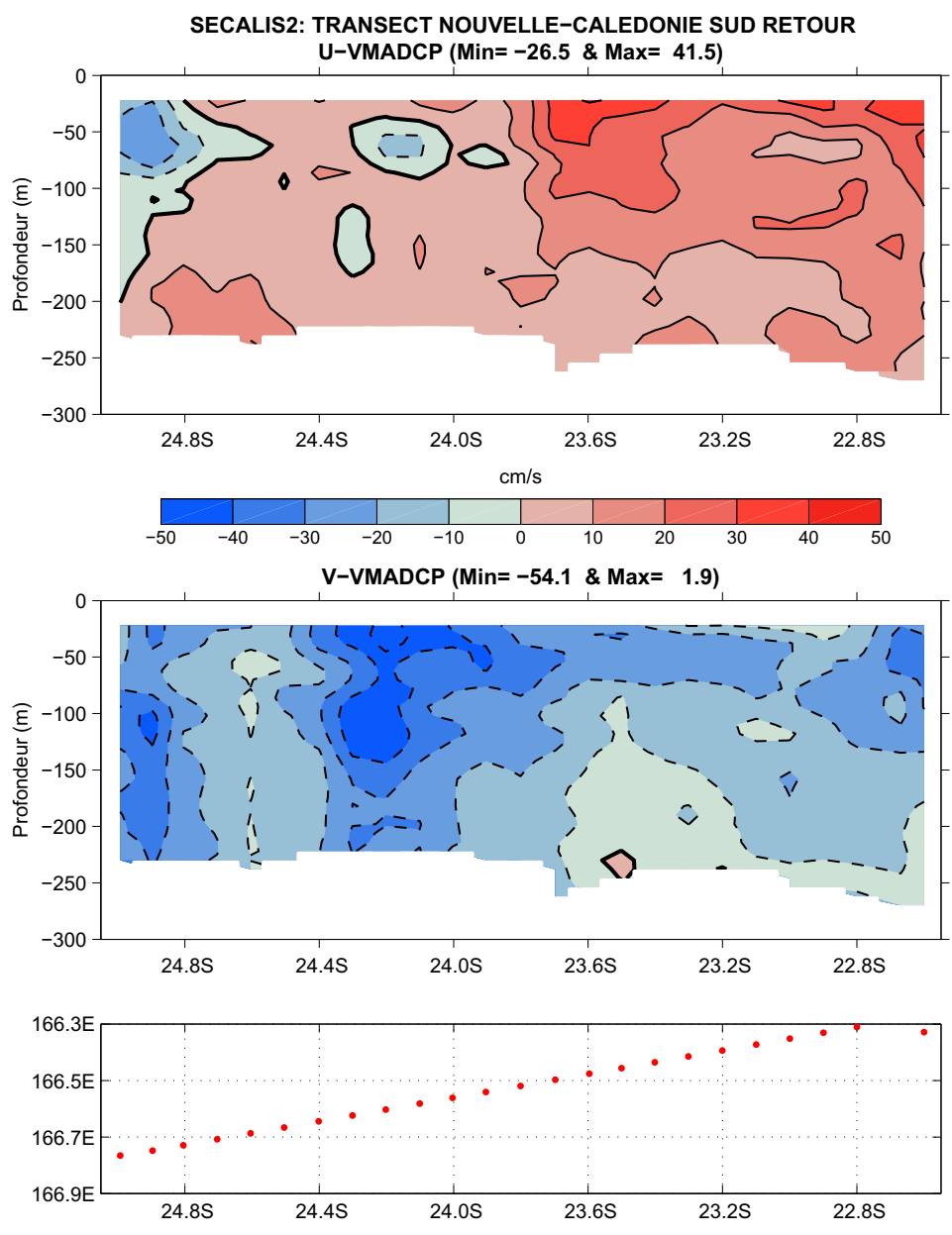


Figure 24 : S-ADCP, section méridienne Sud-retour

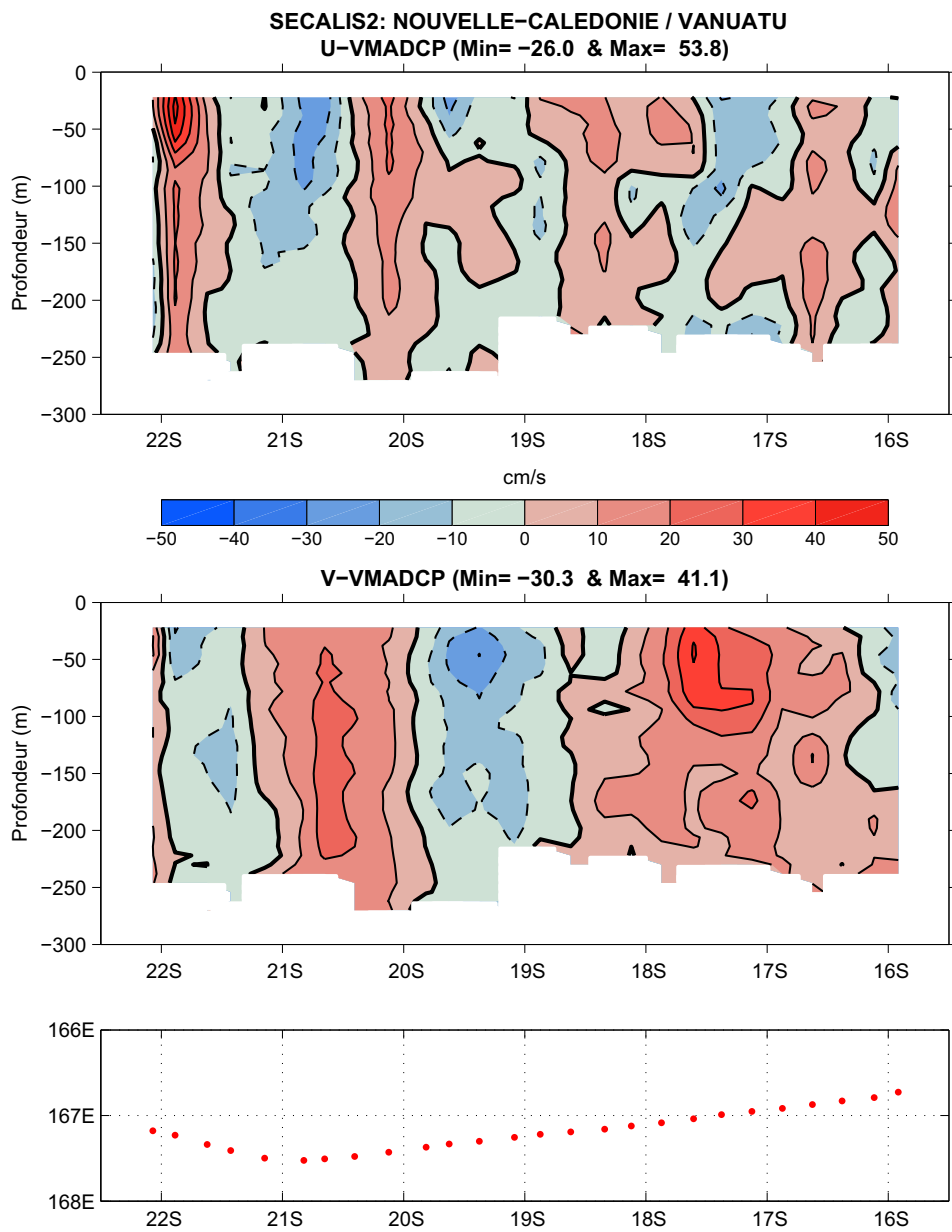


Figure 25 : Section Nouvelle-Calédonie (Havannah) - Vanuatu

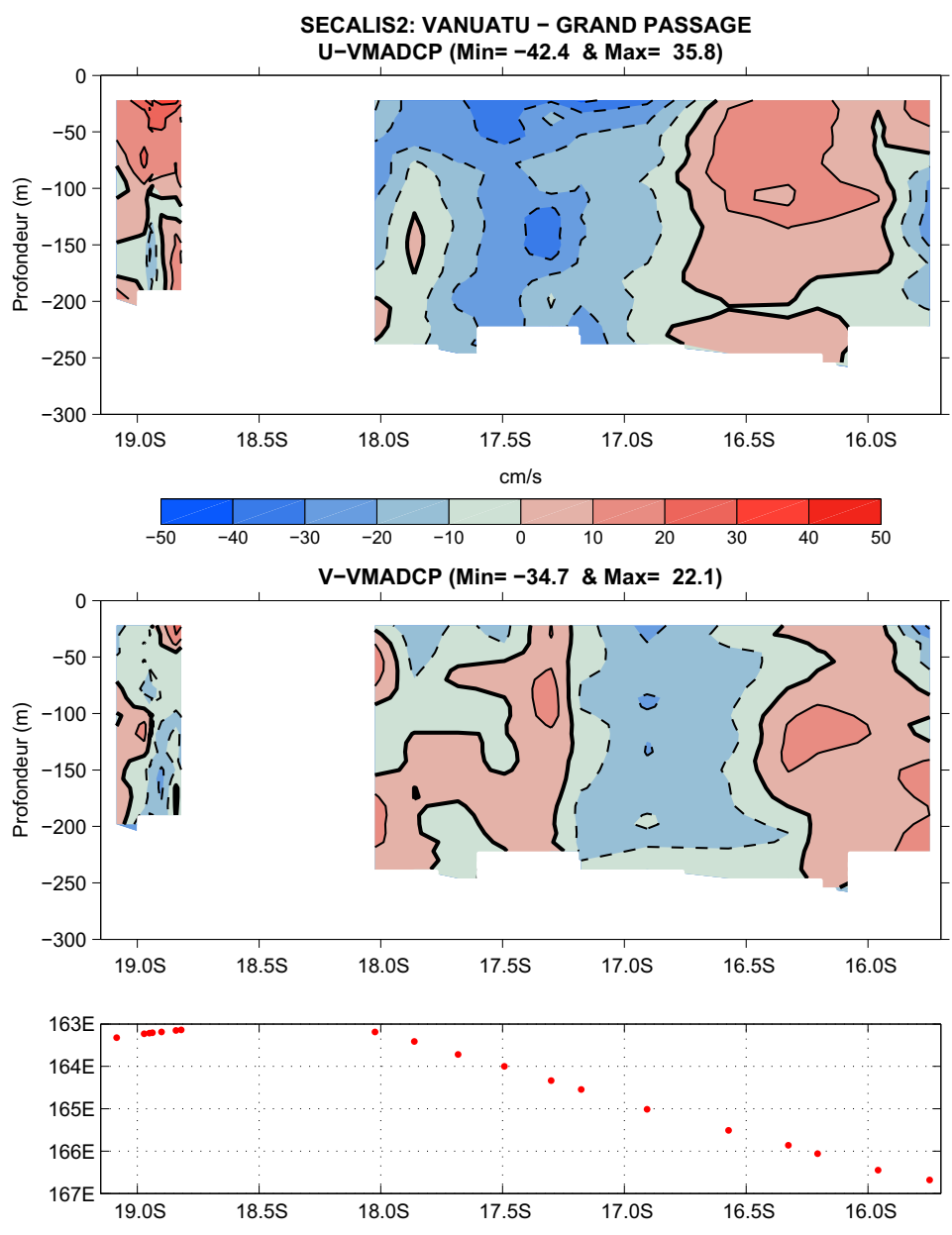


Figure 26 : S-ADCP, section Vanuatu-Récif Nord (à droite) et grand passage ouest (à gauche)

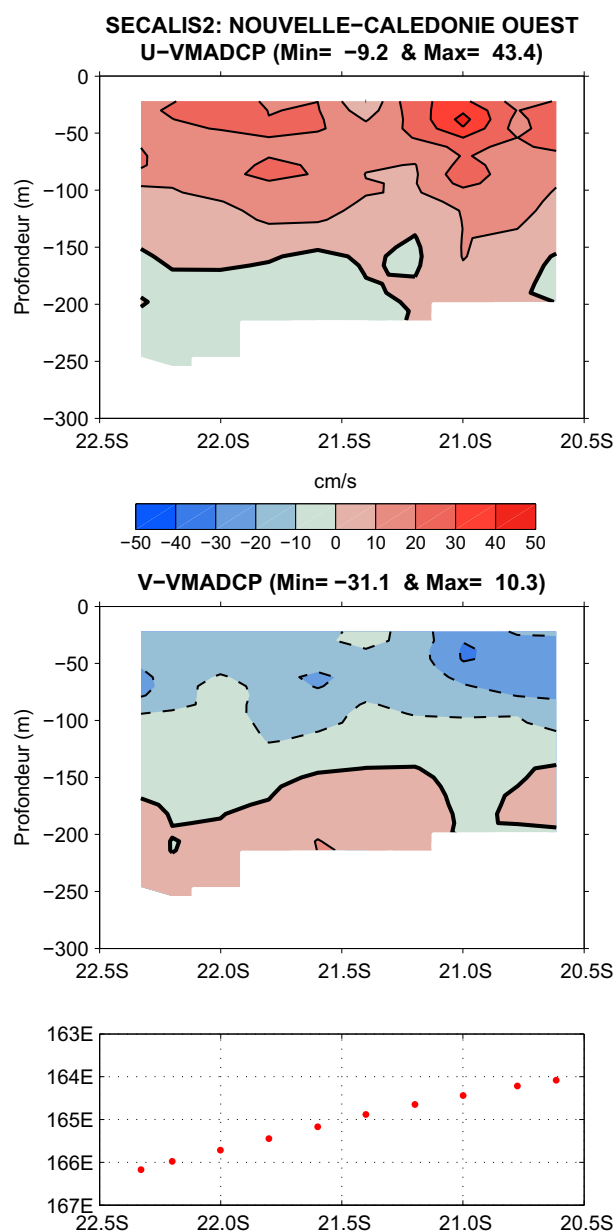


Figure 27 : S-ADCP, section Récif Nord-Nouméa à l'extérieur de la côte ouest

6 Mesures météorologiques

Une station de type Batos était installée pendant la campagne. Les paramètres mesurés ont été les suivants : température de l'air, température de la mer, pression atmosphérique, humidité relative, vitesse et direction du vent. L'ensemble des paramètres a été mesuré toutes les minutes via le logiciel Lab_view installé sur PC. Les observations de vents toutes les 2 heures sont représentées sur les Figure 28 et Figure 29.

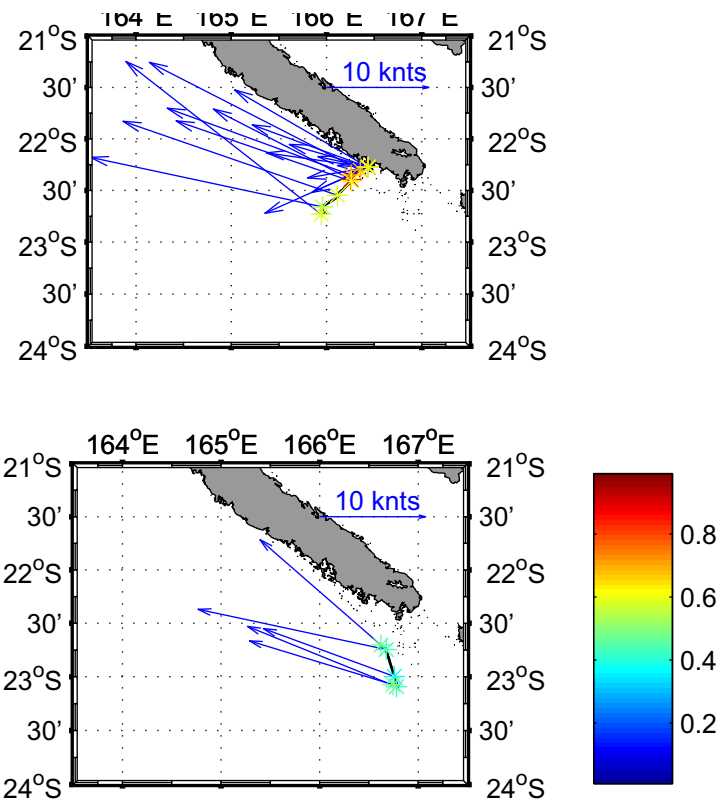


Figure 28 : Vent et humidité relevés le long d'une partie de la trajectoire ouest par la station BATOS. La flèche de référence indique 10 noeuds.

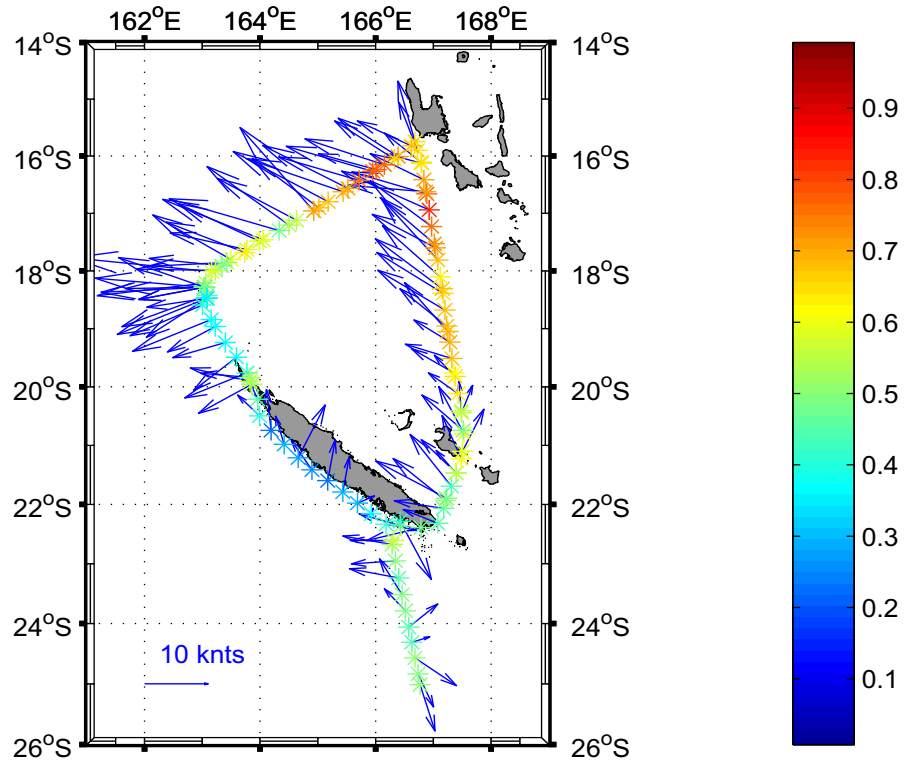


Figure 29 : Vent et humidité relevés le long de la trajectoire du deuxième leg par la station BATOS. La flèche de référence indique 10 noeuds.

7 Mesures chimiques

7.1 Mesure en continu de la pression partielle du CO₂

La pression partielle du CO₂ (pCO₂) est mesurée sur l'eau de surface qui alimente les thermosalinographes. Pour déterminer la valeur de la pression partielle du CO₂ dans l'eau superficielle, on met en équilibre l'eau de mer avec l'air prélevé au même endroit, dans une cellule en plexiglas® (ou "équilibrateur") comportant une série de chicanes: c'est la teneur en CO₂ de la phase gazeuse qui est ensuite mesurée à l'aide d'un analyseur infrarouge. La pression partielle du CO₂ est également mesurée dans l'air 1 fois par jour à 20m au dessus de l'eau. L'ensemble du dispositif d'analyse est décrit en détail dans Dandonneau (1995). L'analyseur infrarouge utilisé lors de la campagne était un LI-COR LI 820. L'acquisition des données a été réalisée avec le logiciel LabView, avec un cycle d'interrogation de l'analyseur infrarouge toutes les 5 minutes. Les données sont exprimées en μatm (Figure 30 à Figure 31).

Les données intra lagonnaires et les séries irrégulières suite aux changements de la colonne de filtrage d'air ont été retirées. Toute la partie Nord de la campagne présente de telles difficultés, et le CO₂ résultant, trop fort pour une raison indéterminée, n'est pas présenté. Des décalages suite à certains changements de colonne apparaissent, et l'analyse de ces données doit être effectuée avec prudence.

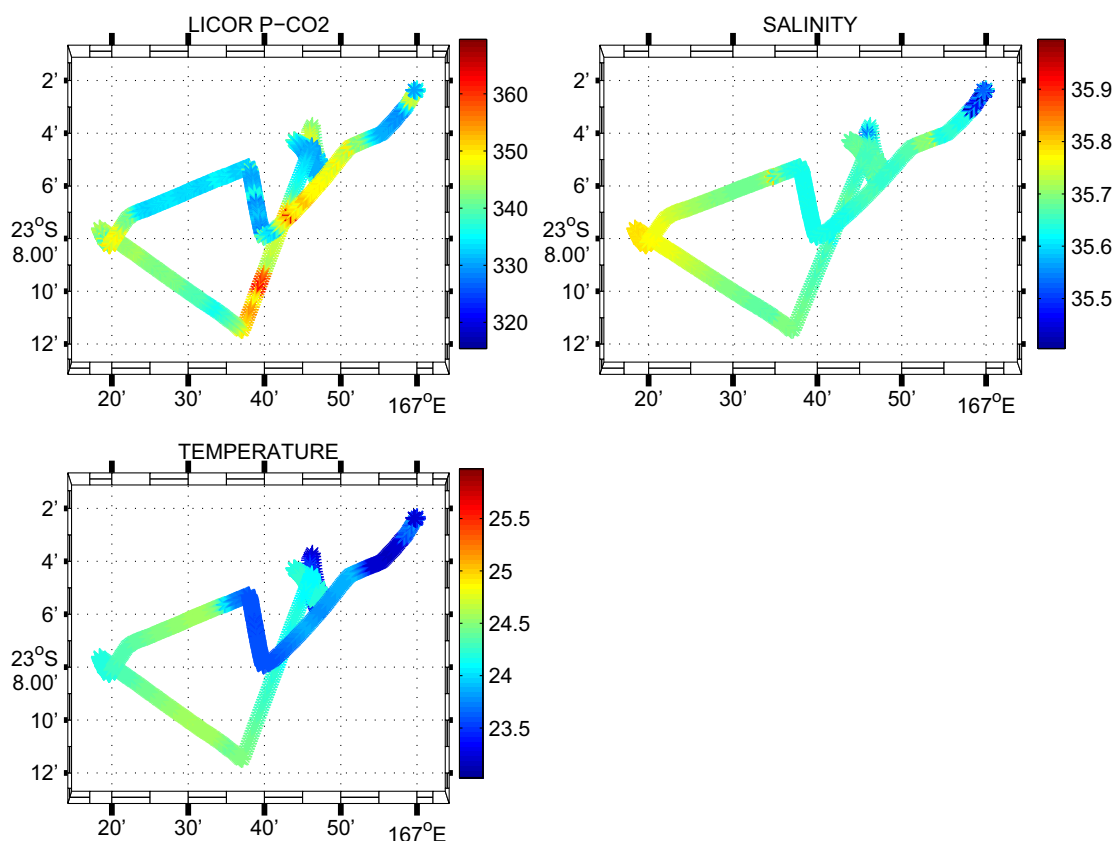


Figure 30 : Pression partielle de CO₂ (ppm), avec température et salinité TSG, Ouest de la Nouvelle-Calédonie.

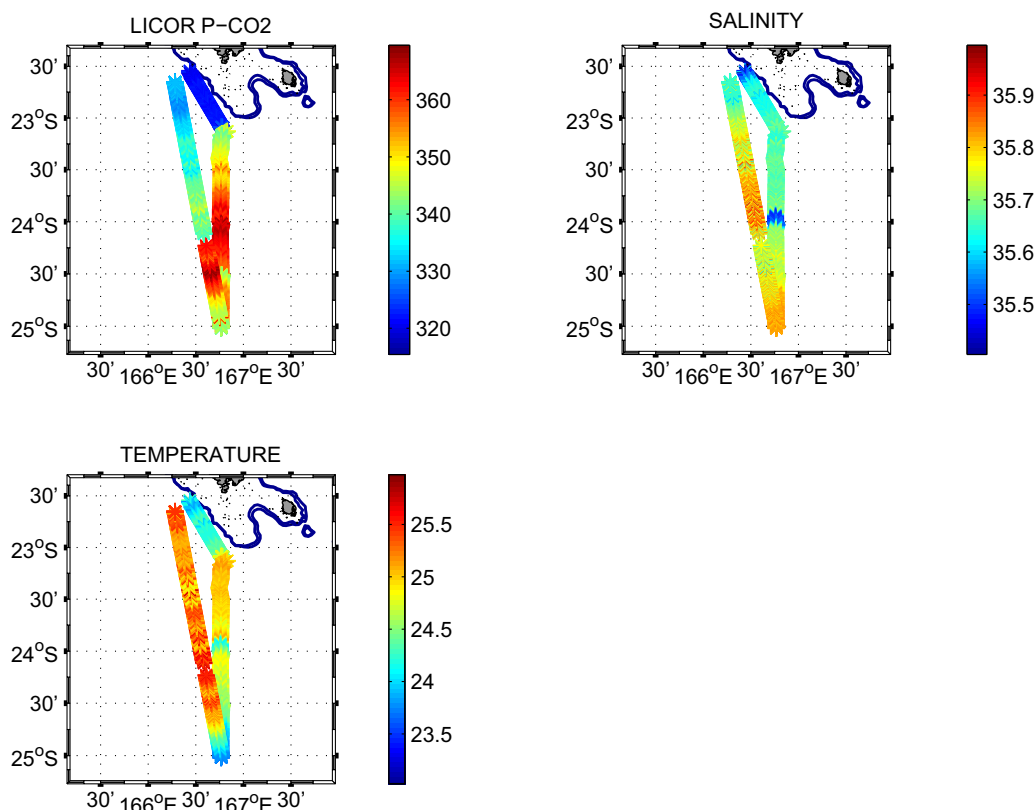


Figure 31 : Pression partielle de CO₂ (ppm), avec température et salinité TSG, partie sud.

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

L'échantillonnage pour les sels nutritifs a été réalisé entre 0 et 200m. Lors de cette campagne, les prélèvements d'eau ont été effectués à l'aide de bouteilles Niskin de 5L fermées manuellement avec des messagers, en raison d'une panne du treuil « hydro » destinée à la rosette/CTD.

A l'exception de l'ammonium dont la mesure a été réalisée à bord, les autres sels nutritifs ont été conservés (congélation à -20°C) et analysés à posteriori au laboratoire.

Les concentrations en sels nutritifs sont exprimées en micromoles par litre (μM).

Les sections des sels nutritifs sont données avec les résultats de mesures biologiques, Figure 32 à Figure 37.

7.2.1 Ammonium (NH₄⁺)

L'ammonium a été déterminé manuellement par fluorimétrie à l'aide d'un fluorimètre Turner Design TD-700, équipé d'un filtre d'excitation de 350 nm et d'un filtre d'émission de 410-600nm. La méthode d'analyse est celle décrite par Holmes et al. (1999) et basée sur l'utilisation de l'*o*-phtaldialdéhyde. La lecture au fluorimètre est réalisée 6h après ajout des réactifs, délai nécessaire au développement du complexe fluorescent. La limite de détection est 0.020μM et le coefficient de variation entre réplicats est de 12 à 35%.

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

Les nitrates et nitrites ont été déterminés par dosage colorimétrique automatisé à flux continu sur un Autoanalyseur II Technicon. Le principe de la méthode est basé sur la réduction des nitrates en nitrites puis sur la réaction des nitrites avec le sulfanilamide et l'EDTA (N-(Naphthyl-1)-éthylène diamine) pour former un composé coloré absorbant à 543

nm. Les protocoles analytiques sont adaptés de ceux décrits dans Strickland et Parsons (1972) et détaillés dans Bonnet *et al.* (1992). L'acquisition automatique et informatique des données est assurée par le logiciel FASPac. La limite de détection de la méthode est 0.02µM pour les nitrates et 0.005µM pour les nitrites.

7.2.3 Phosphate soluble réactif (PO₄⁻ ou PSR)

Le phosphate soluble réactif a été mesuré automatiquement à l'aide d'un autoanalyseur A III (Bran+Luebbe), selon la méthode de Murphy et Riley (1962). Cette méthode colorimétrique est basée sur la réaction des ions phosphates avec le molybdate d'ammonium, en présence d'acide ascorbique et d'antimoine, la lecture du composé coloré se faisant à 885nm L'acquisition automatique des données est assurée par le logiciel AACE. La limite de détection est de 0.030 µM.

8 Mesures biologiques

Les sections des mesures biologiques sont données Figure 35 à Figure 37. Les résultats sont exprimés en µg.L⁻¹.

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

Les prélèvements ont été effectués sur les bouteilles de prélèvement de type Niskin, aux mêmes profondeurs que les sels nutritifs. Les échantillons d'eau de mer (577mL) sont filtrés sur filtres Whatman GF/F et stockés à -196°C dans l'azote liquide pour être analysés au laboratoire de retour à terre. La filtration sur GF/F permet d'obtenir la chlorophylle totale (Chla total). Des mesures ont été également réalisées sur la fraction de taille > 10µm (Chla > 10µm). Pour ce faire, 2L d'eau de mer ont été filtrés sur filtre nuclépore 10µm puis stockés dans l'azote liquide et traités comme les échantillons de Chla totale.

La chlorophylle est analysée après extraction dans le méthanol à 95% pendant 15min, à l'aide d'un fluorimètre Turner Designs TD-700, équipé de filtres d'excitation de 340-500nm et d'émission de > 665nm. Le protocole utilisé est celui décrit dans Le Bouteiller *et al.* (1992). La calibration du fluorimètre est réalisée avec de la chlorophylle "a" pure Sigma dosée au spectrophotomètre. Les phéopigments sont obtenus en calculant la différence entre les concentrations de pigments mesurés avant et après acidification.

8.2 Mésozooplancton (200-2000µm)

Les prélèvements ont été faits en traits verticaux 200-0m avec un filet WP-2 (UNESCO, 1968). Ce dernier a une section d'ouverture de 0.25m², une longueur de 2.61m et une soie de 200µm de vide de maille. Un débitmètre T.S.K. a permis de mesurer le volume filtré exact, la profondeur maximum atteinte par le filet étant estimée à partir de l'angle de câble en fin de descente et la longueur de câble filée. Les échantillons ainsi collectés sont ensuite passés sur un tamis de 2000µm afin de sélectionner le mésozooplancton dont la taille est comprise entre 200 et 2000µm. La totalité de l'échantillon a été fixée dans le formol à 10% puis traitée à terre dans le mois qui a suivi la campagne.

Au laboratoire, chaque échantillon de zooplankton a été fractionné en deux parties, avec un échantillonneur de Folsom. Une moitié a alors été conservée en vue d'examen ultérieurs, l'autre étant rincée avec 100ml d'eau douce pour éliminer le sel puis recueillie sur une soie pré-pesée de 100µm. La soie et son plancton ont ensuite été séchés à l'étuve à 60°C pendant 24 h, et conservés à -20°C puis de nouveau passés à l'étuve avant la pesée. Le poids sec (PS) de l'échantillon est déterminé par différence entre le poids de la soie avec plancton et celui sans.

Les données de biomasse (PS) du zooplancton sont ramenées au volume d'eau échantillonné et exprimées en $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$, ou en $\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}$ si elles sont ramenées à la colonne d'eau échantillonnée (200m). A noter qu'il est connu que le poids de plancton formolé est inférieur à celui qu'il aurait sans cette fixation. L'Annexe I de l'article de Le Borgne et Roger (1983) fait apparaître qu'au bout de 4 ou 11 mois, il ne reste plus que 30% du poids sec initial (sans fixation). Les données présentées dans ce rapport ont été corrigées en conséquence et sont reportées Figure 37.

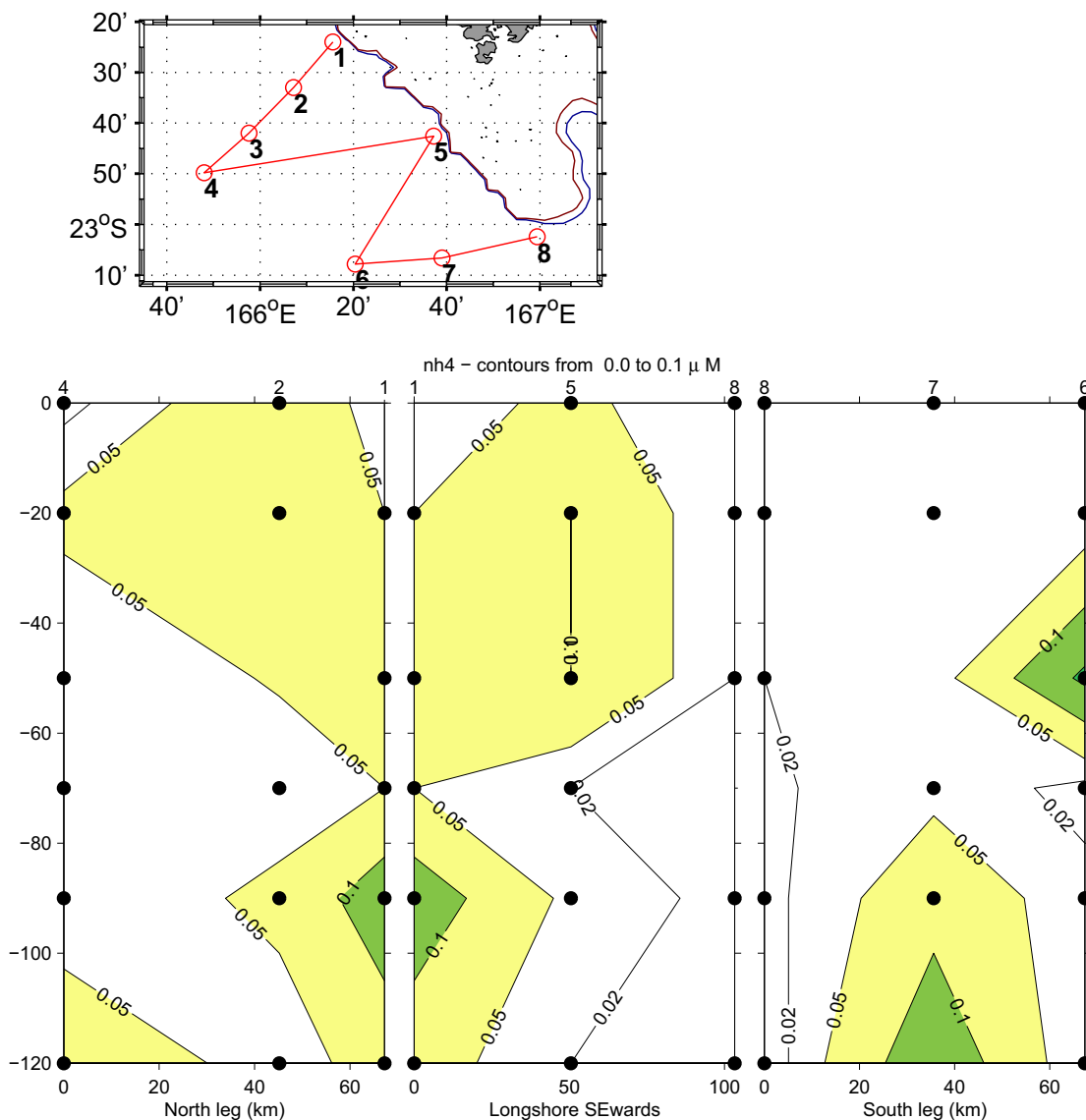


Figure 32 : Données d'Ammonium, radiale ouest : (haut) position des stations ; (gauche) : section nord large-côte ; (milieu) : section intermédiaire le long du récif ouest ; (droite) section sud côte-large. Les numéros de station sont donnés au dessus de chaque graphique.

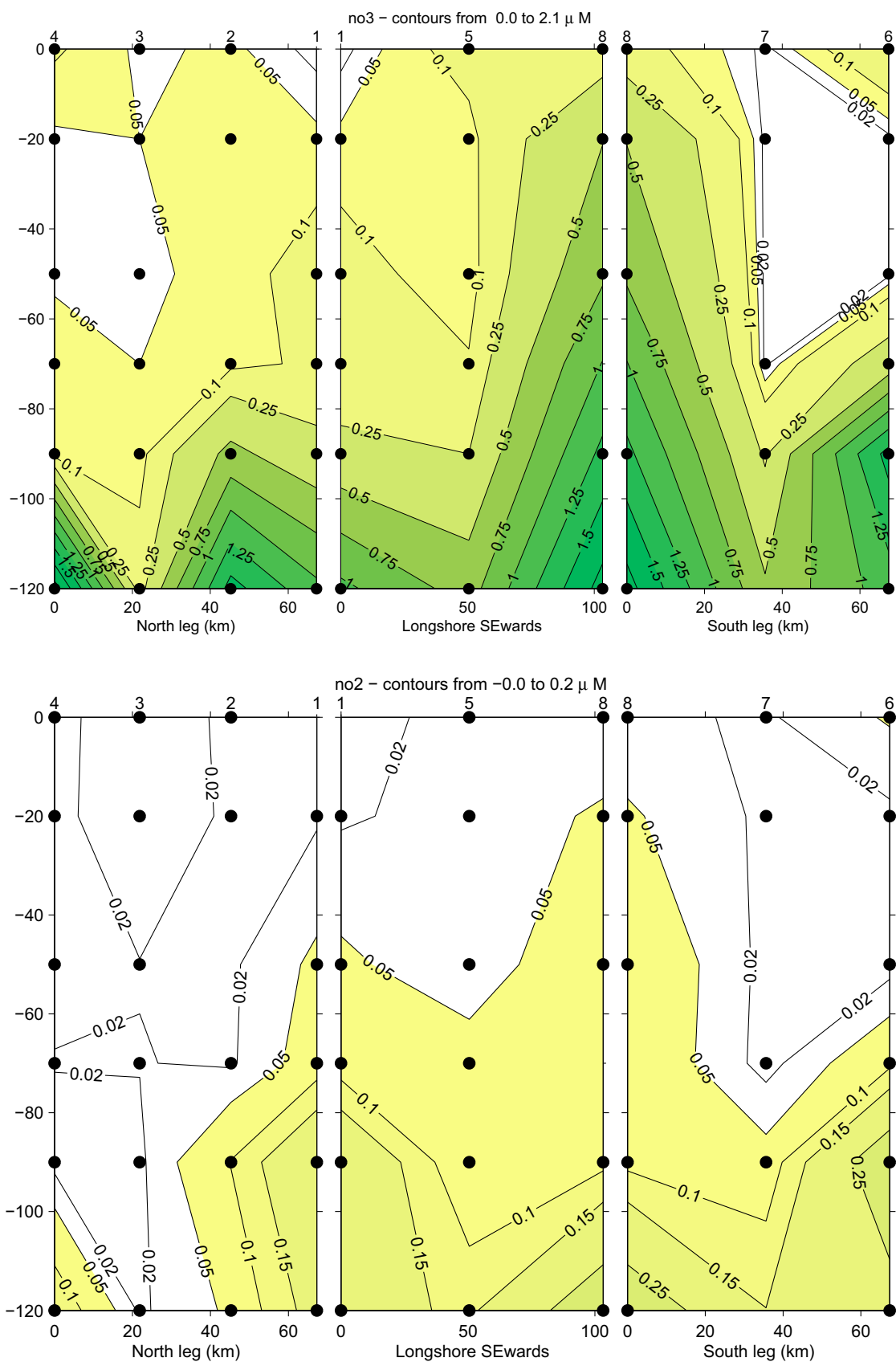


Figure 33 : Idem Figure 32 pour NO3 et NO2

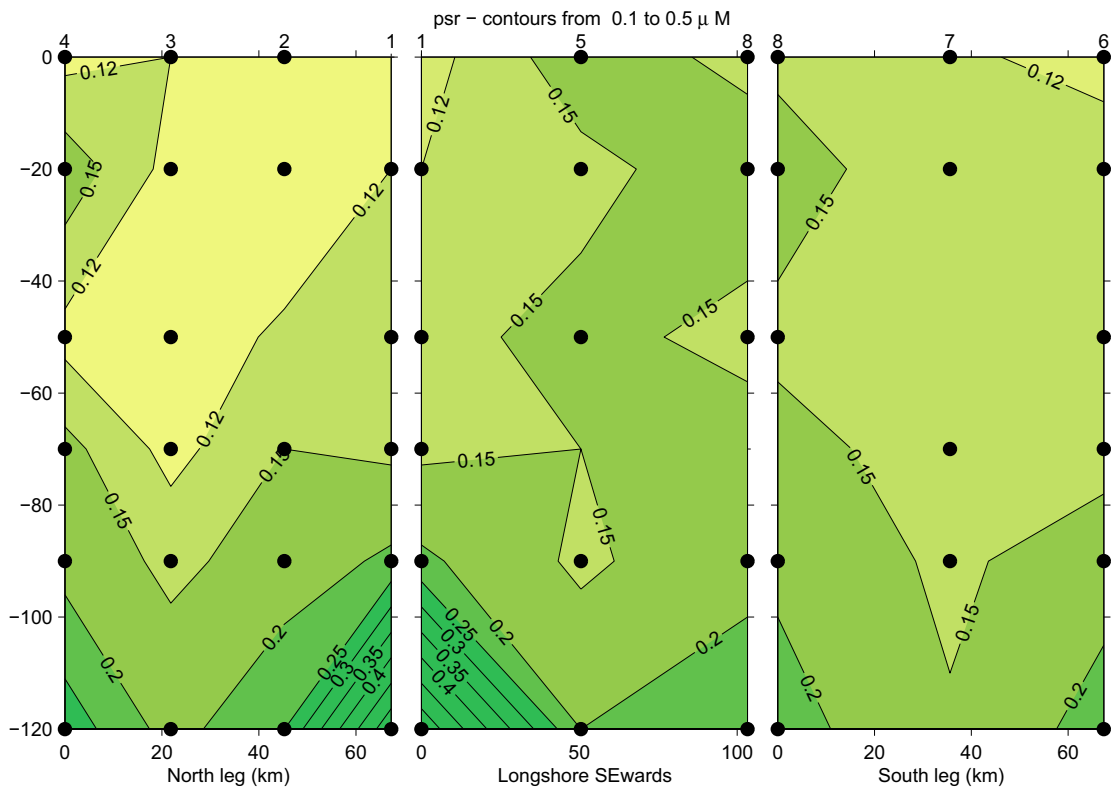


Figure 34 : Idem Figure 32 pour le phosphate soluble réactif

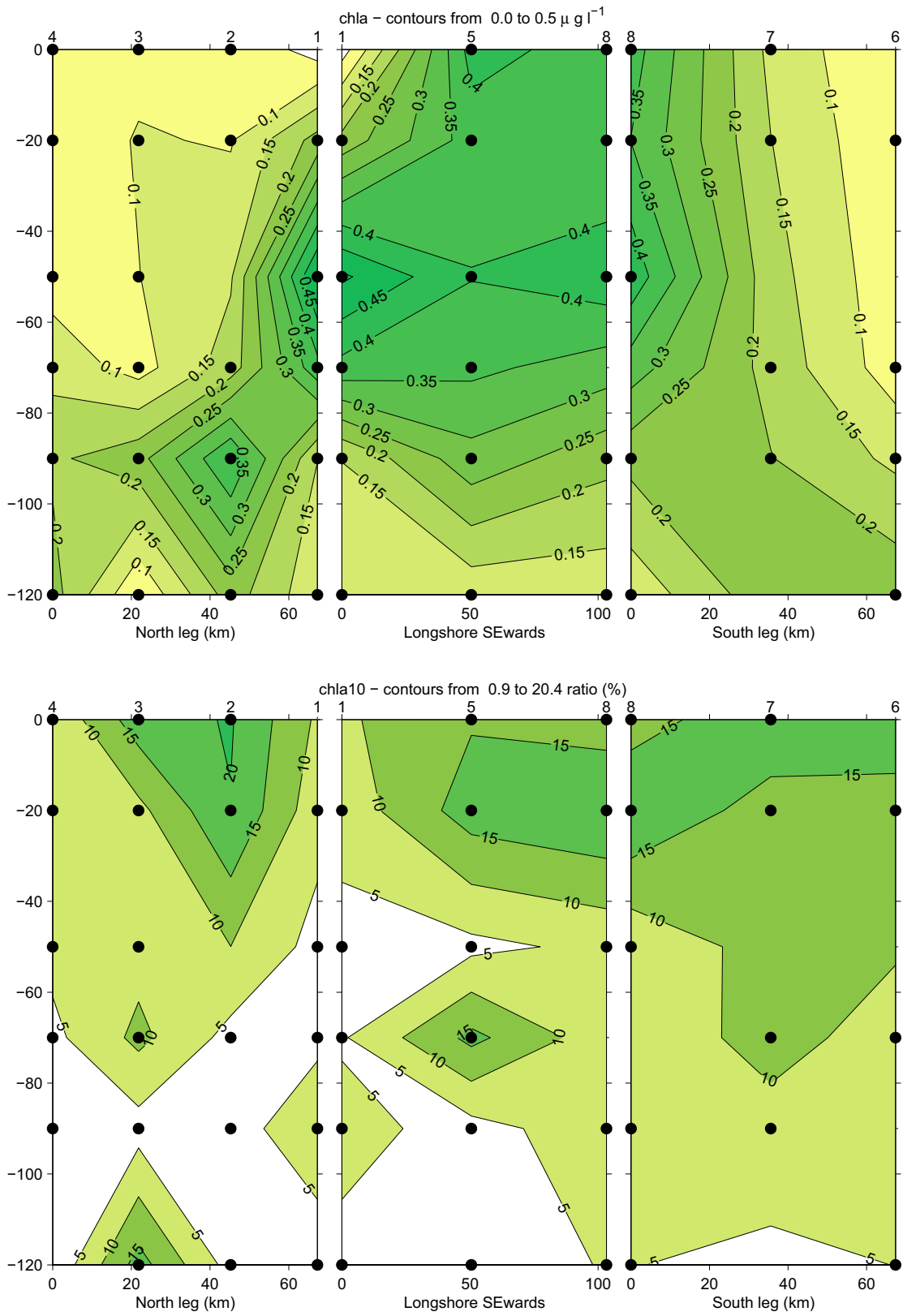


Figure 35 : Idem Figure 32 pour la chlorophylle-A (haut) et la fraction de taille > 10 μm (chla10, en pourcentage du total)

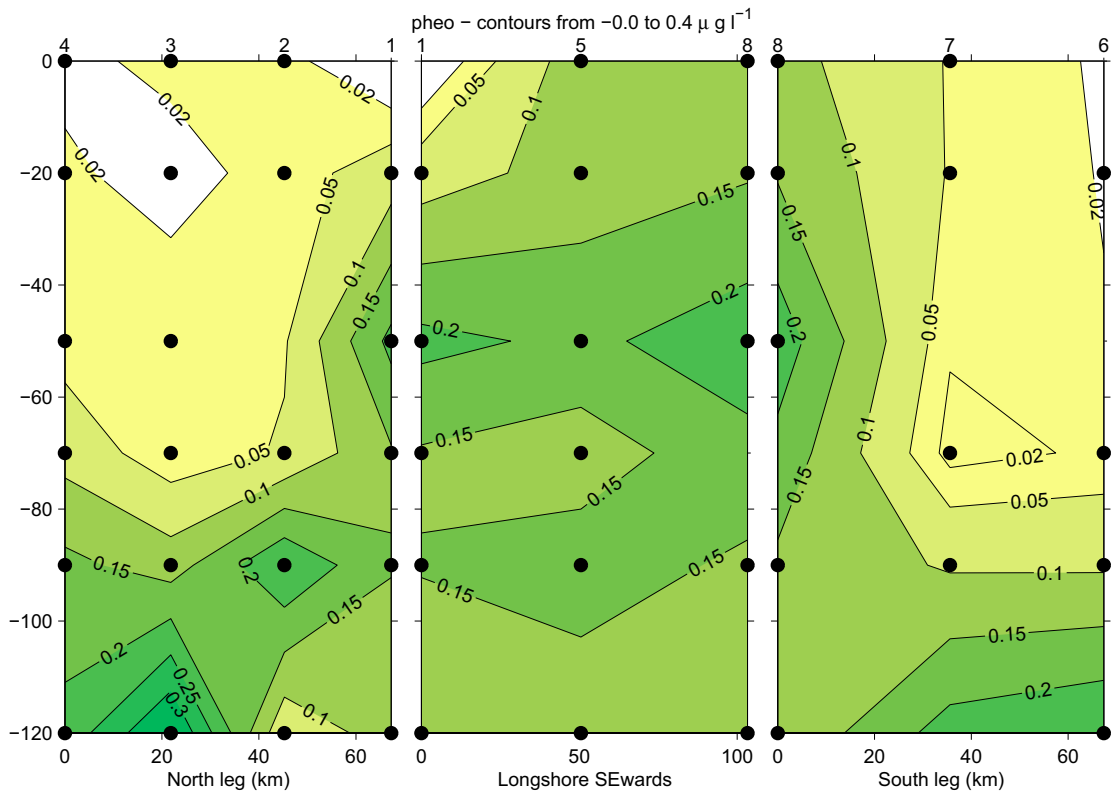


Figure 36 : Idem Figure 32 pour le Phéopigment

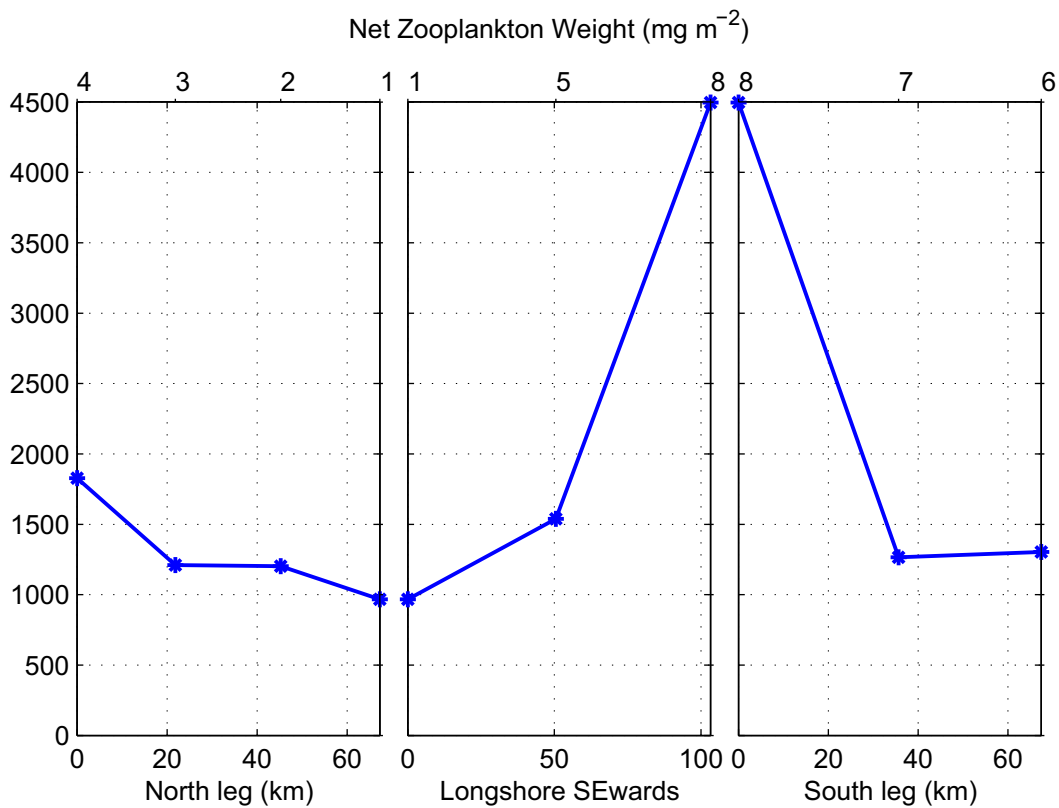


Figure 37 : Prélèvements zooplancton (poids secs corrigés d'un facteur de 3).

9 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 8). 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 données Figure 38. Deux de ces bouées ont été emportées rapidement vers les récifs (44316 et 44315), apportant néanmoins des informations intéressantes sur les courants de surface. Les bouées 44317 et 44314 ont « vécu » plus longtemps, la 44317 atteignant la côte australienne.

| Ident. Bouée | Latitude | Longitude | Date TU lancement | Numéro de série |
|--------------|------------|------------|-------------------|-----------------|
| 55930 | 23°08.02'S | 166°49.33' | 12/12/04 4:00 | 44316 |
| 55929 | 24°59.23'S | 166°46.04' | 12/12/04 22:20 | 44317 |
| 55931 | 16°54.86'S | 165°00.65' | 18/12/04 0:04 | 44314 |
| 55930 | 17°40.83'S | 163°44.31' | 18/12/04 17:49 | 44315 |

Tableau 8: Numéro d'identification (ID/WMO), position et dates de largage des bouées dérivantes.

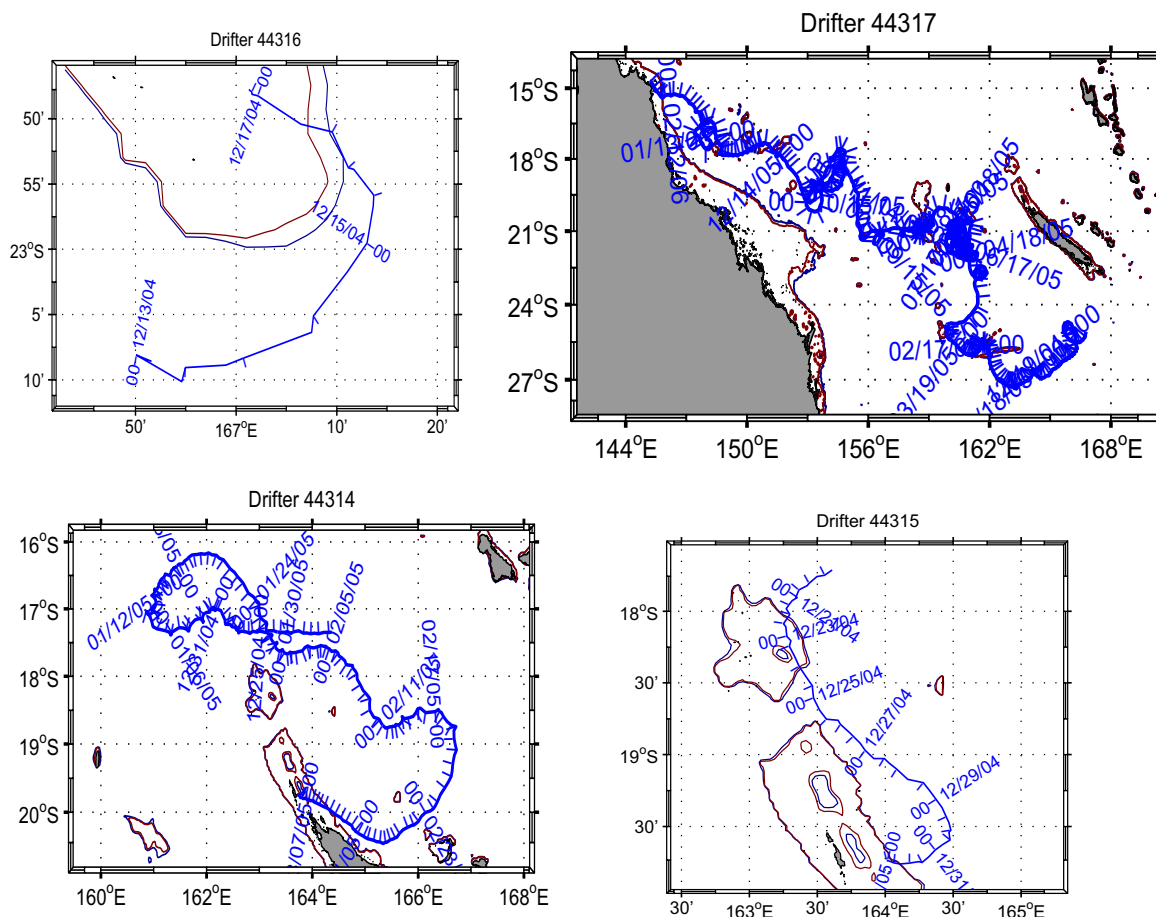


Figure 38 : Trajectoire des la bouées dérivantes. Les trajectoires sont marquées toutes les 12 heures

10 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.
- Bonnet (1995) Manuel d'analyses chimiques dans l'eau de mer. Doc. Multigr. Centre ORSTOM-Nouméa, sér. Notes Techniques (Science de la mer, Océanographie), n°2, 45 pp.
- Carpenter, J.H., 1965. The Chesapeake Bay Institute technique for the Winkler dissolved oxygen method, *Limnol. Oceanogr.*, 10, 141-143.
- 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.
- 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.
- Dunn, J.R., and K.R. Ridgway, 2002: Mapping ocean properties in regions of complex topography, *Deep-Sea Research I* 49 591-604
- Ganachaud, A., G. Eldin, M. Rodier, R. Chuchla, F. Gallois, A. Lapetite, 2006. 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.
- 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 Borgne R., Roger C. (1983) Caractéristiques de la composition et de la physiologie des peuplements hauturiers de zooplancton et micronecton du Golfe de Guinée. *Océanogr. tropic.*, XVIII (2): 381-418.
- 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.
- 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.
- 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.

11 Annexe 1 : Photos



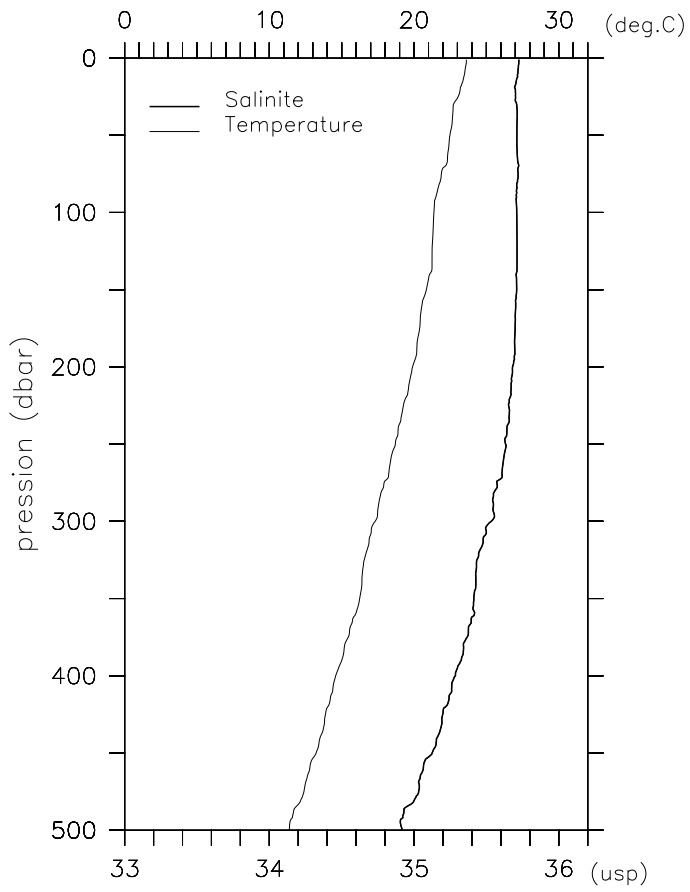
12 Annexe 2 : Chronologie détaillée de la campagne

| N° Station | Latitude dd°mm' | Longitude dd°mm' | Date et heure TU jj/mm/aaaa hh:mm | Profon deur (en m) | Durée hh:mm | CTD | Distance en milles |
|--------------------------|--------------------|---------------------|--------------------------------------|--------------------------|----------------|-----|-----------------------|
| 1 | -22.24 | 166.15 | 09-Dec-2004 01:20:00 | 500 | 01:30 | 1 | 2.15 |
| 2 | -22.33 | 166.07 | 09-Dec-2004 05:04:30 | 500 | 01:30 | 1 | 11.89 |
| 3 | -22.42 | 165.58 | 09-Dec-2004 08:08:00 | 500 | 01:30 | 1 | 12.39 |
| 4 | -22.50 | 165.48 | 09-Dec-2004 11:21:00 | 500 | 01:30 | 1 | 12.07 |
| 5 | -22.43 | 166.38 | 09-Dec-2004 18:51:00 | 500 | 01:20 | 1 | 46.35 |
| 6 | -23.08 | 166.19 | 09-Dec-2004 21:55:00 | 500 | 02:10 | 1 | 30.17 |
| 7 | -23.07 | 166.39 | 10-Dec-2004 14:57:00 | 500 | 02:10 | 1 | 18.13 |
| 8 | -23.02 | 166.59 | 10-Dec-2004 18:48:00 | 500 | 01:30 | 1 | 19.36 |
| M1 | -23.06 | 166.46 | 10-Dec-2004 23:21:18 | | 08:00 | 0 | 12.62 |
| Changt équipage | -22.16 | 166.20 | 11.12.2004 18:35 | 500 | 00:50 | 1 | 7.58 |
| Récupération M1 | -23.06 | 166.46 | 12.12.2004 02:27 | | | | 52.17 |
| 9 | -23.10 | 166.46 | 12-Dec-2004 04:32:00 | 1000 | 00:50 | 1 | 4.47 |
| 10 | -23.30 | 166.46 | 12-Dec-2004 07:29:00 | 1000 | 00:50 | 1 | 20.00 |
| 11 | -24.01 | 166.46 | 12-Dec-2004 11:40:00 | 1000 | 00:50 | 1 | 31.00 |
| 12 | -24.30 | 166.46 | 12-Dec-2004 15:40:00 | 1000 | 00:50 | 1 | 29.00 |
| 13 | -25.00 | 166.46 | 12-Dec-2004 20:03:45 | 1000 | 01:40 | 1 | 30.00 |
| 14 | -22.40 | 166.17 | 13-Dec-2004 15:28:00 | 1000 | 00:50 | 1 | 142.52 |
| Réparation Treuil | -22.16 | 166.20 | 13-Dec-2004 | | | | |
| Départ 2 | -22.16 | 166.20 | 13.12.2004 21:00 | | | | |
| 15 | -22.04 | 167.11 | 14-Dec-2004 08:13:00 | 500 | 01:00 | 1 | 31.91 |
| 16 | -21.53 | 167.13 | 14-Dec-2004 10:30:00 | 2000 | 02:28 | 1 | 11.16 |
| 17 | -21.28 | 167.24 | 14-Dec-2004 16:12:00 | 2000 | 02:28 | 1 | 27.01 |
| 18 | -21.11 | 167.30 | 14-Dec-2004 20:31:00 | 1000 | 01:30 | 1 | 17.90 |
| 19 | -20.45 | 167.32 | 15-Dec-2004 00:35:00 | 2000 | 01:58 | 1 | 26.07 |
| 20 | -20.26 | 167.29 | 15-Dec-2004 04:10:00 | 2000 | 02:00 | 1 | 19.21 |
| 21 | -19.45 | 167.22 | 15-Dec-2004 10:38:00 | 2000 | 01:58 | 1 | 41.52 |
| 22 | -19.03 | 167.15 | 15-Dec-2004 17:25:00 | 2000 | 01:58 | 1 | 42.52 |
| 23 | -18.19 | 167.10 | 16-Dec-2004 00:53:00 | 2000 | 01:58 | 1 | 44.25 |
| 24 | -17.36 | 167.02 | 16-Dec-2004 07:10:00 | 2000 | 02:08 | 1 | 43.67 |
| 25 | -16.37 | 166.52 | 16-Dec-2004 16:20:00 | 2000 | 01:58 | 1 | 59.77 |
| 26 | -16.06 | 166.48 | 16-Dec-2004 22:25:00 | 2000 | 01:58 | 1 | 31.24 |
| 27 | -15.45 | 166.41 | 17-Dec-2004 03:31:00 | 500 | 01:00 | 1 | 22.05 |
| 28 | -16.04 | 166.20 | 17-Dec-2004 08:20:00 | 2000 | 02:10 | 1 | 27.73 |
| 29 | -16.14 | 166.01 | 17-Dec-2004 13:28:00 | 2000 | 02:10 | 1 | 20.81 |
| 30 | -16.34 | 165.31 | 17-Dec-2004 19:28:00 | 2000 | 02:10 | 1 | 35.05 |
| 31 | -16.54 | 165.01 | 18-Dec-2004 00:06:00 | 2000 | 02:10 | 1 | 35.01 |
| 32 | -17.12 | 164.30 | 18-Dec-2004 07:14:00 | 2000 | 02:10 | 1 | 34.68 |
| 33 | -17.29 | 164.00 | 18-Dec-2004 12:30:00 | 2000 | 02:10 | 1 | 33.30 |
| 34 | -17.40 | 163.44 | 18-Dec-2004 16:06:00 | 1300 | 01:29 | 1 | 18.81 |
| 35 | -17.48 | 163.29 | 18-Dec-2004 20:03:00 | 2000 | 02:10 | 1 | 16.37 |
| 36 | -17.54 | 163.20 | 18-Dec-2004 22:51:00 | 2000 | 02:10 | 1 | 10.46 |
| 37 | -17.60 | 163.14 | 19-Dec-2004 01:57:00 | 1000 | 01:30 | 1 | 8.28 |
| 38 | -18.01 | 163.09 | 19-Dec-2004 03:00:00 | 500 | 01:00 | 1 | 4.86 |
| 39 | -18.34 | 163.00 | 20-Dec-2004 03:16:00 | 500 | 01:00 | 1 | 9.77 |
| 40 | -18.56 | 163.12 | 20-Dec-2004 07:15:00 | 500 | 01:00 | 1 | 24.76 |
| Retour Nea | -22.14 | 166.22 | 22-Dec-2004 08:00:00 | | | | |

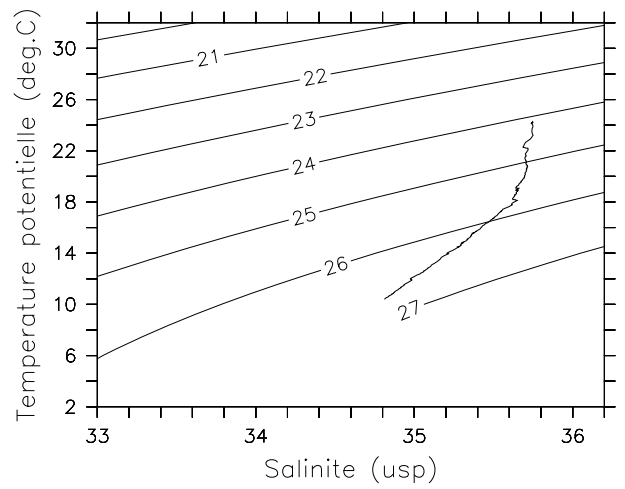
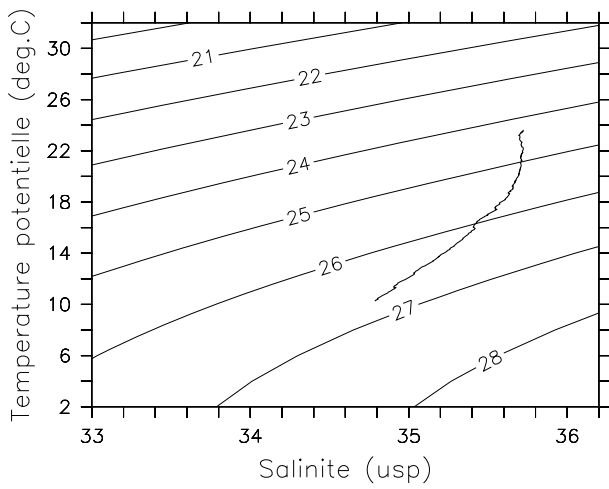
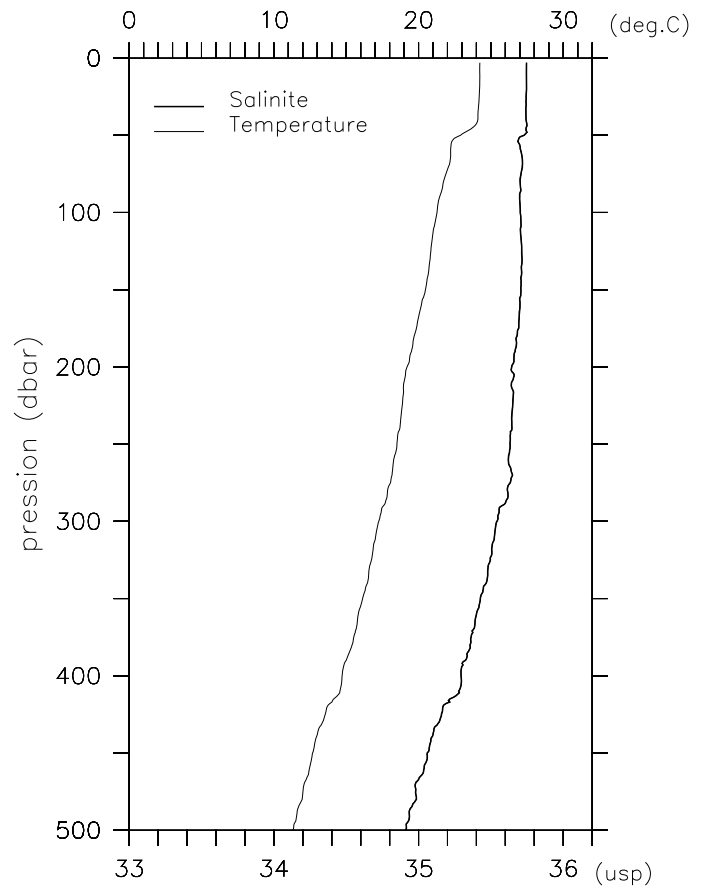
13 Annexe 3 : Profils CTD

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

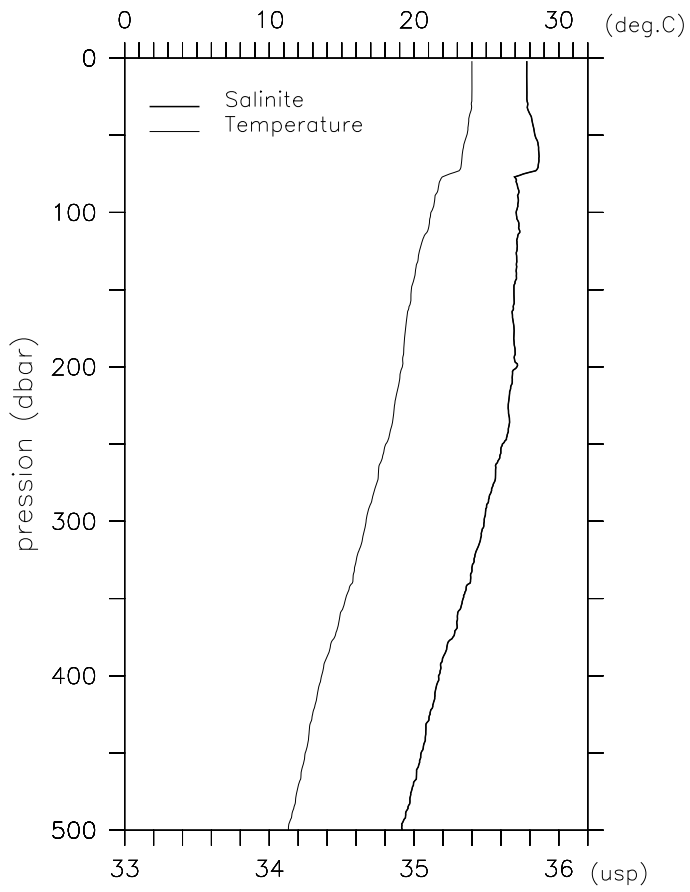
Secalis2 Station 1



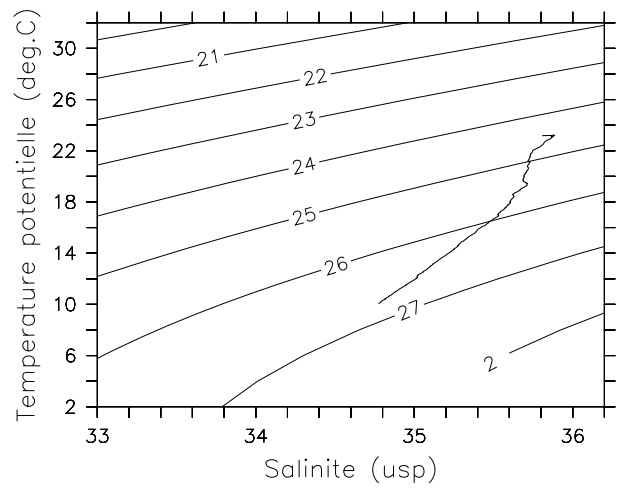
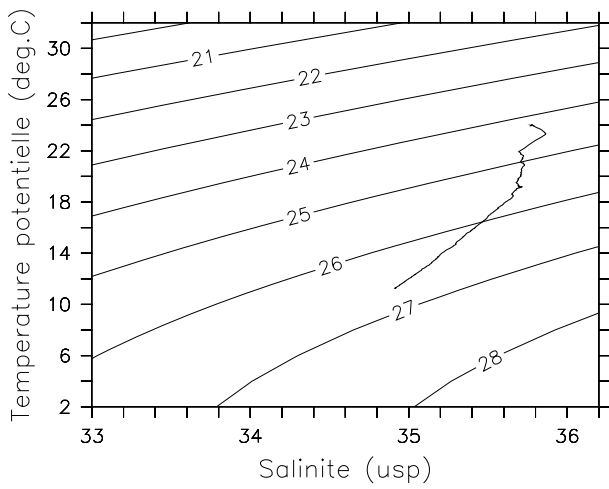
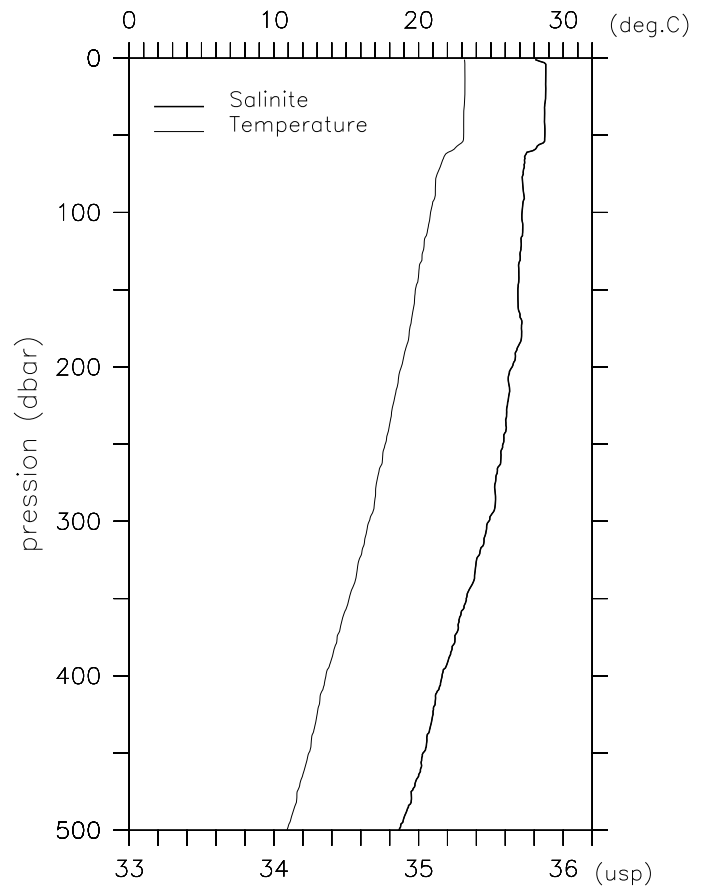
Secalis2 Station 2



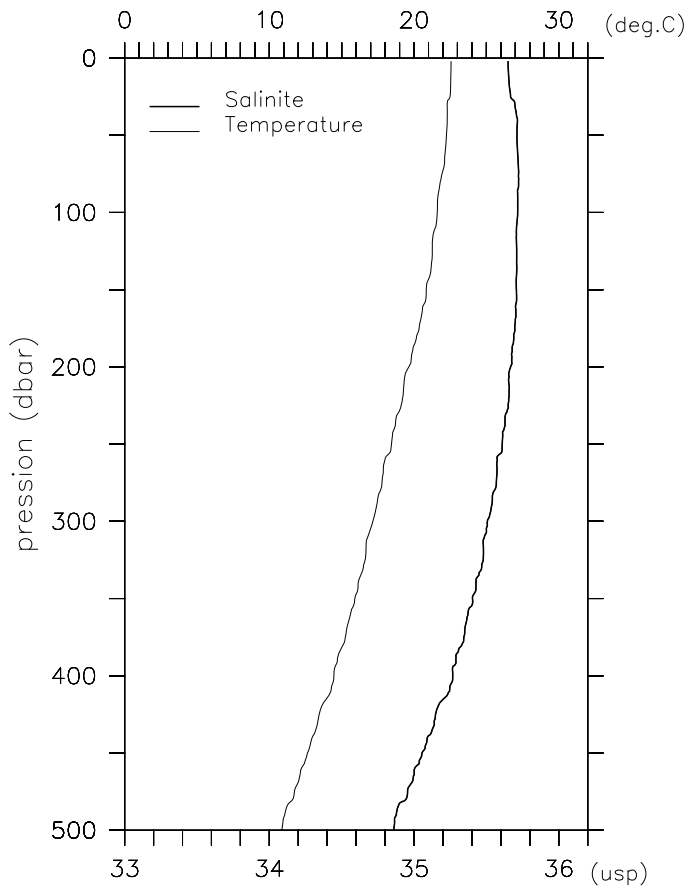
Secalis2 Station 3



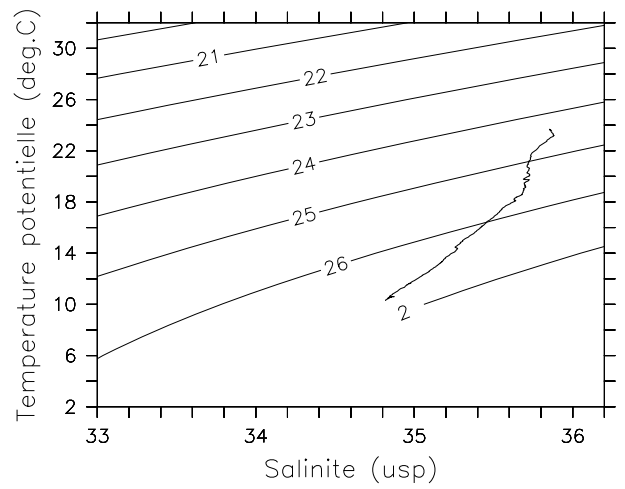
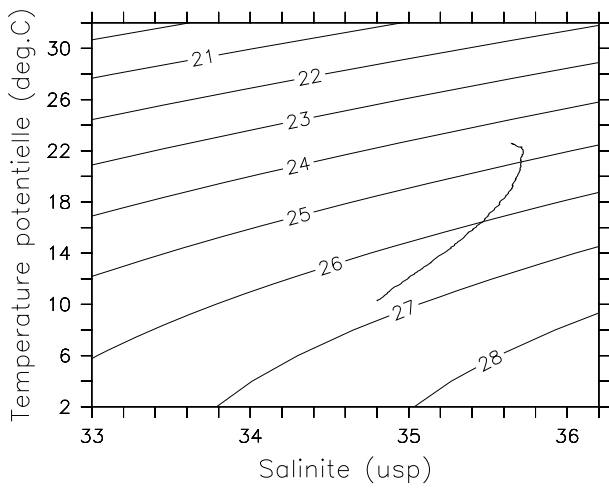
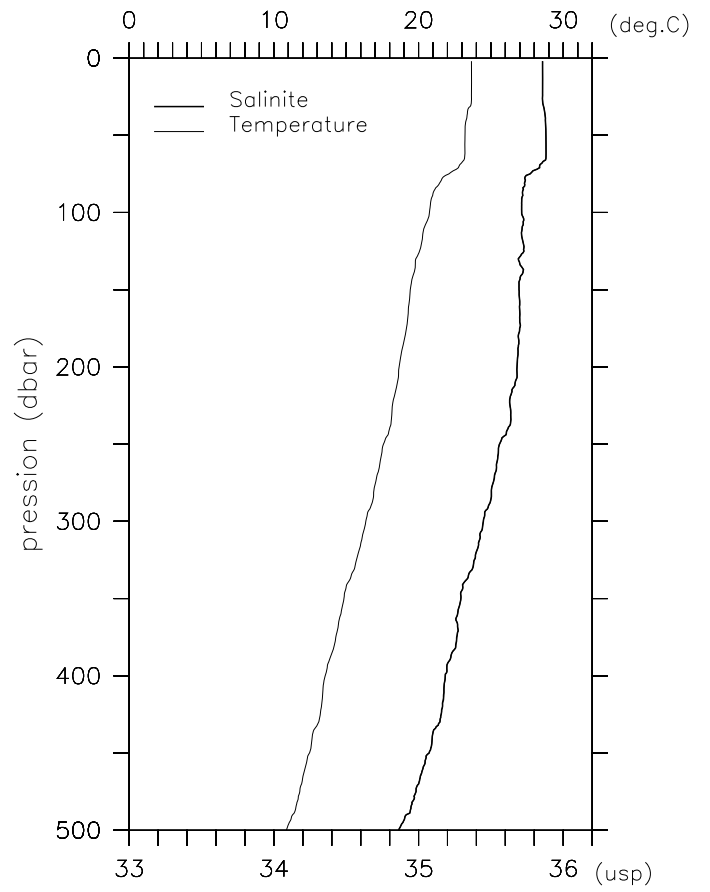
Secalis2 Station 4



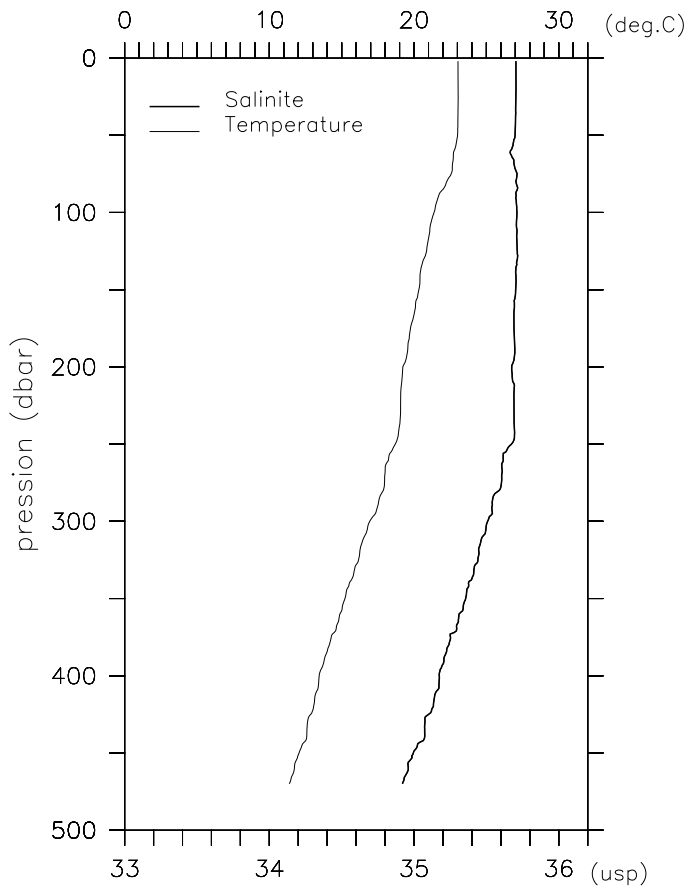
Secalis2 Station 5



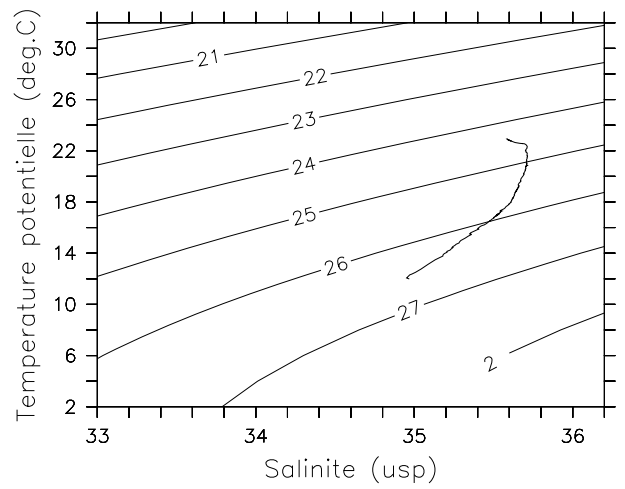
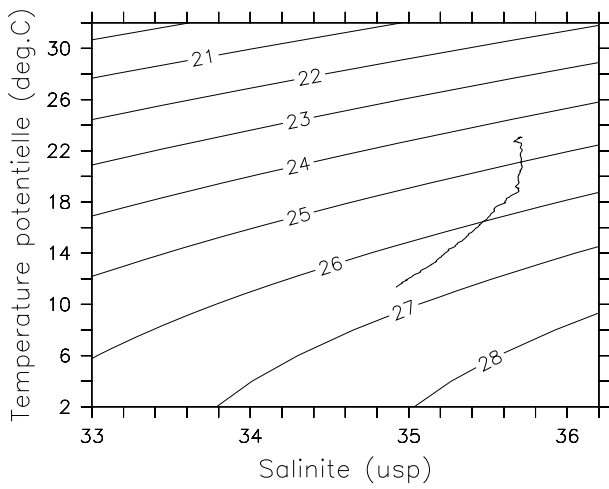
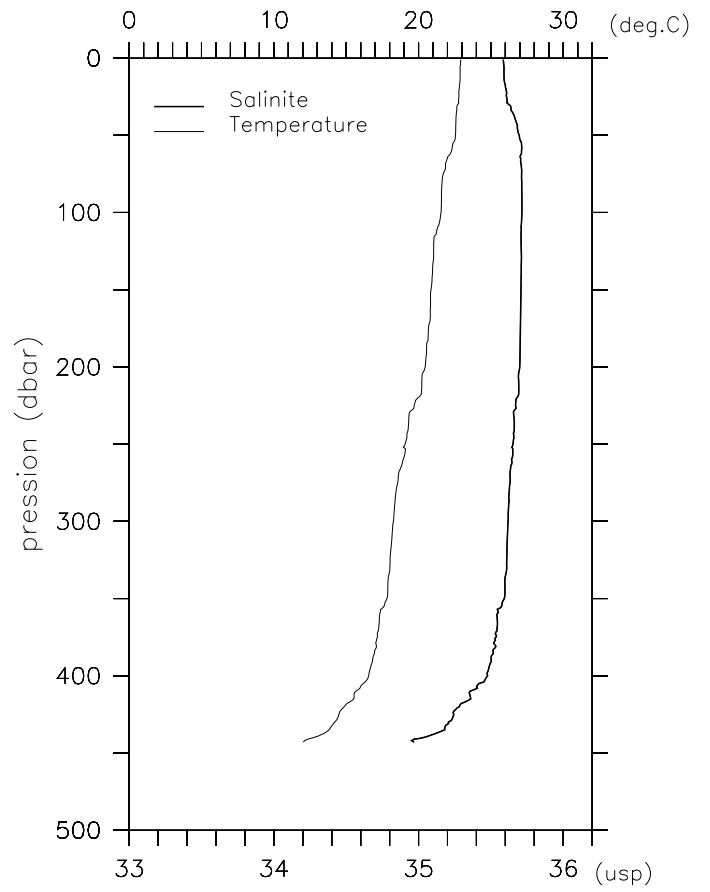
Secalis2 Station 6



Secalis2 Station 7

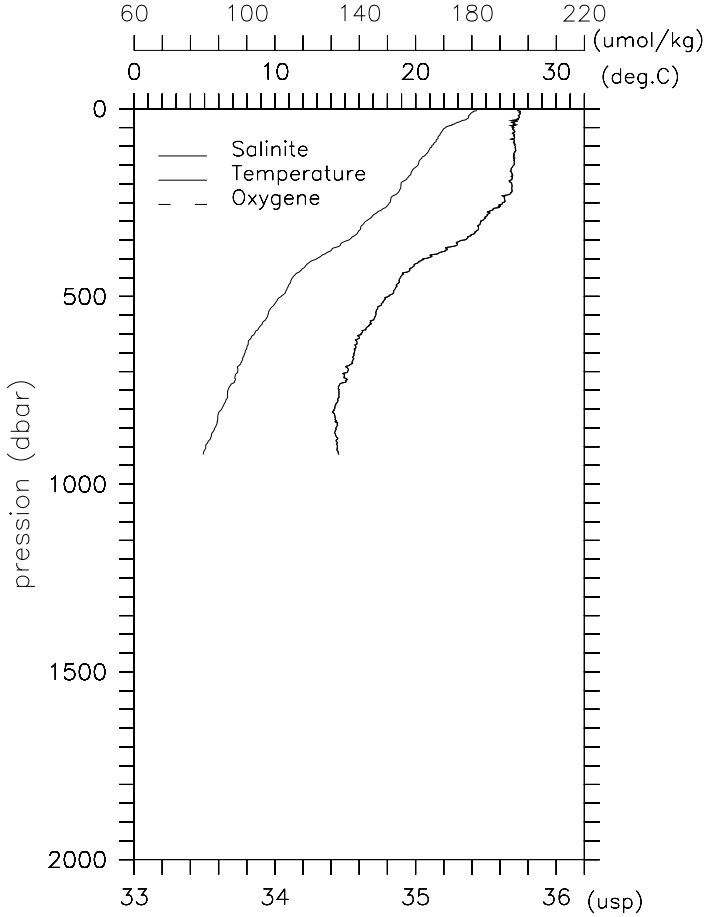


Secalis2 Station 8



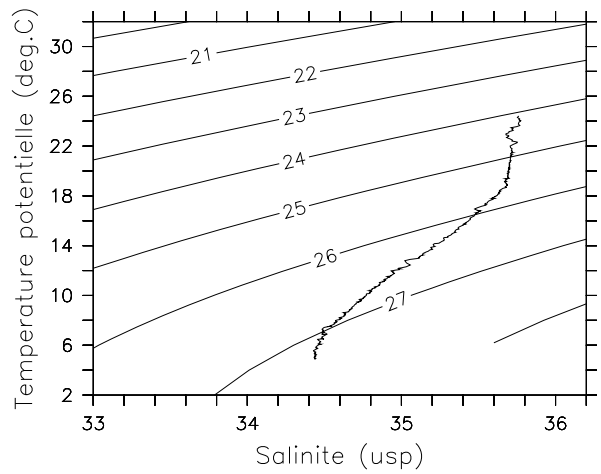
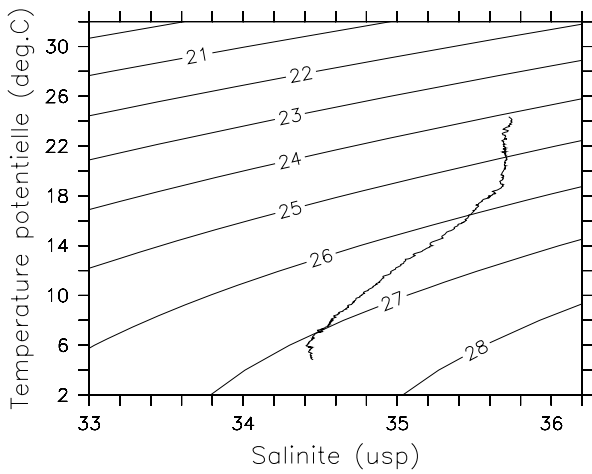
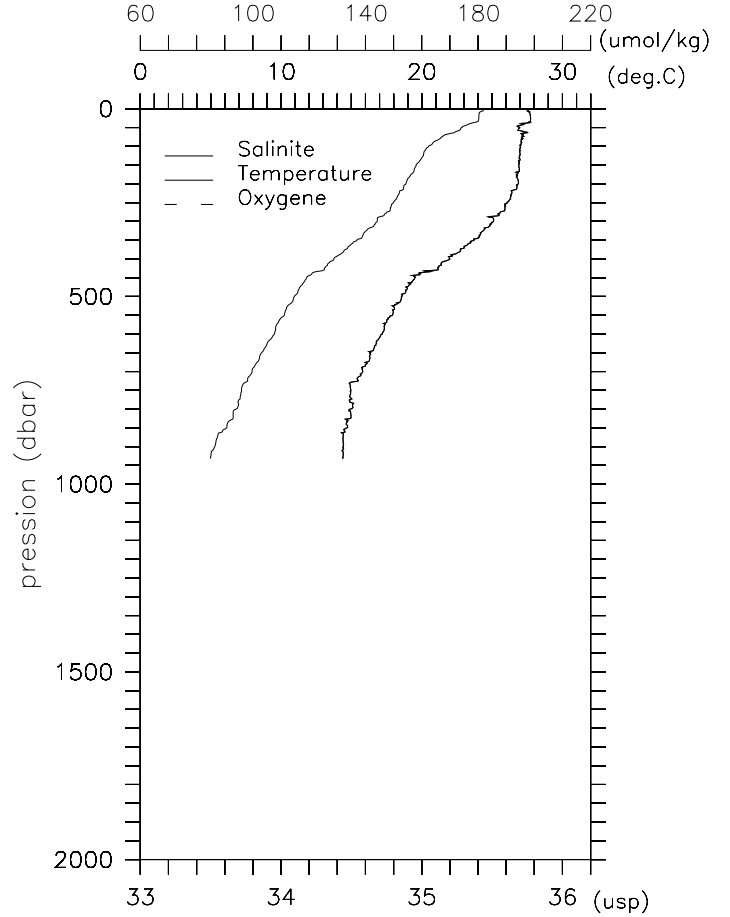
Secalis2 Station 9

DATE: 12/12/2004 04:32:00 LATITUDE: 23 10.20 S LONGITUDE : 166 46.20 E



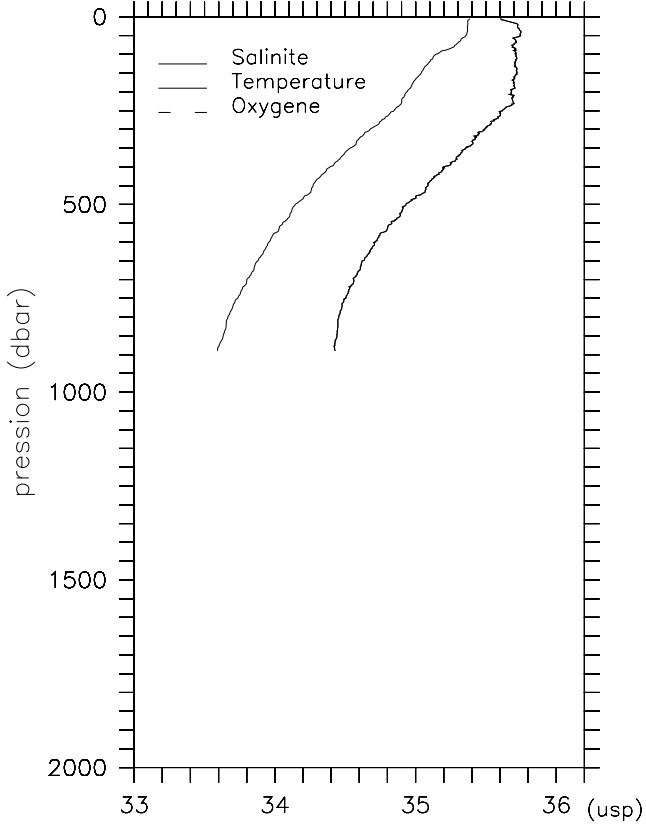
Secalis2 Station 10

DATE: 12/12/2004 07:29:00 LATITUDE: 23 30.00 S LONGITUDE : 166 46.20 E



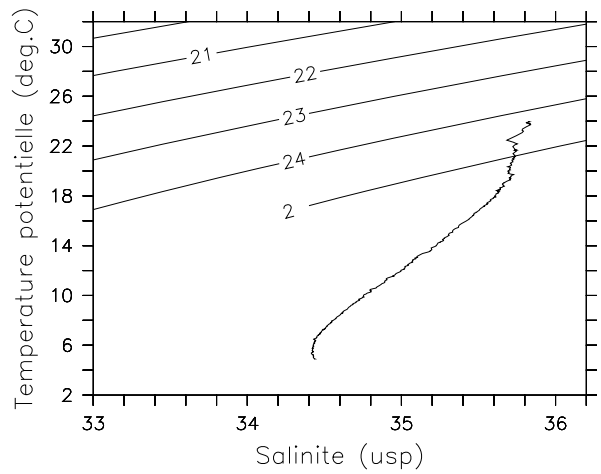
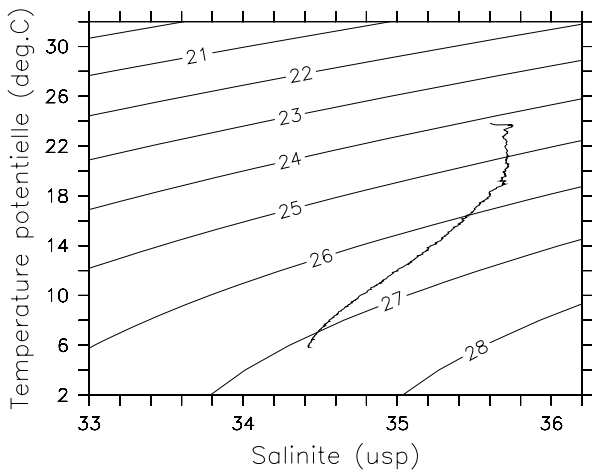
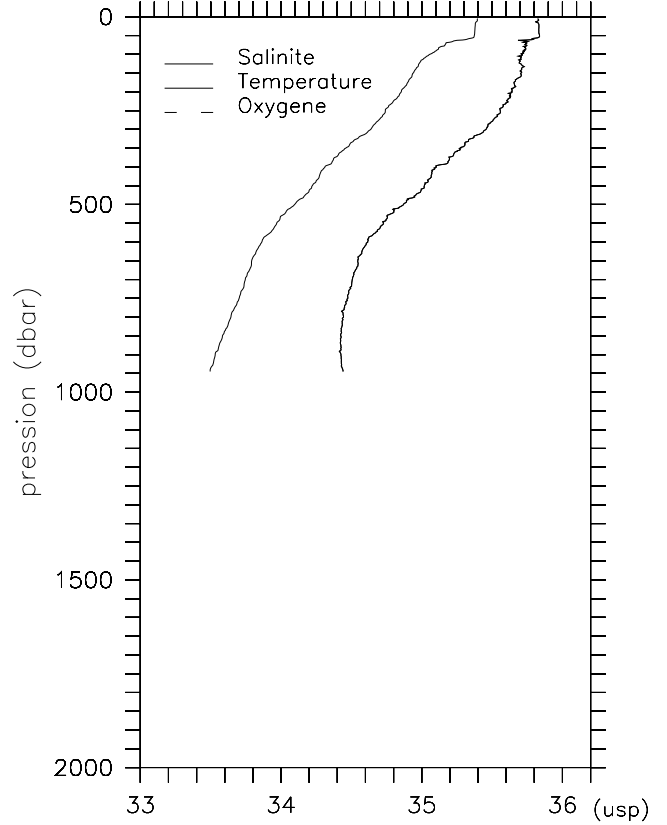
Secalis2 Station 11

DATE: Dec 12 2004 11:40:00 LATITUDE: 24 1.800 S LONGITUDE: 166 46.200 E
 60 100 140 180 220 (umol/kg)
 0 10 20 30 (deg.C)



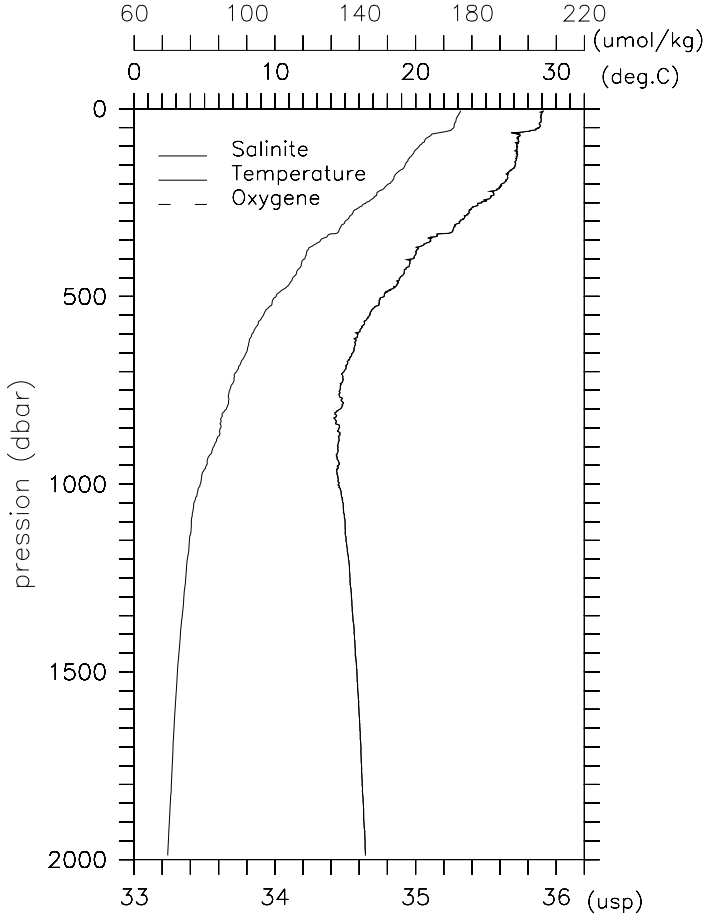
Secalis2 Station 12

DATE: Dec 12 2004 15:40:00 LATITUDE: 24 30.000 S LONGITUDE: 166 46.200 E
 60 100 140 180 220 (umol/kg)
 0 10 20 30 (deg.C)



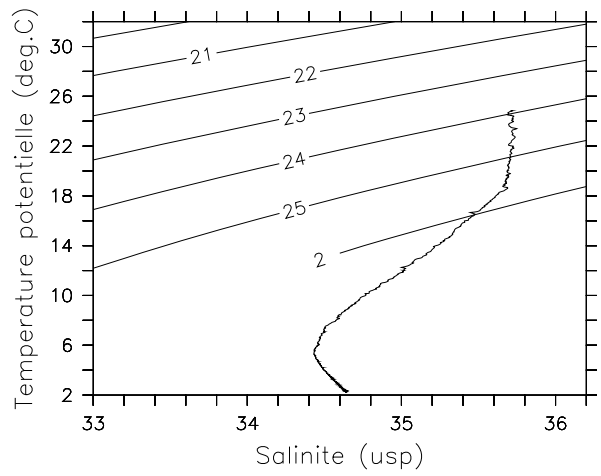
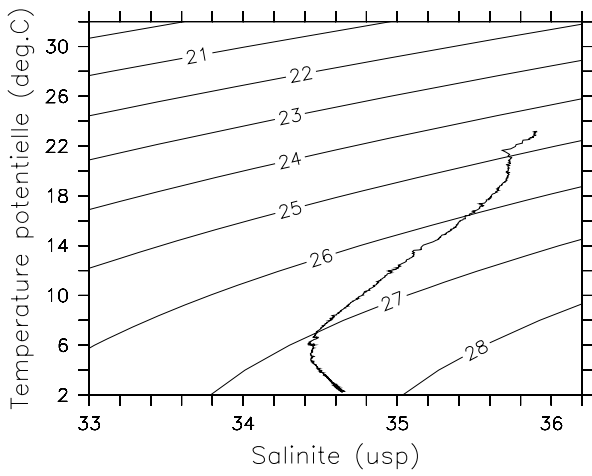
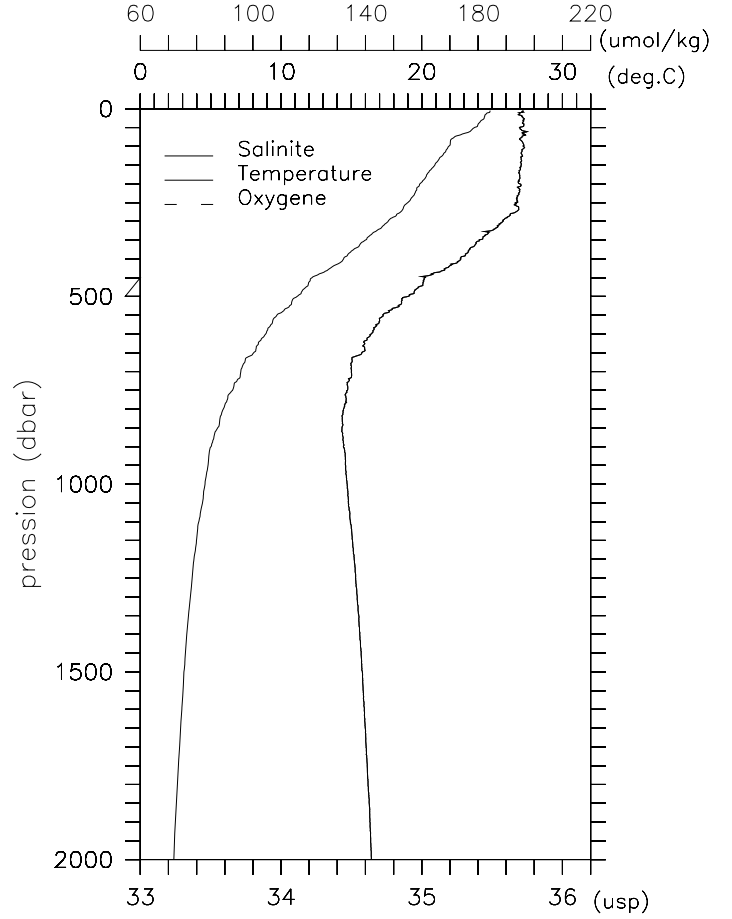
Secalis2 Station 13

DATE: Dec 12 2004 20:03:45 LATITUDE: 25 0.000 S LONGITUDE: 166 46.200 E



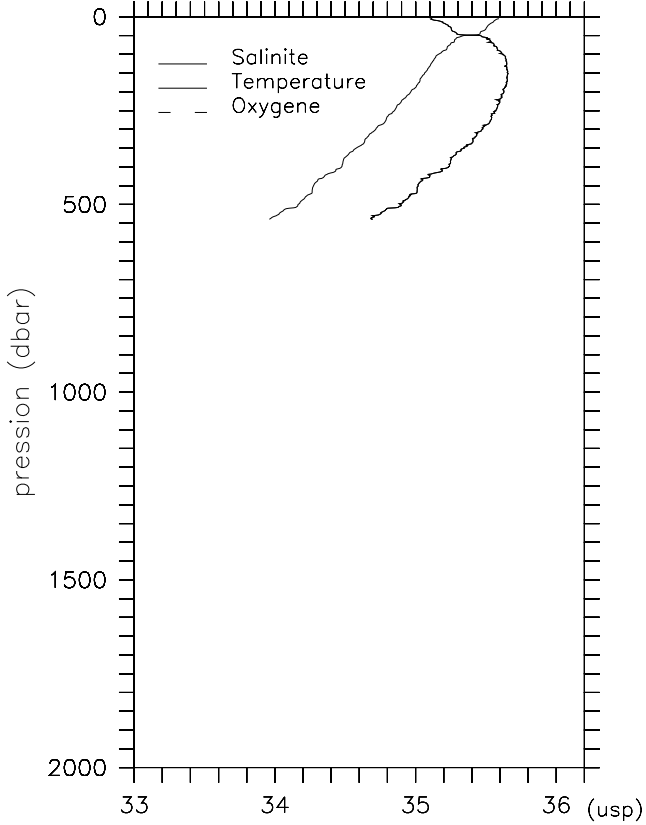
Secalis2 Station 14

DATE: Dec 13 2004 15:28:00 LATITUDE: 22 40.200 S LONGITUDE: 166 16.800 E



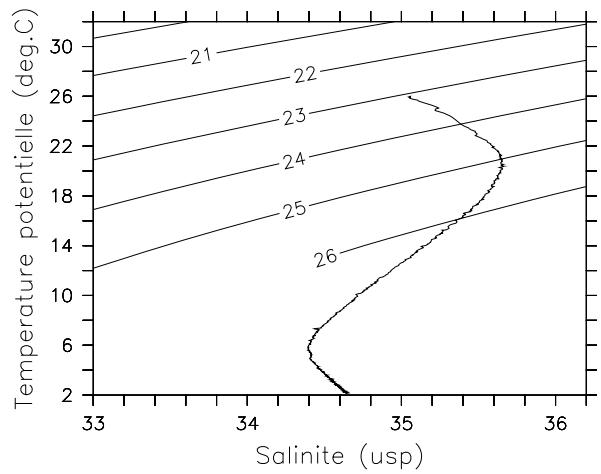
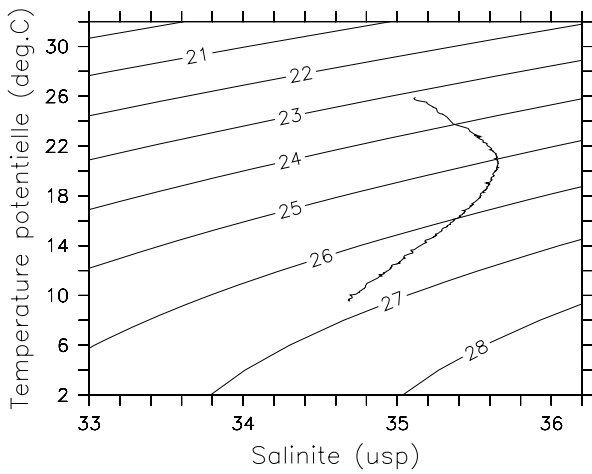
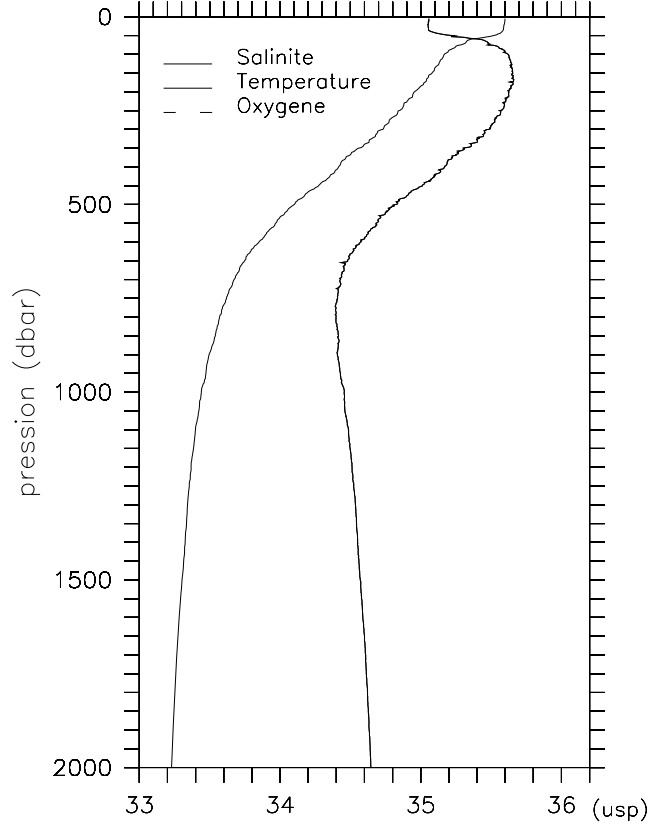
Secalis2 Station 15

DATE: Dec 14 2004 08:13:00 LATITUDE: 22 4.200 S LONGITUDE: 167 10.800 E
 60 100 140 180 220 (umol/kg)
 0 10 20 30 (deg.C)



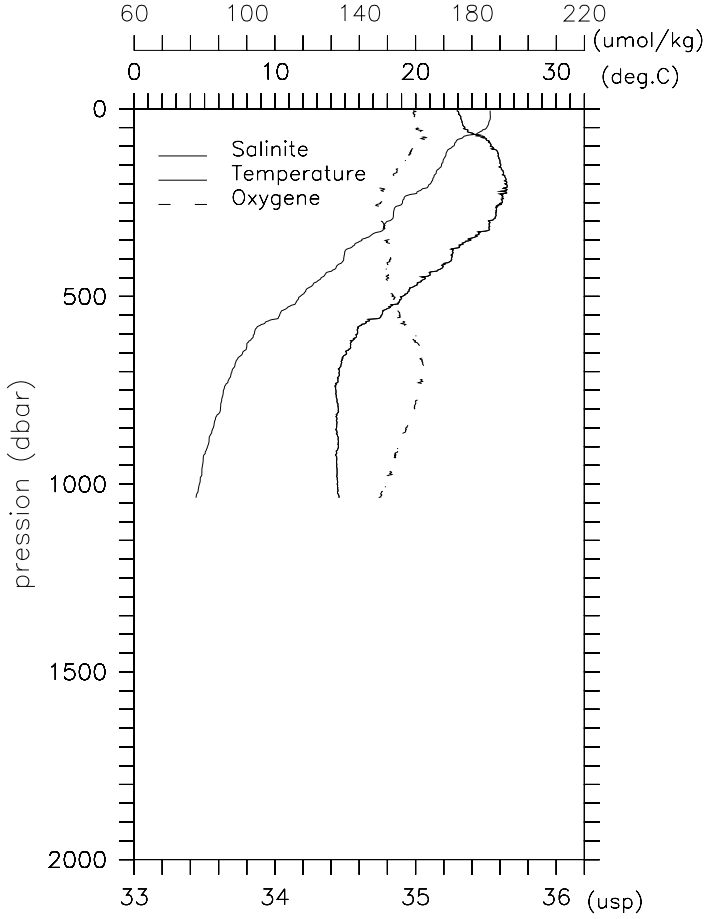
Secalis2 Station 16

DATE: Dec 14 2004 10:30:00 LATITUDE: 21 53.400 S LONGITUDE: 167 13.200 E
 60 100 140 180 220 (umol/kg)
 0 10 20 30 (deg.C)



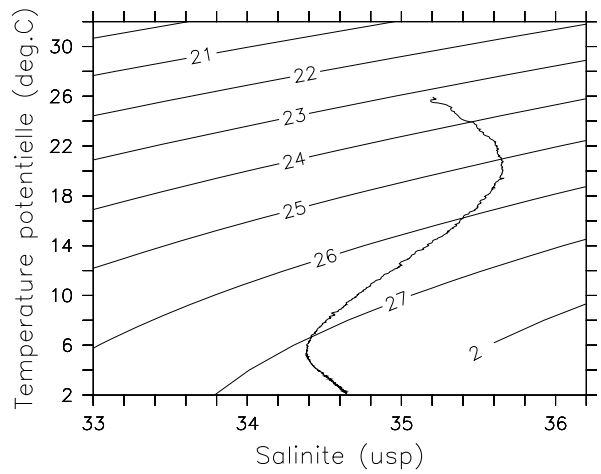
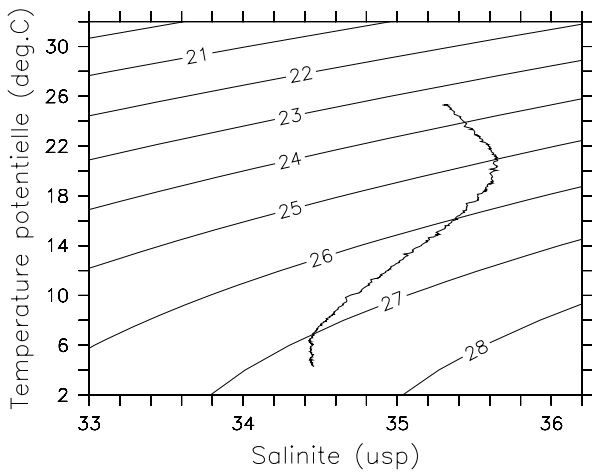
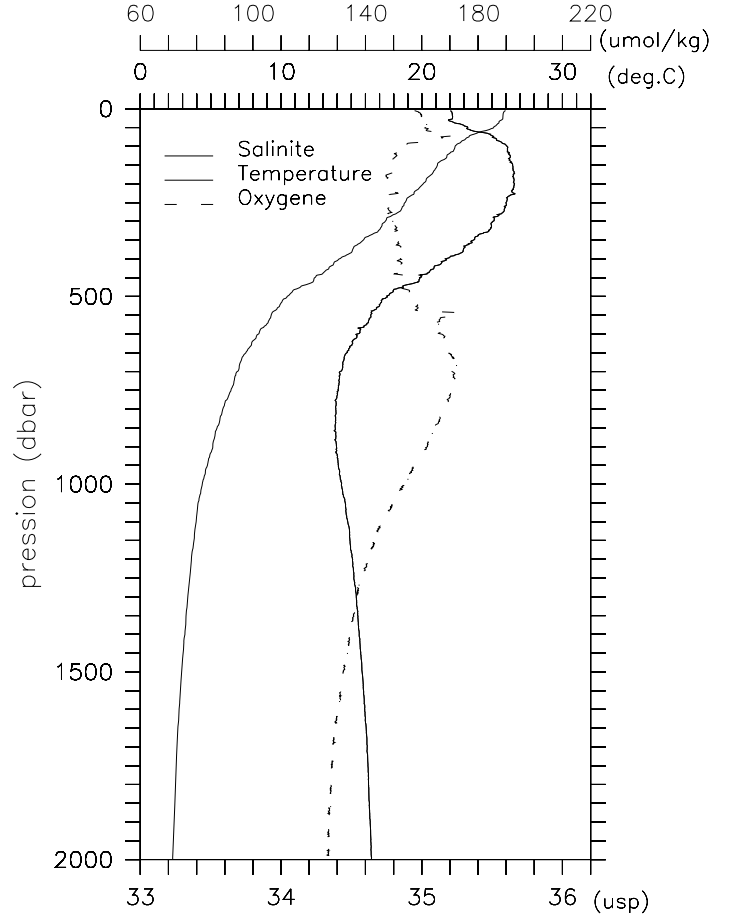
Secalis2 Station 18

DATE: Dec 14 2004 20:31:00 LATITUDE: 21 10.800 S LONGITUDE: 167 30.000 E



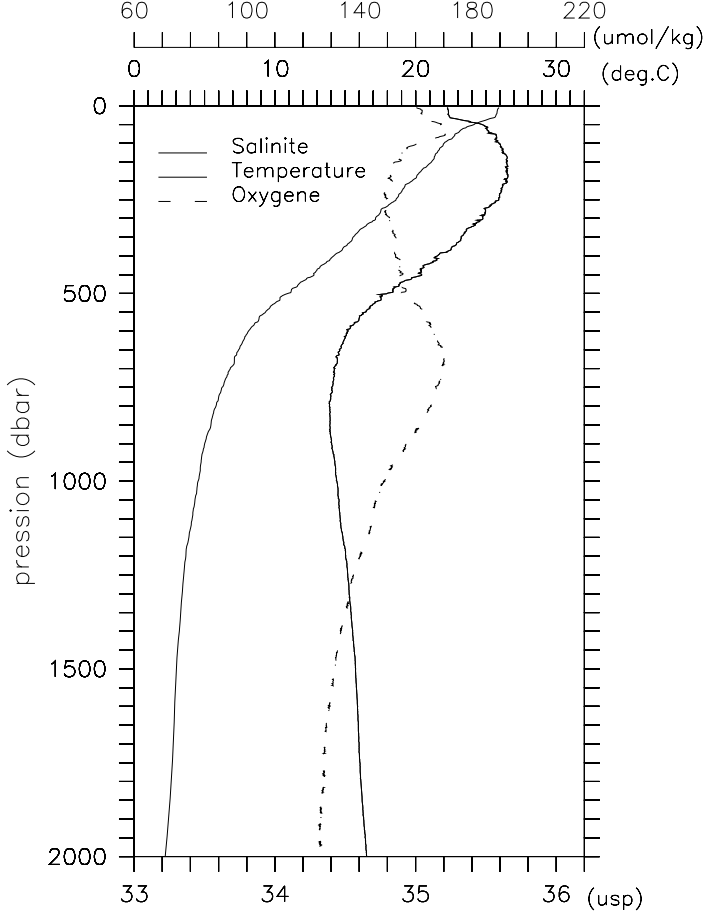
Secalis2 Station 19

DATE: Dec 15 2004 00:35:00 LATITUDE: 20 45.600 S LONGITUDE: 167 31.800 E



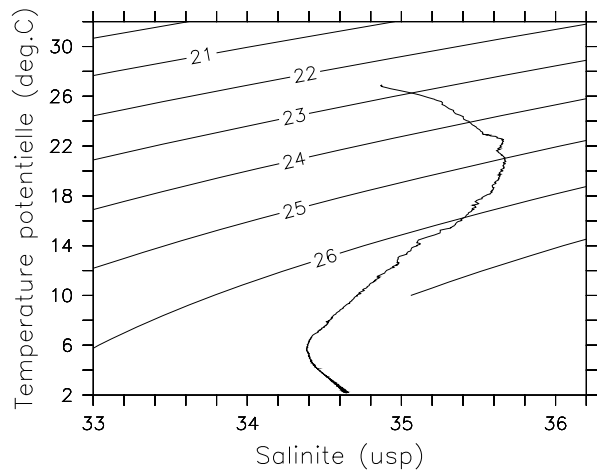
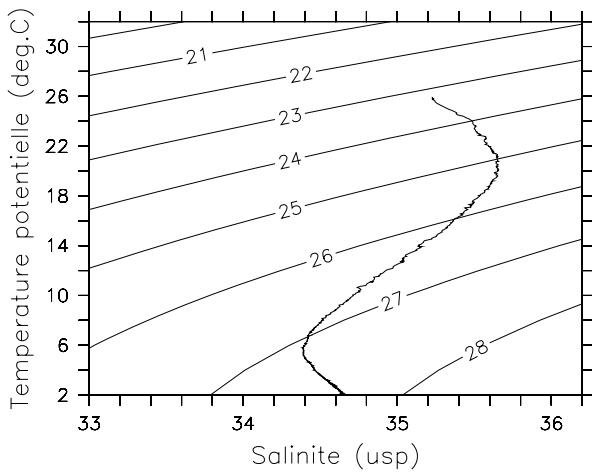
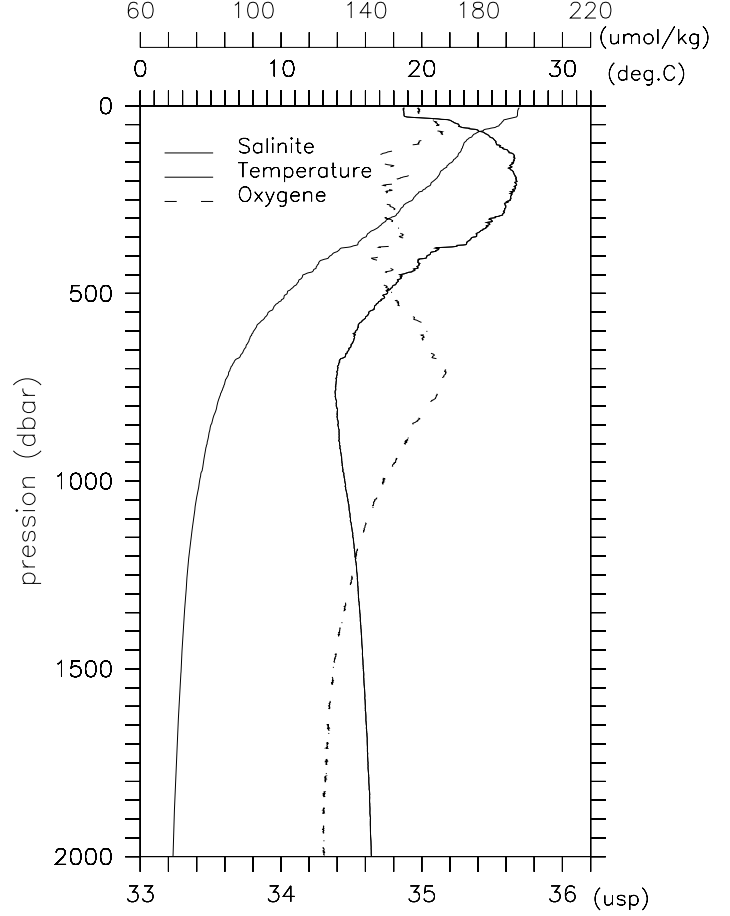
Secalis2 Station 20

DATE: Dec 15 2004 04:10:00 LATITUDE: 20 26.400 S LONGITUDE: 167 29.400 E



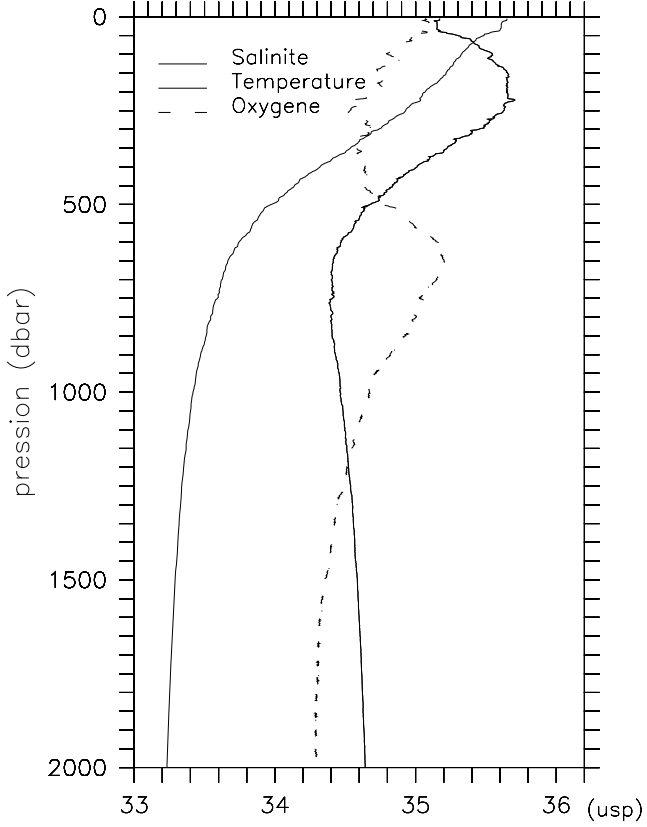
Secalis2 Station 21

DATE: Dec 15 2004 10:38:00 LATITUDE: 19 45.600 S LONGITUDE: 167 21.600 E



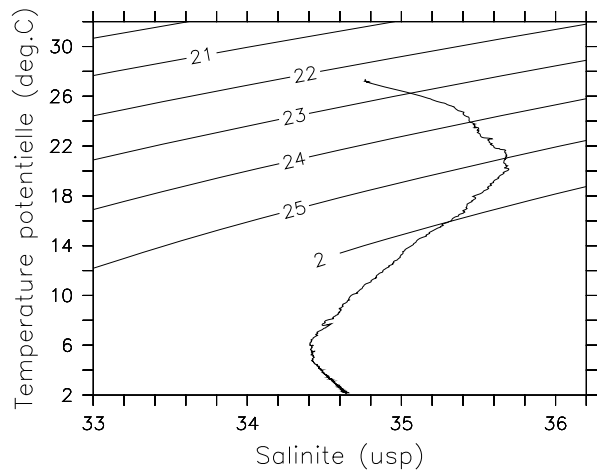
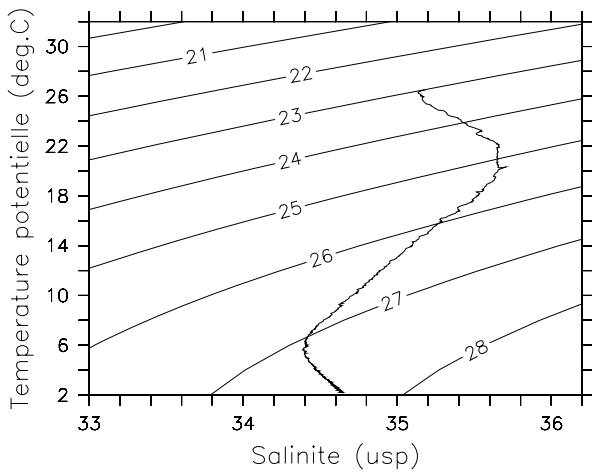
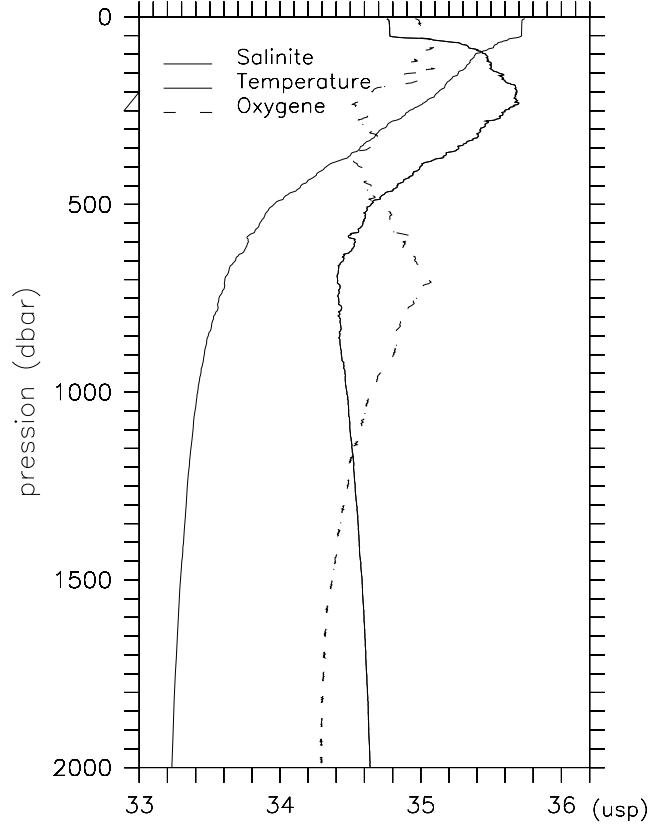
Secalis2 Station 22

DATE: Dec 15 2004 17:25:00 LATITUDE: 19 3.000 S LONGITUDE: 167 15.000 E
 60 100 140 180 220 (umol/kg)
 0 10 20 30 (deg.C)



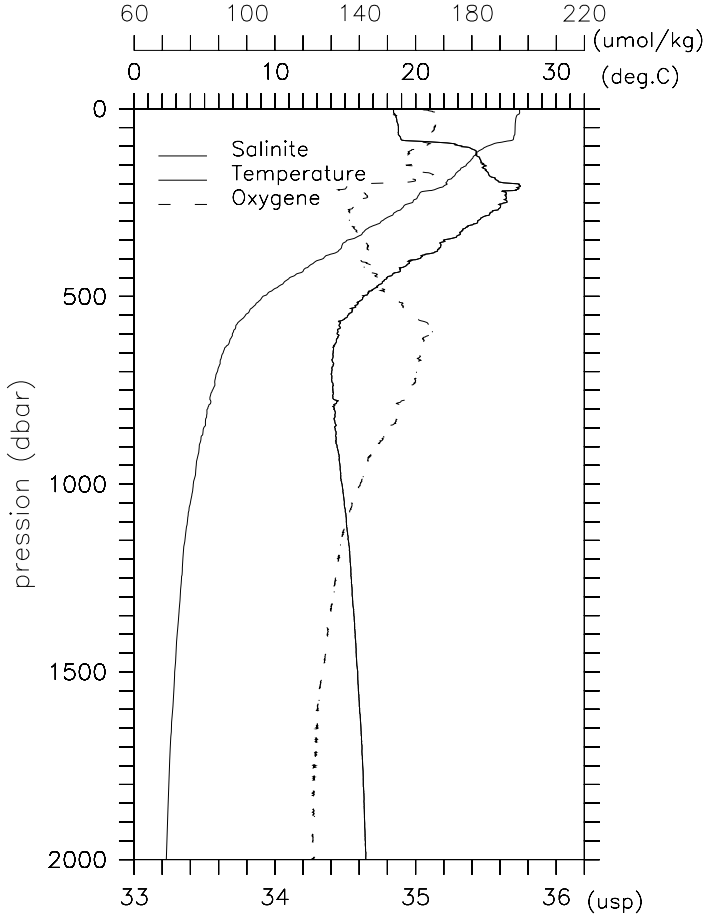
Secalis2 Station 23

DATE: Dec 16 2004 00:53:00 LATITUDE: 18 19.200 S LONGITUDE: 167 9.600 E
 60 100 140 180 220 (umol/kg)
 0 10 20 30 (deg.C)



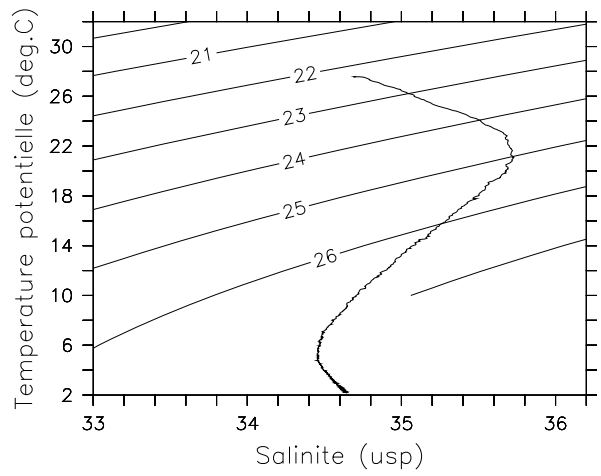
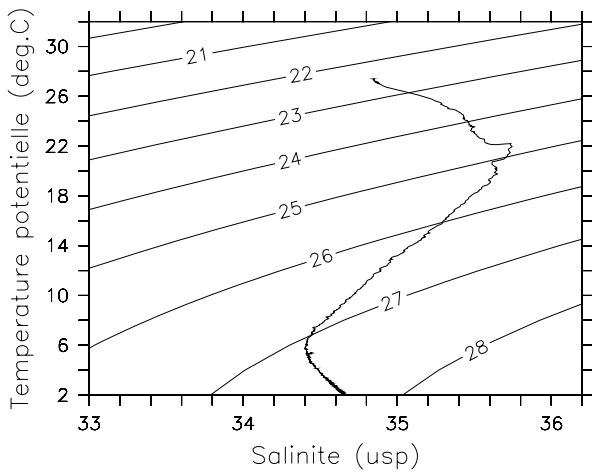
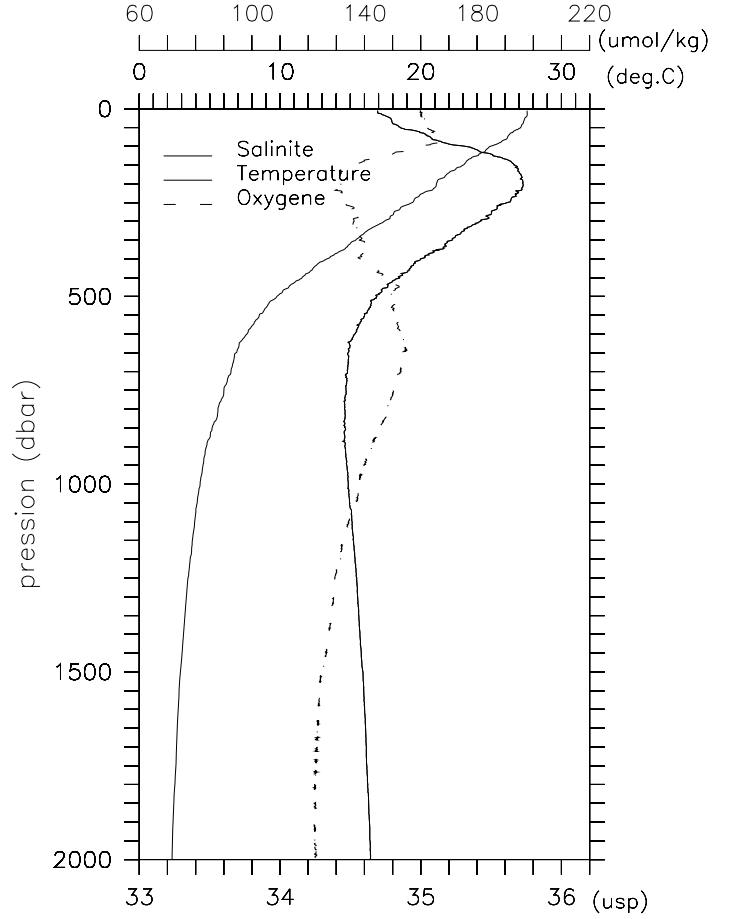
Secalis2 Station 24

DATE: Dec 16 2004 07:10:00 LATITUDE: 17 36.000 S LONGITUDE: 167 1.800 E



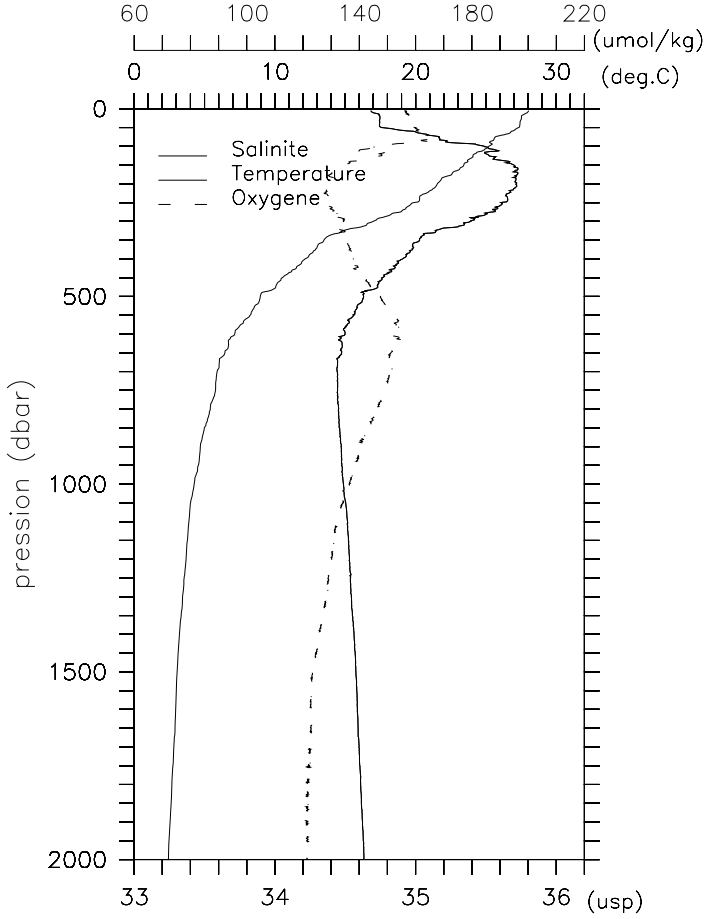
Secalis2 Station 25

DATE: Dec 16 2004 16:20:00 LATITUDE: 16 37.200 S LONGITUDE: 166 52.200 E



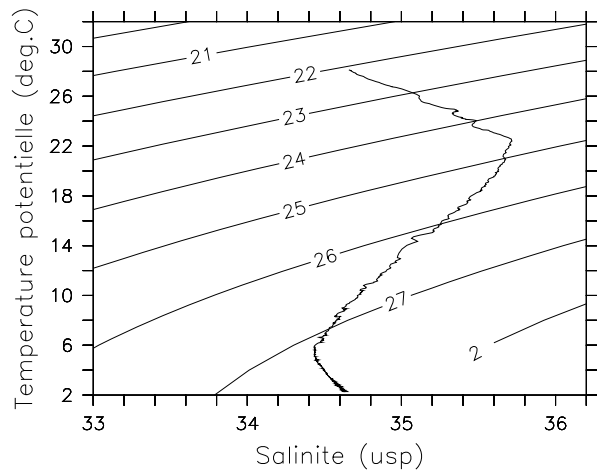
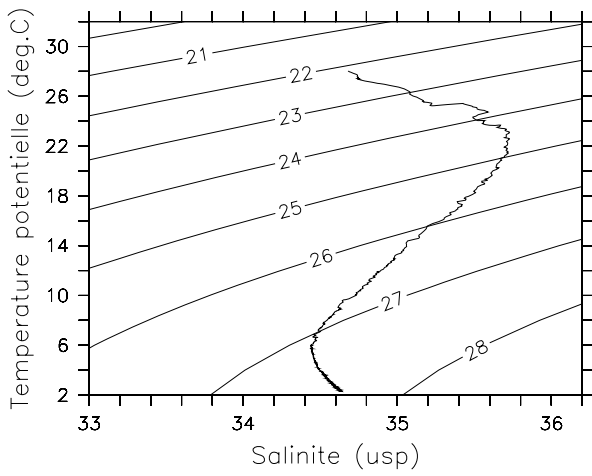
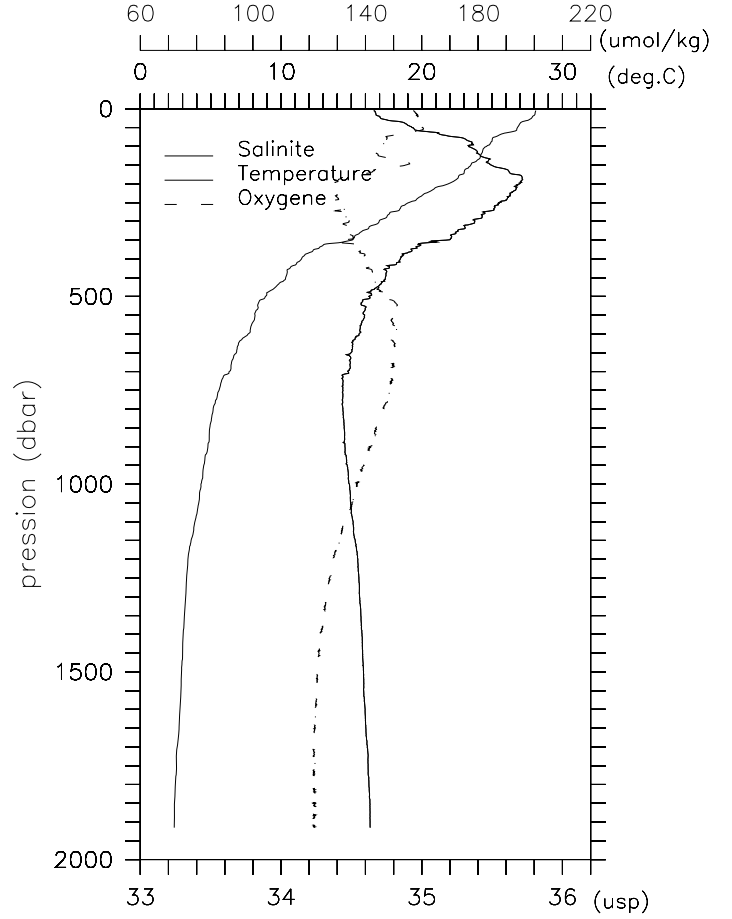
Secalis2 Station 26

DATE: Dec 16 2004 22:25:00 LATITUDE: 16 6.000 S LONGITUDE: 166 48.000 E



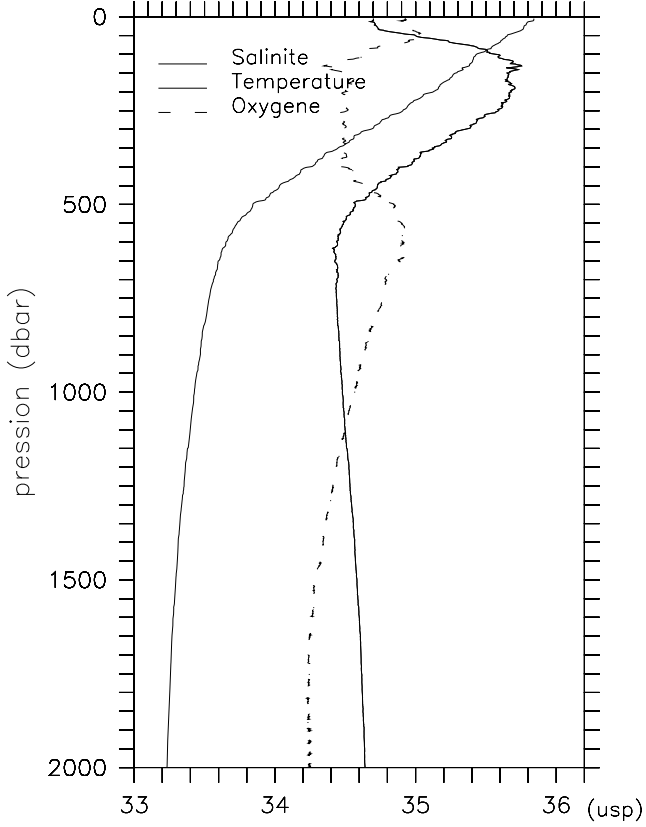
Secalis2 Station 27

DATE: Dec 17 2004 03:31:00 LATITUDE: 15 45.000 S LONGITUDE: 166 40.800 E



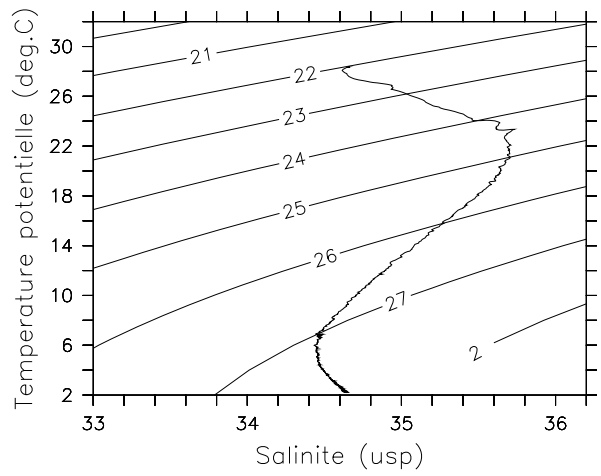
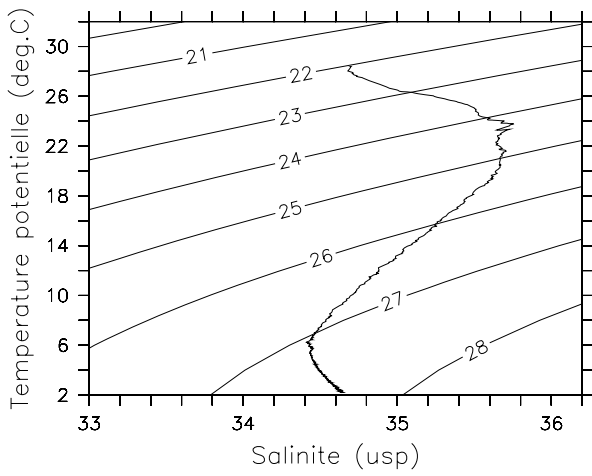
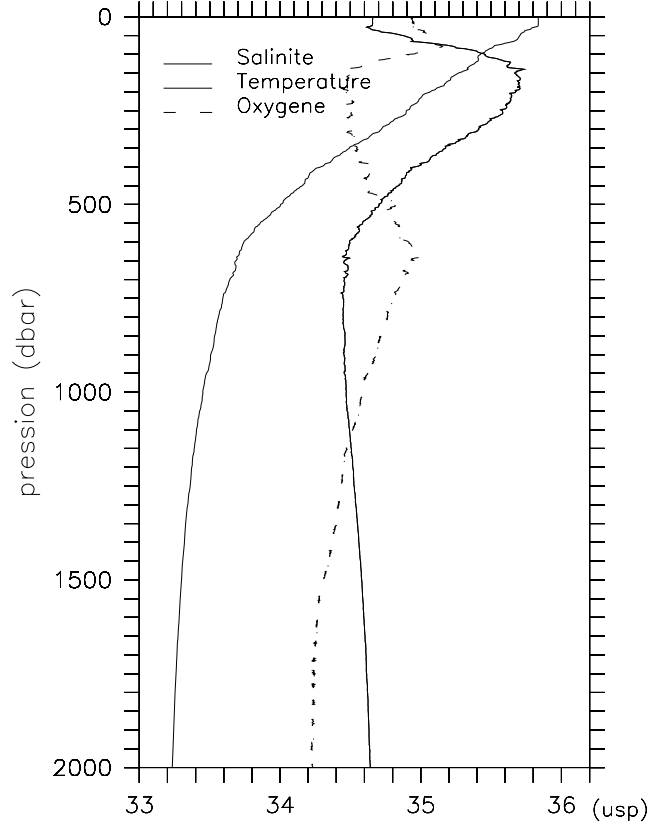
Secalis2 Station 28

DATE: Dec 17 2004 08:20:00 LATITUDE: 16 3.600 S LONGITUDE: 166 20.400 E
 60 100 140 180 220 (umol/kg)
 0 10 20 30 (deg.C)



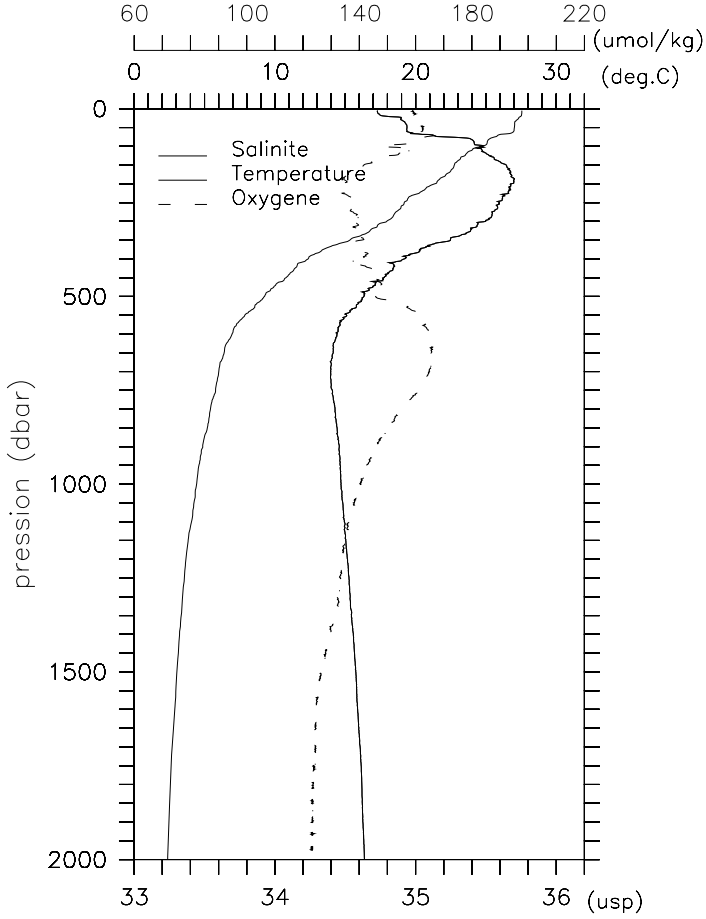
Secalis2 Station 29

DATE: Dec 17 2004 13:28:00 LATITUDE: 16 13.800 S LONGITUDE: 166 1.200 E
 60 100 140 180 220 (umol/kg)
 0 10 20 30 (deg.C)



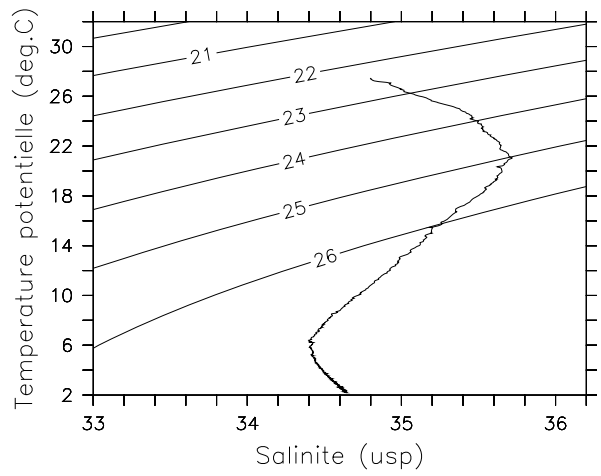
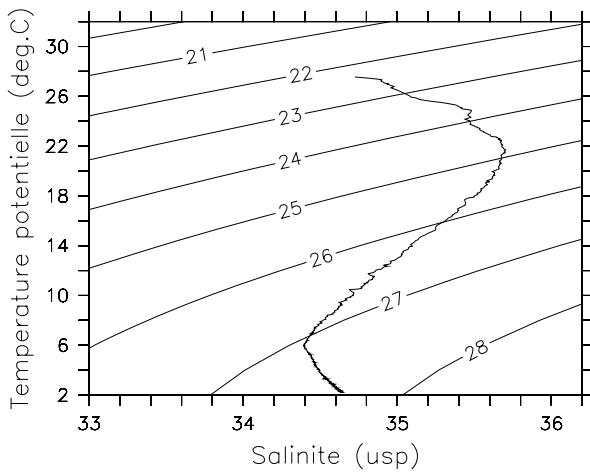
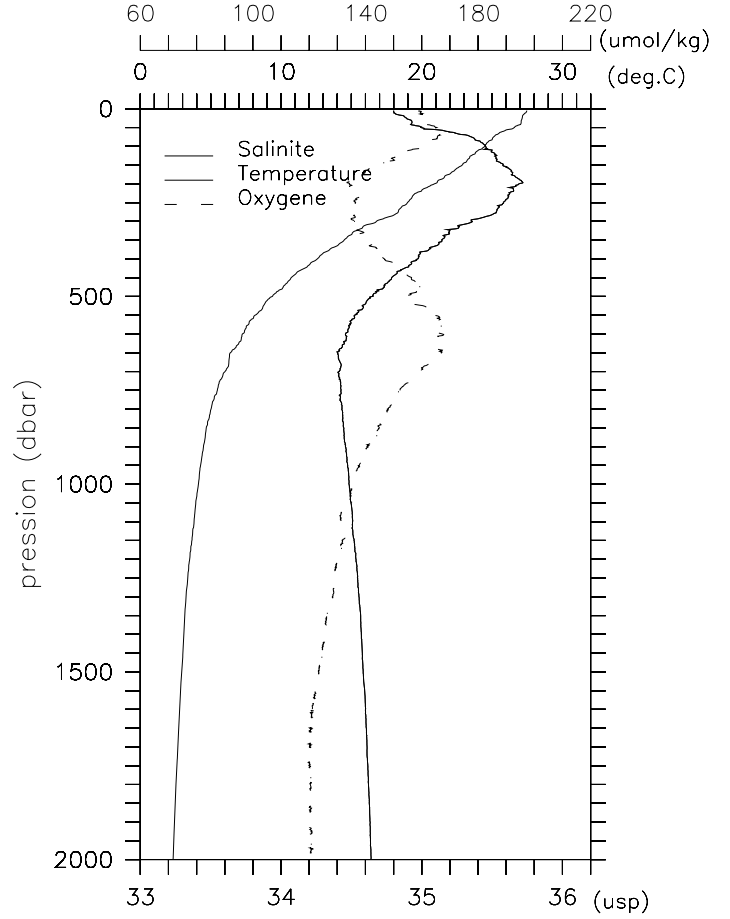
Secalis2 Station 30

DATE: Dec 17 2004 19:28:00 LATITUDE: 16 34.200 S LONGITUDE: 165 31.200 E



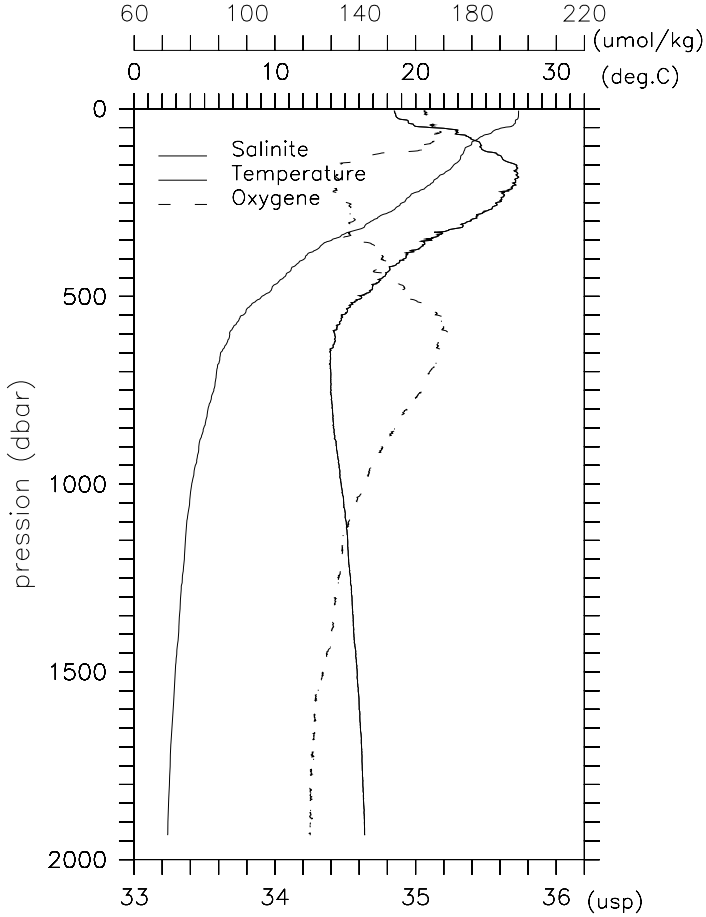
Secalis2 Station 31

DATE: Dec 18 2004 00:06:00 LATITUDE: 16 54.000 S LONGITUDE: 165 1.200 E



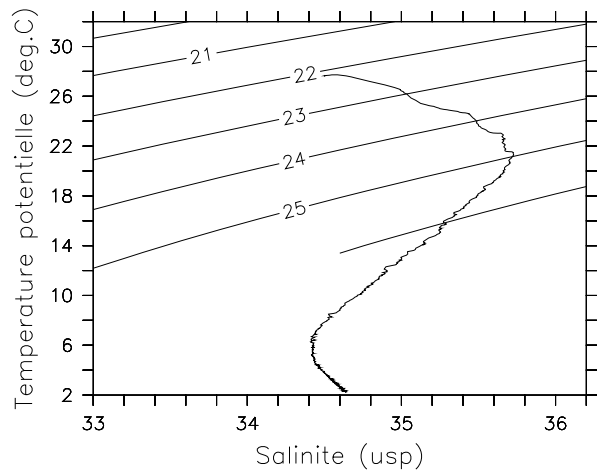
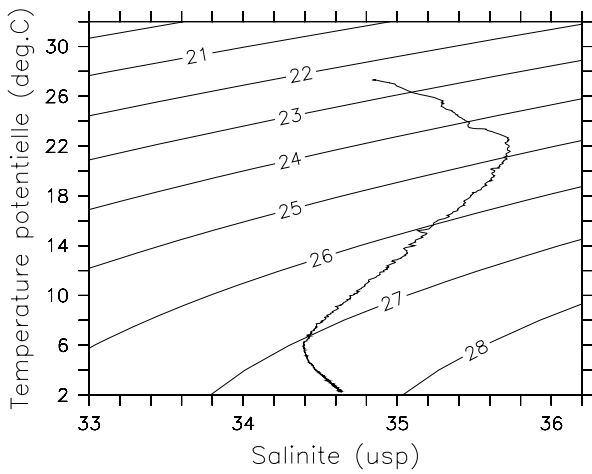
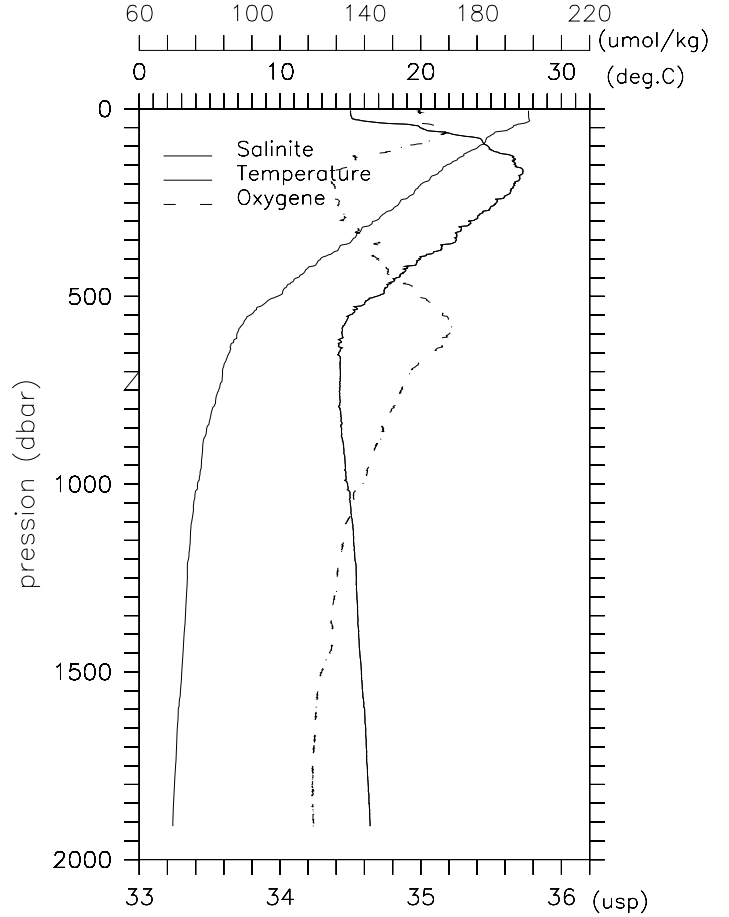
Secalis2 Station 32

DATE: Dec 18 2004 07:14:00 LATITUDE: 17 12.000 S LONGITUDE: 164 30.000 E



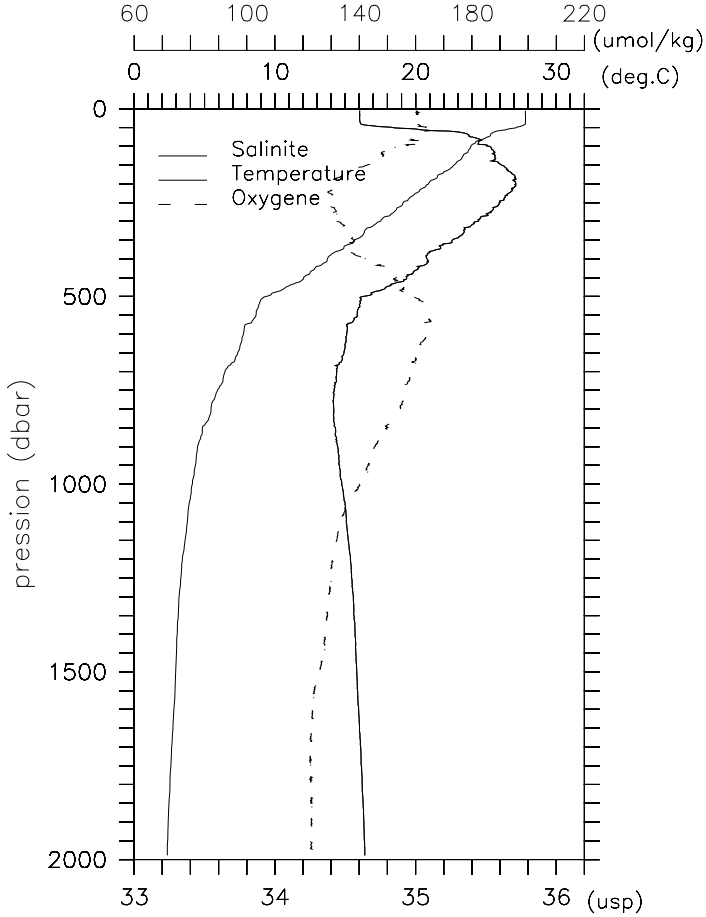
Secalis2 Station 33

DATE: Dec 18 2004 12:30:00 LATITUDE: 17 30.000 S LONGITUDE: 164 0.000 E



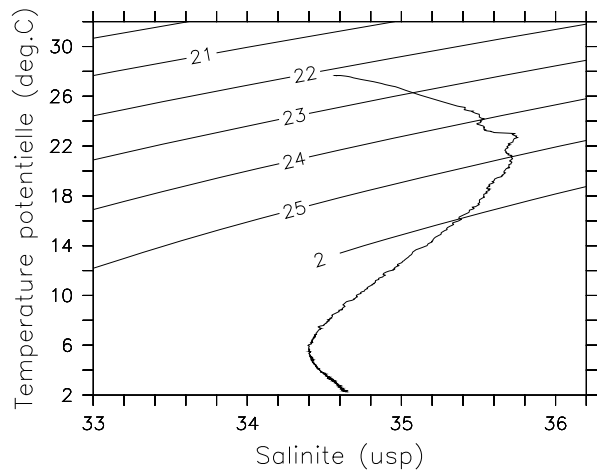
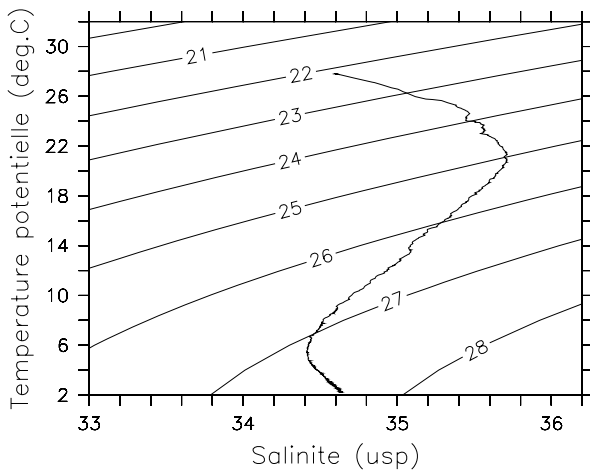
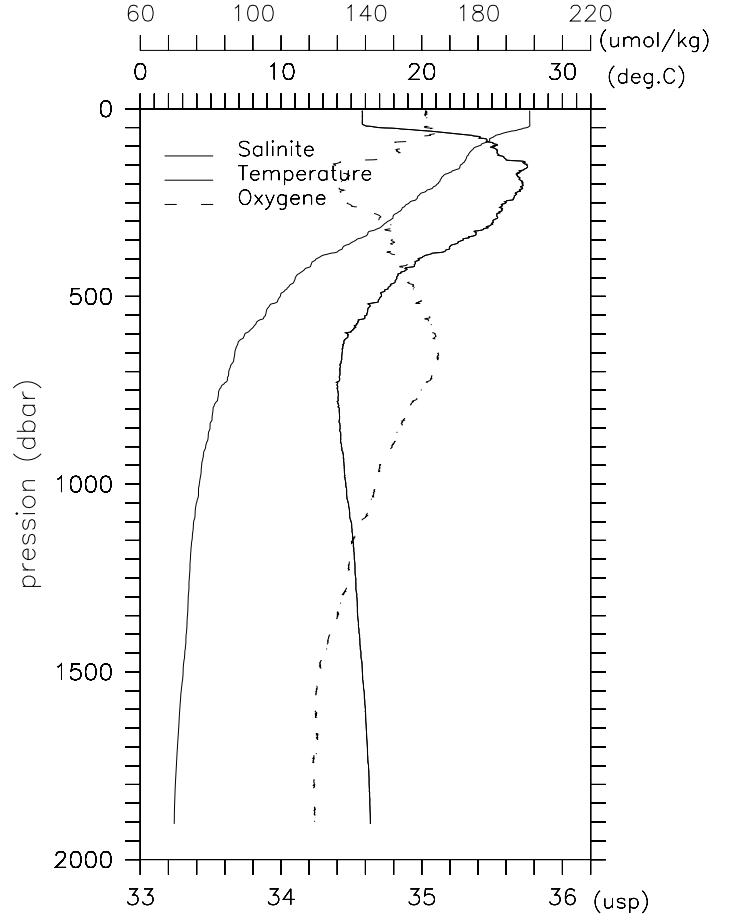
Secalis2 Station 34

DATE: Dec 18 2004 16:06:00 LATITUDE: 17 39.000 S LONGITUDE: 163 45.000 E



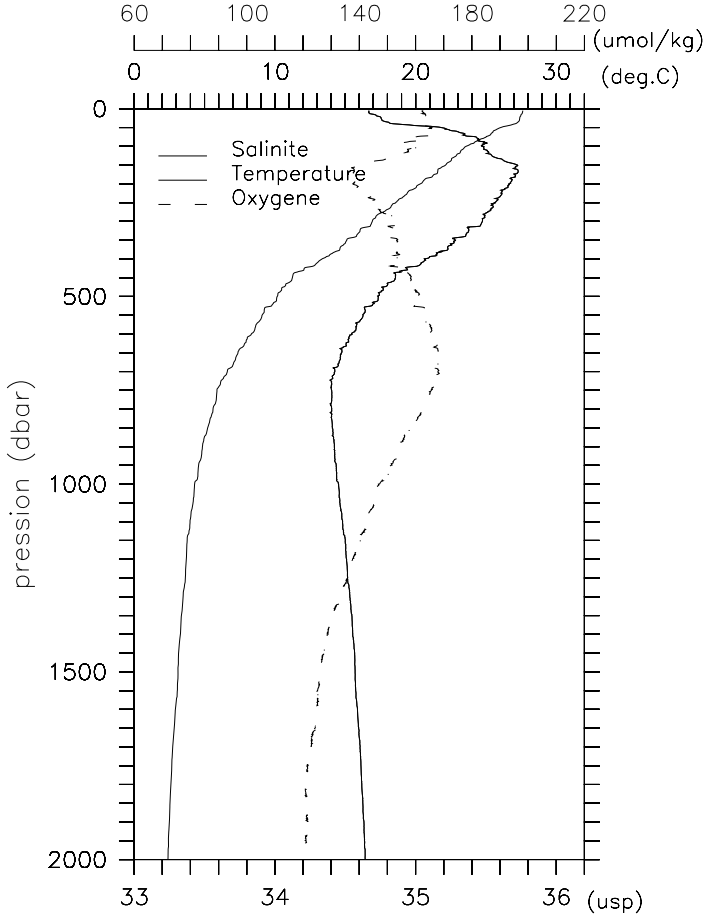
Secalis2 Station 35

DATE: Dec 18 2004 20:03:00 LATITUDE: 17 48.000 S LONGITUDE: 163 29.400 E



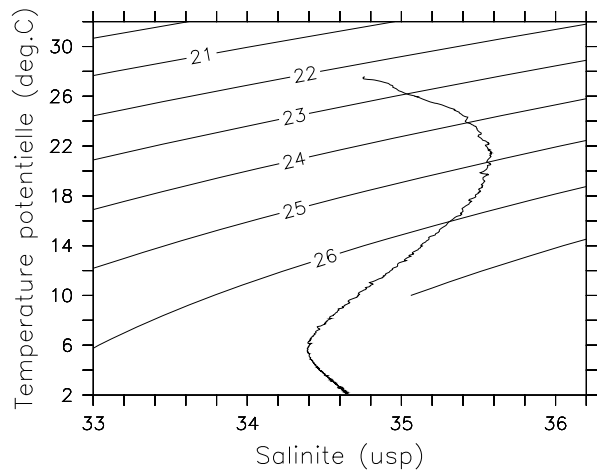
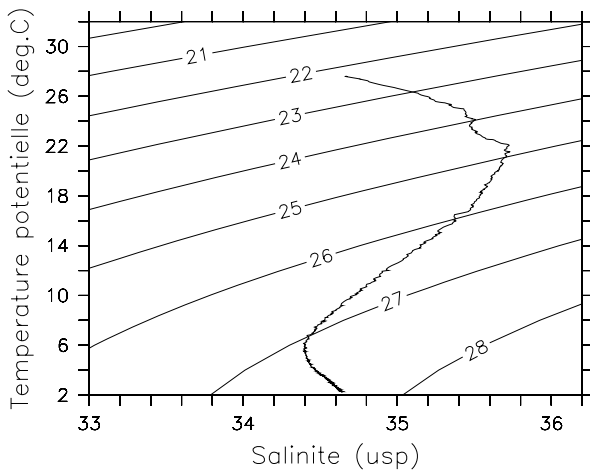
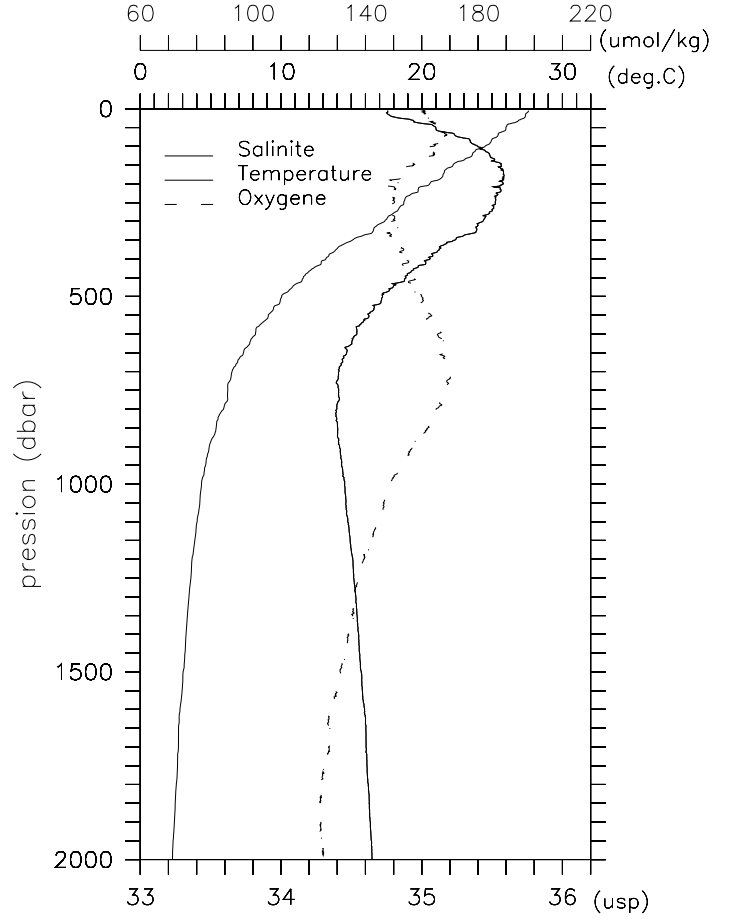
Secalis2 Station 36

DATE: Dec 18 2004 22:51:00 LATITUDE: 17 54.000 S LONGITUDE: 163 20.400 E



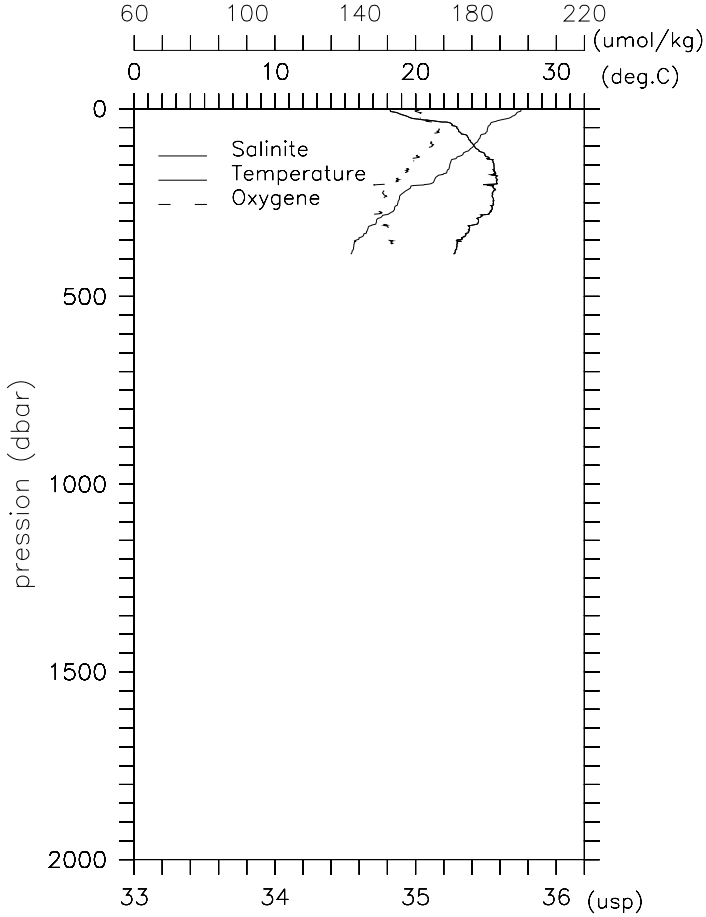
Secalis2 Station 37

DATE: Dec 19 2004 01:57:00 LATITUDE: 18 0.000 S LONGITUDE: 163 13.800 E



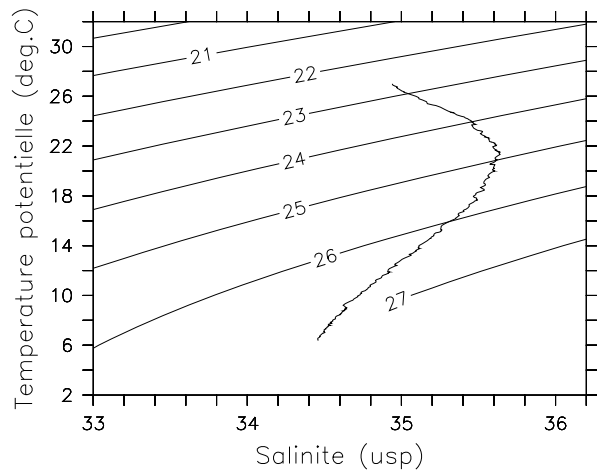
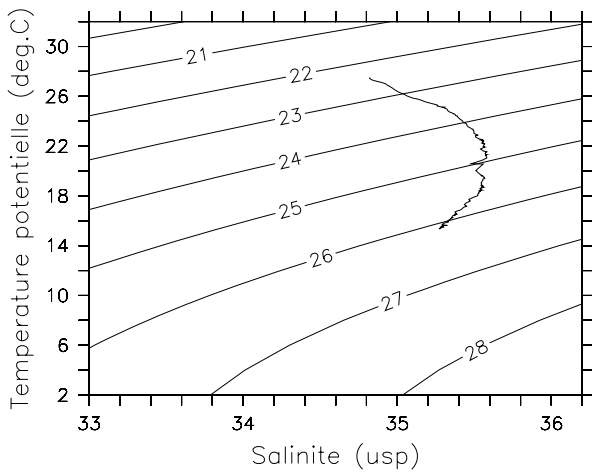
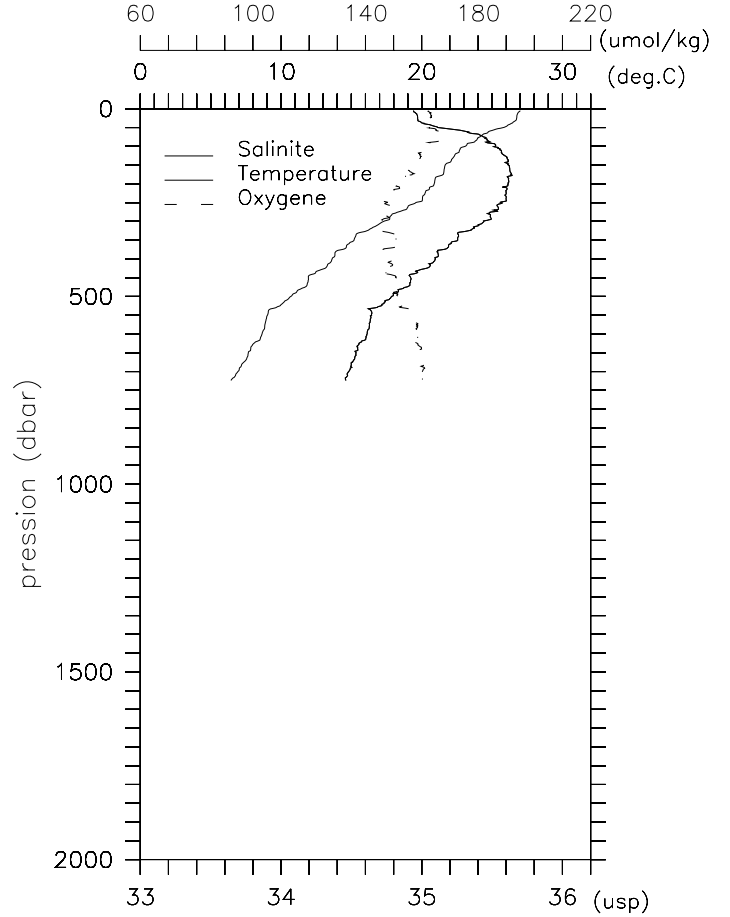
Secalis2 Station 38

DATE: Dec 19 2004 03:00:00 LATITUDE: 18 1.200 S LONGITUDE: 163 9.000 E



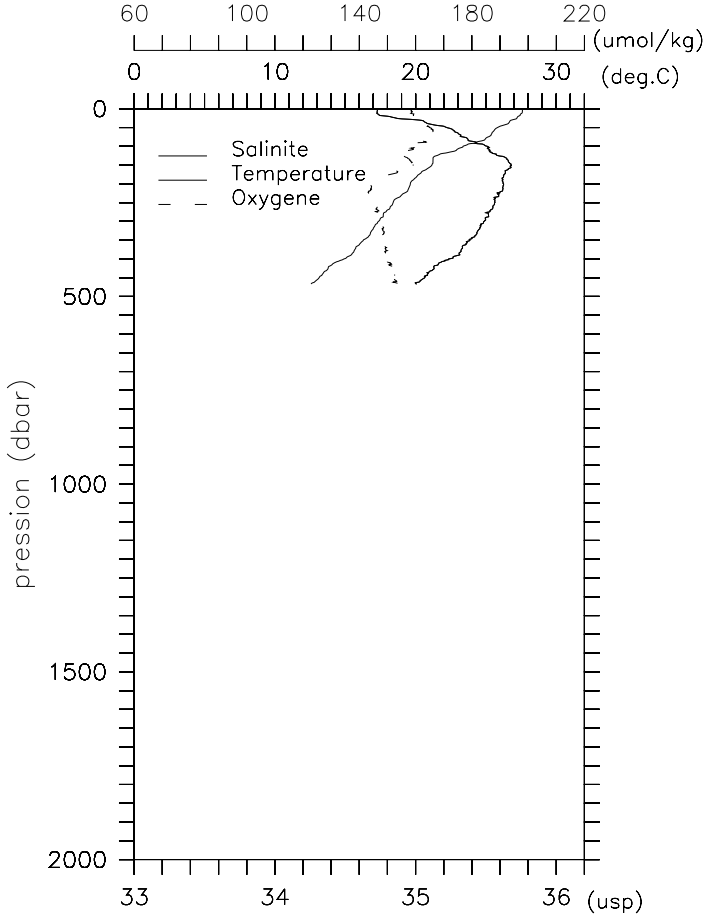
Secalis2 Station 39

DATE: Dec 20 2004 03:16:00 LATITUDE: 18 34.200 S LONGITUDE: 162 58.800 E



Secalis2 Station 40

DATE: Dec 20 2004 07:15:00 LATITUDE: 18 55.800 S LONGITUDE: 163 12.600 E



Secalis2 Station 40

DATE: Dec 20 2004 07:15:00 LATITUDE: 18 55.800 S LONGITUDE: 163 12.600 E

