



Rapport de la mission

SECARGO

à bord du Navire Océanographique ALIS

SECARGO Cruise Report 7 -18 mai 2010 ; mer des îles Loyauté Océan Pacifique sud-ouest



Christophe Maes⁽¹⁾ Florent Gasparin⁽¹⁾ Gérard Eldin⁽¹⁾ Martine Rodier⁽²⁾ David Varillon ⁽³⁾ Alexandre Ganachaud⁽¹⁾ Frédéric Marin⁽⁴⁾ Lionel Gourdeau⁽¹⁾

 ⁽¹⁾ UMR65 LEGOS/IRD, Toulouse, France (contact : christophe.maes@ird.fr)
⁽²⁾ UMR 241 EIO/IRD, Papeete, Polynésie Française
⁽³⁾ US IMAGO/IRD, Nouméa, Nouvelle Calédonie
⁽⁴⁾ UMR65 LEGOS/IRD, Nouméa, Nouvelle Calédonie

Décembre 2014

Ce rapport de campagne à la mer est dédié à la mémoire de Christian Fitialeata.

Résumé

La campagne SECARGO représente une composante de la collecte d'observations *in situ* intégrée dans le cadre du projet scientifique SPICE (Southwest Pacific Ocean Circulation and Climate Experiment) soutenu par les instances internationales des programmes sur l'étude du climat et de sa variabilité, CLIVAR et WCRP, et par le volet scientifique du projet d'océanographie opérationnelle française, le Groupe Mission MERCATOR-CORIOLIS (GMMC). Le contexte scientifique de SECARGO repose sur deux thèmes principaux du projet SPICE d'étude dans le Pacifique sud-ouest : a) l'étude de « l'inflow » des eaux de la thermocline en mer de Corail et b) l'étude des caractéristiques hydrologiques de la mer de Corail et de la mer des Salomon. L'objectif principal de cette campagne en mer portait sur l'observation du Jet Nord Calédonien au nord du récif D'Entrecasteaux (15°-18°S ; 162°-165°E) et dans la région entre la Nouvelle Calédonie et l'archipel du Vanuatu. L'étude des caractéristiques hydrologiques de ces eaux dans la colonne d'eau de 0 à 2000 m de profondeur représente le second volet d'intérêt principal. Cette campagne a eu lieu dans cette région de l'Océan Pacifique sud-ouest du 7 au 18 mai 2010 à bord du Navire Océanographique L'Alis de l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD).

Au cours de la campagne SECARGO, 70 stations hydrologiques comprenant un profil de température, de salinité et de la concentration en oxygène dissous avec une sonde CTD-O₂ ont été effectuées. En parallèle, des prélèvements discrets à partir de bouteilles Niskin ont été réalisés pour les analyses de la salinité et de la concentration en oxygène dissous. Des mesures de courants horizontaux (0-250 m) en continu ont été enregistrées à partir du courantomètre ADCP monté sur la coque du navire. La température et la salinité proche de la surface ont été enregistrées à partir d'un thermo-salinographe (TSG) toutes les minutes. Des flotteurs autonomes du réseau Argo et des bouées dérivantes de surface équipées de capteur de conductivité pour la mesure de surface de la salinité dans le cadre des calibrations des observations de la mission satellite SMOS (Soil Moisture Ocean Salinity) de l'ESA (European Spatial Agency) ont été largués lors de cette campagne en mer. Ce rapport décrit le déroulement de la campagne ainsi que le matériel utilisé et les méthodes de calibration.

Mots clés : Campagne océanographique, Océan Pacifique tropical ouest, température, salinité, courant, programme international SPICE.

Keywords : Oceanographic cruise, tropical Pacific Ocean, temperature, salinity, current, SPICE international programme.

REMERCIEMENTS

Une campagne hauturière sur un navire de 28 mètres tel que le N.O. Alis ne peut s'effectuer avec succès qu'avec un équipage aux compétences hors normes. Nous tenons à remercier le commandant Raymond Proner, les officiers et matelots de l'ensemble de l'équipage du N.O. Alis pour leur professionnalisme, leur disponibilité et leur serviabilité. Le sourire et l'humour sont restés omniprésents, même dans les conditions de fatigue, de mauvaises conditions météorologiques et d'exiguïté.

Les autorisations de travail dans les eaux territoriales du Vanuatu ont été obtenues grâce aux interventions de la direction du Centre IRD de Nouméa auprès des ambassades de France en Papouasie Nouvelle Guinée. Nous remercions sincèrement la contribution de toutes ces personnes qui ont permis la réalisation de cette campagne en mer. De nombreux aspects techniques et logistiques nécessaires au bon déroulement de la campagne ont été menés à bien grâce aux membres de l'US IMAGO basés au centre IRD de Nouméa. L'analyse de l'oxygène n'aurait pu se faire sans la mise au point par Léocadie Jamet (IRD-Nouméa, US moyens analytiques). Les analyses de la salinité ont été faites avec l'aide d'Angelo Di Mattéo (IRD-Nouméa). La calibration du thermosalinographe a été effectuée dans le cadre de l'ORE-SSS. Les flotteurs PROVOR ont été expédiés depuis l'IFREMER de Brest avec l'aide de Nathanaëlle Le Breton. Le transfert des données vers le centre national du SISMER a été effectué avec l'aide de Mme Françoise Gourtay Le Hingrat. Pour la calibration de l'oxygène dissous, nous avons utilisé la procédure et les routines du PMEL et nous remercions chaleureusement G. Johnson et K. McTaggart.

RAPPORT DE LA MISSION EN MER SECARGO

Table des matières

- 1. Introduction
- 2. Déroulement de la campagne
- 3. Hydrologie
- 4. Courantométrie ADCP de coque (VM-ADCP)
- 5. Mesures complémentaires et largages d'opportunité
- 6. Références

Annexe 1 : chronologie détaillée des stations hydrologiques de la campagne

Annexe 2 : profils CTD-O₂

1. Introduction

La thématique scientifique de la campagne en mer SECARGO s'inscrit intégralement dans le cadre du développement des moyens d'observation définit par le projet « Southwest Pacific Ocean Circulation and Climate Experiment » (Ganachaud *et al.* 2014). SPICE¹, qui représente une composante du programme international « CLImate VARriability and predictability », CLIVAR, a pour ambition de comprendre le rôle de l'océan Pacifique sudouest dans la variabilité climatique globale. Cette région a été en effet identifiée comme une région potentiellement clé dans les échanges entre la bande équatoriale, le siège de la variabilité interannuelle la plus forte sur la planète, les évènements El Niño / Southern Oscillation - et la circulation subtropicale (Lindstrom et al. 1987; Tsuchyia et al. 1989). Ces échanges sont à même de générer des modulations de l'état moyen du Pacifique équatorial et sont donc importants à comprendre dans les variations à basse fréquence, du décennal au changement climatique global (Gu and Philander 1997; McPhaden and Zhang 2002). Localement, la variabilité de l'Océan Pacifique sud-ouest génère par ailleurs des rétroactions climatiques régionales ayant des conséquences socio-économiques pour les différents états et pays insulaires du Pacifique sud-ouest. Par sa nature essentiellement maritime l'Océan Pacifique sud-ouest demeure pour autant une région assez mal documentée et mal instrumentée. C'est dans ce contexte de recherche que le programme SPICE a fédéré au cours de ces dernières années les efforts américains, français, australiens, néo-zélandais et des différents pays insulaires de la région. Le présent projet se rattache plus particulièrement aux deux thèmes suivants détaillés dans les objectifs scientifiques de SPICE (Ganachaud et al. 2014) : l'étude de « l'inflow » en mer de Corail des eaux de la thermocline et l'étude de la dynamique de la mer des Salomon.



Figure 1 : La région de l'Océan Pacifique sud-ouest (extrait de Pickard et al. 1977)

La région d'intérêt se situe dans la bande subtropicale de l'Océan Pacifique Sud-Ouest incluant la partie orientale de la mer de Corail et au nord, la mer des Salomon (Figure 1). Cette région a été au cœur des activités de recherche du centre IRD (ex-ORSTOM) pendant les décennies 1950-1980 (Maes 2006), avant que le centre d'intérêt majeur ne se relocalise vers la bande équatoriale et ENSO au cours du programme international TOGA (Tropical Ocean Global Atmosphere). D'une manière traditionnelle, la circulation des eaux de surface

¹ Projet SPICE : <u>http://spice.legos.obs-mip.fr/</u>

en mer de Corail est alors perçue comme constituée par un flux portant vers l'ouest associé au courant équatorial sud ou SEC (South Equatorial Current) qui constitue la branche portant vers l'ouest du gyre subtropical du Pacifique sud-ouest (s'étendant grosso modo de 30°S à 4°S). A cause de la présence d'archipel d'îles et de récifs ce flux de masse est divisé en différents noyaux et forme des jets zonaux. A l'entrée de la mer de Corail le Jet Nord Calédonien et le Jet Nord Vanuatu représentent les deux principaux jets dont l'existence a été confirmée par des observations in situ (tels que des traceurs comme l'oxygène), les climatologies en hydrologie qui permettent de remonter à la géostrophie et des modèles numériques de circulation générale (Sokolov and Rintoul 2000; Webb 2000; Qu and Lindstrom 2002 ; Ridgway and Dunn 2003). Une illustration du flux de masse intégré sur 1000 m de profondeur en moyenne annuelle est représentée sur la Figure 2. Cependant, la partition du flux de masse entrant en mer de Corail entre ces deux jets représente une autre quantité difficile à appréhender avec les moyens classiques d'observation in situ à grande échelle et pourrait bien être, par ailleurs, dépendante de la nature profonde de ces jets. Gourdeau et al. (2008), à l'aide des données recueillies par un « spray glider », ont ainsi montré que le JNV se caractérise par une extension spatiale assez lâche et que ce jet peut être associé à la pente de la thermocline principale. En revanche, le JNC se caractérise par un flux plus étroit (~100 km) qui est localisé juste au nord de la barrière récifale de la Nouvelle Calédonie avec une extension verticale plus importante, mais qui demeure encore très largement méconnue. L'inversion des données hydrologiques de la campagne Secalis-2 (Ganachaud et al. 2008) et l'analyse des flotteurs autonomes du réseau Argo (Maes et al. 2007) se sont aussi montrées cohérentes de ce point de vue la. Cependant nous ne disposons pas à l'heure actuelle d'une vision cohérente, directe et le long de la colonne d'eau allant jusqu'à 2000 m, du Jet Nord Calédonien transitant au nord du récif D'Entrecasteaux (18°S-163°E), ni de son cheminement en amont. Ces deux derniers points représentent les buts majeurs de la campagne en mer SECARGO, dont le déroulement et la description des principales caractéristiques des différentes observations in situ qui ont été collectées sont décrits dans ce rapport². Les principaux résultats scientifiques issus de ces observations ont été établis lors des travaux de thèse de Florent Gasparin (2012) et publiés par Gasparin et al. (2011, 2012, 2014).



Figure 2 : Circulation moyenne du flux de masse intégré sur les premiers 1000 m de l'Océan Pacifique sud-ouest (en m²/s).

² Pour avoir plus d'informations sur le projet global, voir : http://www.coriolis.eu.org/Science2/Pacific-Ocean/SECARGO

2. Déroulement de la campagne

La campagne océanographique SECARGO s'est déroulée à bord du N. O. L'Alis (navire océanographique de l'Institut de Recherche pour le Développement, faisant 28,40 m de long, 7,60 m de large et pouvant embarquer une équipe scientifique de six membres au maximum) du 7 au 18 mai 2010, principalement en mer des îles Loyauté et en mer de Corail dans l'Océan Pacifique sud-ouest. Le plan général de la campagne est rappelé sur la Figure 3, la première station hydrologique ayant été effectuée au large de Lifou le 7 mai 2010 vers 23h (heure TU). A partir de cette station, la campagne a suivi le cheminement représenté sur la figure 3 où les positions des stations hydrologiques de type CTD-O₂ sont indiquées par des étoiles. L'objectif principal de la section au nord du récif D'Entrecasteaux, avec le point le plus nord de la section vers 16°S a été atteint vers le 14 mai 2010. Le retour vers le port de Nouméa s'est effectué par la côte orientale de la Nouvelle Calédonie avec la réalisation de stations hydrologiques de faible profondeur pour des mesures de paramètres physico-chimiques et biologiques (non décrits dans le présent rapport).



Figure 3 : Trajet de la campagne en mer SECARGO en mai 2010. Les principales stations hydrologiques sont indiquées par les étoiles en bleu clair, les tirs XBT par les carrés en bleu foncé et les stations peu profondes par les symboles roses. La bathymétrie de l'océan est celle du produit ETOPO05 avec un seuil à 3000 m de profondeur (tons clairs). RDE indique la position du récif D'Entrecasteaux au nord de la barrière récifale de la Nouvelle Calédonie.

Note importante :

Le système L-ADCP utilisé au cours de SECARGO comporte deux profileurs «Workhorse 300» (Modèle WH300, numéros de série 3992 et 3777) de la société RD Instruments (RDI), fonctionnant à une fréquence de 300 Khz. Ces appareils sont installés sur le bâti de la bathysonde, un à la base, émettant vers le bas («looking down profiler»), et un au sommet du bâti, émettant vers le haut. Cette configuration tête-bèche apporte une meilleure précision lorsque la bathysonde approche du fond ou de la surface : un des 2 appareils enregistre toujours un profil complet. La phase de traitement de ces données demeure très délicate et des développements récents ont été menés tout récemment afin de mieux prendre en compte les spécificités de la mesure effectuée à bord du N.O. L'Alis. Les résultats de ces travaux seront diffusés ultérieurement dans le cadre d'une annexe externe à ce rapport.

Travaux réalisés en station

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

Chronologie sommaire des stations hydrologiques :

Le transfert vers Lifou a été fait de nuit et les stations hydrologiques ont commencées au large de cette dernière île (voir la figure 3). Lors de la Station 01, le retrait du capteur de salinité no-2340 par le no-2330 a été effectué. Au cours de la radiale au large de Lifou, stations 01 à 07, des problèmes sur l'ordinateur d'acquisition ont été détectés (« overflow data » liés à des modifications de paramétrage de la chaine d'acquisition), ainsi que sur le traitement des fichiers L-ADCP.

A partir du 10 mai, station 16, le cap est mis au nord aux alentours de 165°E, pour atteindre la station 24 dans les eaux du Vanuatu. A partir de la station 16, nous avons aussi détecté les premiers signes de la défaillance du Beam 1 sur le L-ADCP-up. De retour vers les côtes calédoniennes une station en point fixe a été effectuée au niveau de la pointe du récif D'Entrecasteaux pendant 12 heures. Parmi les problèmes rencontrés lors de cette station on peut noter des problèmes d'acquisition du GPS lors du traitement de la navigation du L-ADCP, le remplacement d'une bouteille de prélèvement (poignée cassée), et un positionnement approximatif en fin de station 42 et 45 lors de l'acquisition (avec une réduction de la profondeur maximale atteinte). Des problèmes sur le treuil liés au contacteur tournant ont entrainé des réparations de plusieurs heures, pendant lesquelles 2 stations ont été effectuées avec la sonde SBE19. A partir de station 45, une radiale aller-retour jusqu'à la station 51, vers 15°58'S 162°40'E, a été effectuée, l'ensemble des stations hydrologiques profondes (au delà des 1000 m de profondeur) ayant été effectué avec la station 59, vers 17°45'S 162°52'E au niveau du récif D'Entrecasteaux. La campagne s'est achevée par la réalisation d'une dizaine de stations hydrologiques (60 à 70) peu profondes (200 m) au large de la barrière récifale est de la Nouvelle Calédonie.

Travaux réalisés en continu

- Mesure en continu des courants absolus 0-250 m au moyen d'un profileur acoustique à effet Doppler (VM-ADCP) de coque,

- Mesure en continu (enregistrements tous les 5 minutes) de la température et salinité de surface au moyen d'un ThermoSalinoGraphe (TSG). A noter que ces données ont été traitées, validées et archivées par l'ORE SSS, étant disponibles par conséquent depuis ce site : www.legos.obs-mip.fr/observations/sss

Personnel scientifique

Christophe Maes	IRD, chef de mission
Gérard Eldin	IRD
Florent Gasparin	Etudiant de doctorat de l'Université Paul Sabatier
Lionel Gourdeau	IRD
Martine Rodier	IRD
David Varillon	IRD

Personnel de bord

Raymond Proner	Commandant	
Loic Legoff	Second Lieutenant	
Maxime Leroux	Lieutenant	
Loic Héréus	Chef mécanicien	
Pierrick Prigent	Second mécanicien	
Renaud Truffeaud	Mécanicien	
Félise Liufau	Bosco	
Christian Fitialeata	Matelot	
Steve Taalo	Matelot	
Jean Hnawia	Matelot	
Jacques Quenenoj	Cuisinier	
Nicolas Josse	Maître d'hôtel	



L'ensemble de l'équipe embarquée lors de la campagne en mer SECARGO en 2010.

3. Hydrologie

3.1 Sonde CTD

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

- un capteur de pression ; ce capteur est un capteur à quartz développé par la société Paroscientific Inc. Il est muni d'un capteur de température interne pour pouvoir effectuer une correction de température sur la mesure de pression. Il permet des mesures de 0 à 10000 psia ('pound per square inch, absolute' soit 6800 dbar, avec 1 dbar = 1.4503774 psia) avec une résolution de 0.001% de la pleine échelle (soit 0.068 dbar) et une précision de 0.015% de la pleine échelle (soit environ 1 dbar).

- deux capteurs de température ; ces capteurs à sonde de platine permettent des mesures entre $(-5^{\circ}C)$ et $(+35^{\circ}C)$, avec une résolution de $0.0002^{\circ}C$ et une précision de $0.002^{\circ}C$.

- deux capteurs de conductivité ; ces capteurs à électrodes sont placés dans un tube en verre et mesurent la conductivité absolue. La gamme de mesure se situe de 0 à 7 S/m (Siemens par mètre, équivalent à 0-70 mmho/cm), avec une résolution de 4.10-5 S/m et une précision de 0.0003 S/m.

- un capteur d'oxygène, à membrane polarographique de type SeaBird SBE43, permettant des mesures de 0 à 15 ml/l, avec une précision de 0.1 ml/l et une résolution de 0.01 ml/l (soit approximativement 600 μ mol/kg, 4 μ mol/kg et 0.4 μ mol/kg respectivement).

Une pompe externe relie les différents capteurs, afin d'assurer une meilleure synchronisation de leurs réponses. De même, chaque capteur de température est relié à un capteur de conductivité par un conduit, afin qu'ils mesurent exactement la même eau. Ainsi, on dispose de deux ensembles de capteurs T/C (Température - Conductivité). Pour plus de détails sur les différents capteurs de la sonde³ SeaBird 911+. Les données mesurées par la sonde ont été acquises à l'aide du logiciel SEASOFT (version 5.37d) fourni par le constructeur de la sonde. Lors d'un profil les mesures de la sonde, effectuées à la fréquence de 24 Hz, sont transmises à un microordinateur (de type PC) d'acquisition via le programme SEASAVE. Une fois la station terminée, une procédure de traitement préalable préconisée par le constructeur est appliquée aux données des profils de descente et de montée (voir le document joint au logiciel SBE *data processing* :

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

- ALIGNCTD : ce programme avance de 2 secondes les mesures relatives à l'oxygène afin de les recaler par rapport aux mesures de pression.

- CELLTM: ce programme corrige l'effet de pression sur la conductivité.

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

- LOOPEDIT : ce programme vérifie si le déplacement vertical de la sonde est correct pour effectuer les mesures. En effet, les à-coups sur la sonde dus au fort tangage du bateau génèrent des anomalies dans les profils, la masse d'eau entraînée par la bathysonde dépassant cette dernière lors des fortes décélérations, en descente. Ce programme repère les mesures dont la variation de pression est opposée au déplacement vertical moyen (descente ou montée) ou bien les mesures pour lesquelles la vitesse verticale est inférieure à 30 cm/s pour la sonde

³ voir le site web du constructeur : <u>http://www.seabird.com/sbe911plus-ctd</u>

SBE911+.

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

- BINAVG : ce programme effectue une moyenne des mesures et supprime les mesures « mauvaises » repérée par BINAVG. Ici, la moyenne est effectuée en fonction de la pression tous les décibars.

3.2 Calibration des capteurs et précisions de la mesure en salinité

Les étapes de pré- et de post-calibration des différents capteurs ont été effectuées par la société SeaBird Electronics, Inc., USA. Pour le capteur de pression le résidu de la mesure par rapport à une pression de référence est largement inférieur à 1 psia dans la gamme de variation 0-10000 psia. Pour les capteurs de température, les dérives mesurées étant très faibles (inférieures à 0.1 mdegC/an), les valeurs de la température sont estimées à partir des coefficients de la pré-calibration. Pour les capteurs de conductivité, les dérives mesurées ont été estimées

à +/-0.00005 S/m, ce qui implique une dérive en salinité de -0.0002 psu/mois (mesures pour

3S/m). Ces dérives sont suffisamment faibles pour ne pas avoir à corriger les coefficients de pré-calibration utilisés pendant la campagne et seule une correction *ad hoc* sera apportée par comparaison avec les mesures de salinité effectuées à partir des échantillons récoltés au cours de la campagne.

La précision des données de salinité est estimée par comparaison avec des mesures de salinité effectuées sur des prélèvements par bouteille à différents niveaux de pression. Les échantillons sont recueillis dans des flacons de 200 ml dont l'étanchéité est assurée par une capsule en plastique et un bouchon en bakélite. Avant chaque prélèvement trois rinçages des flacons, des capsules et des bouchons sont effectués. Les échantillons ont été entreposés dans le laboratoire biologique du N. O. Alis, dont la température a varié entre 23°C et 27°C. Les échantillons ont été analysés au centre IRD de Nouméa au retour de la mission. Les mesures sont faites avec un salinomètre Guildline de type Portasal modèle 8410 (la résolution de cet appareil est de 0.0003 psu, à 15°C et pour une salinité de 35 psu). La calibration du salinomètre est effectuée grâce à des ampoules d'eau normale (IAPSO, Standard Seawater) du lot P140 K15=0.99991 du 10 novembre 2000, fabriquées par Ocean Scientific International (Royaume Uni). La salinité est représentée par un rapport de conductivité, qui pour une eau de mer standard à 15°C, contenant par définition 32.4356g de KCL (Millero et Poisson 1981), a pour valeur 35.0000.

Lors de la présente campagne en mer, 146 échantillons ont été prélevés depuis les bouteilles Niskin de la bathysonde et l'arrivée en eau sur le thermosalinographe. Au cours des différentes campagnes antérieures, la précision des analyses effectuées au centre IRD de Nouméa a été estimée aux alentours de 0.002 en salinité à partir de doublets issus des mêmes bouteilles. Nous retiendrons de façon similaire cette valeur comme limite de précision des présentes observations. La figure 4 montre les écarts entre les valeurs prélevées et analysées après la campagne et les valeurs de la sonde SBE911+ avec les coefficients de la précalibration, en fonction de la profondeur et du numéro de station. A partir des 121 valeurs restantes, un écart moyen égal à 1.36 10⁻³, avec des mesures de salinité plus faibles pour la sonde, est visible.

Les plus grandes différences se situent dans les couches superficielles et ne présentent pas de réel biais systématique dans le temps. Cette précision étant acceptable et conforme aux mesures qui ont été effectuées ces dernières années au centre IRD de Nouméa, aucune correction n'a été apportée aux observations de salinité de la sonde CTD.



Figure 4 : Ecarts entre les valeurs de salinité issues des analyses des échantillons et des mesures de la sonde SBE911+ en fonction du numéro de station (haut) et de la profondeur (bas). Les lignes continues correspondent aux valeurs à +/- 0.005 près.

3.2 Mesures de la concentration en oxygène dissous

Les mesures bouteilles

Les échantillons sont recueillis dans des flacons, en verre et munis d'un bouchon plongeur, d'environ 110 ml. Lors du prélèvement, une prise de température est effectuée avant de laisser déborder trois fois l'équivalent de volume du flacon.

Après addition successive de 1 ml de chaque réactif de fixation (MnCl₂, 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 24.40 et 27.20°C, pour être ensuite analysés entre 4 à 24h après.

Analyses des échantillons à bord

Les préparatifs ont eu lieu au centre IRD de Nouméa (US191-Moyens Analytiques, Léocadie Jamet). Martine Rodier est la personne en charge des analyses d'oxygène au cours de la campagne SECARGO. Les conditions opératoires et la méthode d'analyse mise au point au centre IRD de Brest sont conformes aux recommandations du manuel d'opération WOCE (WOCE Opération Manual 1994), dérivée de la méthode de Winkler (Carpenter 1965).

En milieu basique, obtenu par ajout de KOH/KI, le manganèse précipite avec les ions hydroxydes et ce précipité est rapidement oxydé par l'oxygène dissout. La conservation des échantillons jusqu'à 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.

Pour le dosage de l'Oxygène, nous avons utilisé le titrateur Titrino 794 Basic Metrohm. Une seconde burette, Dosimat 665 Metrohm, est utilisée pour la détermination journalière du blanc et du titre de thiosulfate, au moyen d'une solution de iodate de potassium.

Volumétrie et Concentration des réactifs

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 0.006 ml en répétant trois fois au minimum l'opération de double pesée. Le volume moyen des flacons utilisés est de 112.89 ml.

La concentration des réactifs de fixation de l'oxygène est celle indiquée par Carpenter (1965a,b). Ils sont préparés avec des produits de pureté garantie "pour analyse". Les réactifs suivants ont été préparés par Léocadie Jamet:

- 2 L du réactif R1 : 971.3 g de $MnCl_2.2H_2O$ complété à 2L avec de l'eau MilliQ - 2 L du réactif R2 : 896 g de KOH et 1328 g de KI, complété à 2L avec de l'eau MilliQ

- 2 L du réactif R3 : 560 ml de H₂SO₄ pur complété à 1L avec de l'eau MilliQ

- 2 L de solution de iodate de potassium pour référence : 1.4267 g de KIO₃ 0.02N complété à 2L avec de l'eau MilliQ (t° = 22.4°C) - 20 L de Solution de thiosulfate 0.02N : 99.2722g de Na₂S₂O₃.5H₂O dissous dans 20L d'eau MilliQ

Le réactif 1, chlorure de manganèse, a été réalisé à 3M à partir de $MnCl_2.2H_2O$ (Prolabo) 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) à 10N effectué à partir du produit pur pour analyses. Tous les réactifs ont été stockés dans des flacons de verre ambré de 1L. Un flacon de chaque réactif a été muni d'une dispensette délivrant 1ml.

La solution de thiosulfate de sodium $Na_2S_2O_3.5H_2O$ de l'ordre de 0,02 N a été préparée et stockée dans un bidon de stockage de 20L. Pour l'analyse, un flacon de verre ambré de 1L a été utilisé.

La solution de iodate de potassium, qui sert de référence pour les mesures, est préparée à partir d'une pesée de cristaux dont le degré de pureté ($100 \pm 0.05\%$) est garanti par un certificat d'analyse du fournisseur (BAKER). En effet, afin de déterminer exactement le titre de la solution de thiosulfate, une solution d'iodate de potassium a été préparée avec très exactement 1.4267g de KIO₃, dont la normalité est de 2,003.10⁻² N à 20°C, dans une fiole jaugée de 2000ml, afin d'obtenir une solution à 0.00333M soit 0.02N. La température était de 22.4°C. Cette préparation a été conservée en flacon de verre ambré. L'eau MilliQ utilisée est de résistivité 17.9 MΩcm.

Le volume des 2 dispensettes servant à l'introduction des réactifs de fixation dans les prélèvements est déterminé à 1,0511 ml (MnCl₂) et 1.0186 ml (KOH/KI) à 20°C. Une correction de +0.07 est appliquée sur le volume théorique de 2 ml (à 20°C) de réactifs introduits dans l'échantillon.

Le volume de la burette automatique délivrant l'iodate de potassium pour la référence est 5,009 ml à 20°C, on applique une correction de -0,009 ml sur chaque volume de iodate de potassium délivré rapporté à une température de 20°C.

Le volume de la burette 20 ml associée au titrateur Titrino 794 Basic Metrohm. a été vérifiée sur la gamme 1 ml au moyen d'une série de 10 mesures de 1 ml. Il a été procédé de même sur la gamme 5 ml. La correction à apporter est de -0,006974ml et -0,011023 ml pour les coulées 1 ml et 5 ml respectivement.

Finalement, pendant la campagne, une correction constante de -0.0089 ml est appliquée sur chaque volume de thiosulfate délivré rapporté à une température de 20°C, les volumes délivrés de thiosulfate délivré ayant ventilé entre 3.116 ml et 4.638 ml, avec une moyenne de 3.743 ml.

Avant chaque séquence de dosage, les burettes sont vidangées et les bulles d'air présentes dans les tubulures et les burettes expulsées.

Détermination du blanc d'analyse

La détermination du blanc d'analyse s'effectue par double dosage de 1 ml de KIO3. Quotidiennement, avant la série d'analyses, 4 à 5 dosages successifs permettent de déterminer le blanc des réactifs en mélangeant 1 ml de chacun des trois réactifs (introduits en ordre inverse) à 100 ml d'eau distillée, puis 1 ml de Iodate. Entre chaque ajout de réactif, l'échantillon est agité au moyen d'un agitateur magnétique.

Un premier dosage est effectué, au cours duquel sont notés le volume de thiosulfate versé pour arriver au point d'équivalence (V1) et le volume d'excès de thiosulfate (dV = Volume final – V1). Un second dosage est effectué après ajout de 1ml de Iodate, au cours duquel le volume V2 au point d'équivalence est noté. Le blanc de réactif V_{blk,dw} est alors égal à : V1 - V2- dV



Pendant toute la campagne (Figure 5), la valeur moyenne du blanc obtenue est égale à $+0.007\pm0.009$ ml

Figure 5: Evolution des blancs d'analyses

Détermination de la normalité du thiosulfate de sodium

Chaque jour, la burette automatique qui délivre le thiosulfate est complétée à 1 litre avec la solution de stockage puis agitée. La normalité du thiosulfate est obtenue par un dosage quotidien de 3 à parfois 5 prises d'essai d'iodate de potassium de référence. La moyenne de ces dosages permet de déterminer la "valeur journalière" de la normalité si l'écart type est jugé acceptable. Dans le cas contraire, une nouvelle série est effectuée. Le suivi quotidien de l'évolution de la normalité du thiosulfate permet de détecter toute anomalie (voir la figure 6) et de procéder à toutes les vérifications avant d'admettre cette valeur applicable aux analyses du jour. Le titre est resté très stable sur l'ensemble de la durée de la campagne, avec une valeur moyenne de $2.0399 \pm 0.0048 \ 10^{-2} \text{ N}$.



Figure 6: Evolution du titre du thiosulfate pendant la campagne

Détermination de la concentration d'oxygène des échantillons

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

$$O_{2} (ml l^{-1}) = \frac{(V_{x} + V_{corr} - V_{blk,dw}) * V_{10_{3}} * N_{10_{3}} * 5598}{(V_{std} - V_{blk,dw})} - 1000 * DO_{reg}}{(V_{bot} - V_{reg})}$$

avec:

V _x	= volume de thiosulfate pour le dosage de l'échantillon (ml)
Vcorr	= correction de volume propre à la burette délivrant le thiosulfate
V _{blk} ,dw	= volume de thiosulfate pour le blanc avec eau distillée (ml)
V _{std}	= volume de thiosulfate pour la détermination de la normalité (ml)
V_{bot}	= volume du flacon de prélèvement (ml)
Vreg	= volume des réactifs introduits dans l'échantillon (ml)
V _{IO3} -	= volume de la prise d'essai du iodate de référence (ml)

N 103-	= normalité de l'iodate
DO _{reg}	= 0.0017 ml , valeur absolue de l'apport d'oxygène par les réactifs
	(Murray et <i>al</i> . 1968).

Dans le cas de SECARGO, nous avons les valeurs suivantes :

V _{blk} ,dw	= " valeur journalière"
V _{std}	= " valeur journalière"
V _{reg}	= 2.0747 ml à 20°C (après correction)
V _{corr}	= -0.0089 ml à 20°C
V ₁₀₃ -	= 5.000 ml à 20°C (après correction)
N _{IO3} -	= 2.00136.10 ⁻² N

Le résultat du calcul de concentration d'oxygène est converti en micromoles par kilogramme (μ 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 fixée l'oxygène est connue.

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

$$44.660 * O_2 \text{ (ml } l^{-1}\text{)}$$

O₂ (µmol kg⁻¹) = ______
 ρsw

ou osw correspond à la densité de l'échantillon à la température de prélèvement (Millero and Poisson 1981).

Précisions des analyses

- Station « test »

La précision des résultats de mesure est appréciée principalement par la répétitivité des résultats sur des séries d'échantillons identiques prélevés à un même niveau de profondeur au cours de la station "test" présentée ci-après. Les 12 bouteilles ont été claquées à 1000m pour la station « test » (station 1).

Station 1 « test »		
Niveau de fermeture des	1000	
bouteilles		
Nombre de bouteilles	12	
Valeur moyenne de	170.68	
l'oxygène (µmol kg ⁻¹)		
Ecart type des valeurs	0.581	
mesurées (µmol kg ⁻¹)		

On peut donc considérer d'après les résultats de l'ensemble de la station "test", que la précision des mesures de concentration en oxygène dissous durant la campagne est en moyenne 0.6 µmol kg-1.

- doublets d'échantillons

La précision des mesures est également estimée par l'analyse des doublets d'échantillons obtenus à partir de deux bouteilles fermées au même niveau à différentes stations: 23 doublets ont ainsi été réalisés pendant la campagne, à une pression comprise entre 20 et 2000 dbar. La totalité des doublets ont été retenus.

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

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

di: écarts entre les doublets n: nombre de doublets

permet d'estimer la répétitivité des résultats de concentration en oxygène dissous à $0.508\,\mu mol/kg.$

3.3 Calibration de la concentration en oxygène dissous

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

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

Problèmes: Sur les deux capteurs utilisés, seul S/N0068 (calibré en novembre 2008) est retenu car le capteur primaire SN 1337, calibré en octobre 2007, n'a pas généré des données stables. Les profils peu profonds 60 à 70 ont été calibrés mais il est à noter qu'il n'y a pas eu d'analyses chimiques. Seule une analyse à 1000m a été effectuée lors de la station 1 (calibration des mesures chimiques) ; lors des profils rapprochés, certaines stations n'ont pas été échantillonnées (stations 26, 28, 30, 32, 34, 36, 37, 38, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 49, 50, 52, 58). Les prélèvements sont régulièrement espacés sur la colonne d'eau, et les doublons sont stables. Aucun problème particulier n'est à noter sur les profils.

Calibration : Les mesures d'oxygène sur échantillons bouteilles sont utilisées pour effectuer la post-calibration. Pour compenser les déplacements des isopycnes dus aux ondes internes entre le profil de descente (utilisant les mesures CTD) et de montée (avec les prélèvements), le programme du PMEL match_sgn.m a été utilisé (et modifié) pour replacer les données-bouteille prélevées lors de la montée aux niveaux correspondants lors de la descente à la même densité. La correction en pression est généralement autour de 10 m, et dans certains cas 40 à 60 m pour cette campagne (Figure 7).



Figure 7 : Ecart en pression de l'isopycne de déclenchement des bouteilles entre la descente et la montée, pour chaque station, et en fonction de la profondeur. Cette correction implique une correction en oxygène située entre 0 et 5 umol/kg.

La valeur de saturation d'oxygène est calculée à partir de la formule de Garcia et Gordon (1992). Les valeurs CTD aux niveaux bouteilles sont ajustées en utilisant une équation hybride des modèles de Owens-Millard (1985) et Murphy et al. (2008) pour calculer et calibrer l'oxygène du capteur SBE-43 pour cette campagne (Gregory C. Johnson, communication personnelle, 2008).

Cette équation est la suivante :

$\label{eq:soc*(V+Voff+T20_D0*exp(DI*P+D2*T)*dVdt)*os*exp(Tcor*T)*exp(Pcor*P/(273.15+T)),$

ou ox est l'oxygène CTD calculée; D1 et D2 sont les coefficients donnés par SEABIRD (valeur nominale D1= 1.92634e-4; D2=-4.64803e-2; et Soc, Voff, T20 D0, Tcor et Pcor sont obtenus par minimisation, en partant des coefficients issus de la fiche de precalibration du 4 Novembre 2008). V et la tension oxygène ; dVdt sa dérivée temporelle ; P la pression; T la température; et os la saturation en oxygène. L'utilisation de cette formule évite des problèmes de convergence liés à la nouvelle formule recommandée par SEABIRD (1.0 A*T B*T^2 C*T^3; voir http://www.seabird.com/application notes/AN64-2.htm) qui est donc remplacée par exp(Tcor*T). L'écart entre les mesures et les données CTD ajustées est ensuite minimisé par groupes de stations en utilisant un algorithme d'optimisation non contrainte non linéaire (méthode du simplex de Lagarias et al. 1998). Après minimisation, les résidus (ctd-bouteille) sont calculés, et ceux excédents 2.8 écart-types sont éliminés (Millard, 1993); la minimisation est à nouveau effectuée. Cette procédure est itérée jusqu'à élimination de toutes les données bouteilles excédant 2.8 écart-type.

Les résidus sont obtenus en effectuant un ajustement sur l'ensemble de la campagne. Une structure légèrement linéaire nous a conduit à effectuer un ajustement à part pour les stations 3 à 8 (variation linéaire du Soc avec le numéro de station). Les résidus résultants sont indiqués Figure 8. Après élimination des « outliers », le résidu est de - 0.002+/-0.756 umol/kg hors stations 3-8 ; -0.28+/-1.21 pour les stations 3 et 8 seules. Le niveau de précision est acceptable au regard des standards WOCE.



Figure 8: Résidus oxygène après calibration (différence CTD-bouteille) en µmol/s en fonction du numéro de station (à gauche) et de la profondeur, toutes stations confondues (à droite).

Les coefficients sont ensuite appliqués au profil complet de descente CTD. Une vérification visuelle est effectuée pour chaque profil, en regard du profil de montée, des profils alentour et de ceux de la campagne SECALIS-3 au même endroit. Les données interpolées sur plus de 1-dbar sont qualifiées à 6. De même les quelques pics liés de manière évidente à un problème électronique ont été supprimés et les profils interpolés linéairement.

3.4 Principales sections de la campagne

Les données hydrologiques de la campagne SECARGO ont été qualifiées comme des mesures acceptables et elles ont été transmises au SISMER (<u>http://www.ifremer.fr/sismer</u>). Les profils individuels sont représentés dans l'annexe 2 et les figures suivantes montrent les coupes verticales des sections de la campagne relatives à la dynamique du Jet Nord Calédonien. Les champs de la température potentielle (°C), de la salinité et de la concentration en oxygène dissous (umol/kg) sont respectivement représentés.







Figure 9 : Section hydrologique des stations 24 à 35. Sont représentées successivement le champs de température potentielle (°C), salinité (sans unités) et de la concentration de l'oxygène dissous (en umol/kg) en fonction de la profondeur.







Figure 10 : Section hydrologique des stations 35-51 (identique à la figure 9)







Figure 11 : Section hydrologique des stations 51-59 (identique à la figure 9)

4. Courantométrie ADCP de coque (VM-ADCP)

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

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. Depuis 2009 une centrale de navigation hybridée a été mise en place par GENAVIR. Les données de cap issues de la combinaison des données du gyroscope et du récepteur GPS multi-antennes Sercel NR-230 sont transmises au PC d'acquisition par liaison directe RS-232. Les données de position du même GPS sont transmises sous forme de trames \$CADCP, format propriétaire de GENAVIR.

Acquisition

L'acquisition se fait sur un PC à l'aide du logiciel VM-DAS (version 1.42), avec enregistrement des données sur disque dur. La configuration d'acquisition est résumée dans le tableau 1. Avant le départ de la campagne, les tests logiciels de l'ADCP ont été effectués avec succès. L'acquisition s'est déroulée sans incident tout au long de la campagne. L'ADCP a été configuré la plupart du temps en mode 7, qui permet une portée maximale au détriment d'une plus grande sensibilité aux mouvements du bateau. La dérive d'horloge interne de l'ADCP a été vérifiée tous les deux-trois jours et est restée négligeable. Les données GPS ont été acquises sans interruption et stockées dans les fichiers issus de VM-DAS.

Acquisition BB-150 pendant SECARGO					
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	07/05/2010, 09:38 TU				
Dernier profil	18/05/2010, 10:37 TU				

Tableau 1 : Caractéristiques d'acquisition des données de courantométrie WM-ADCP.

Traitement des données

Le traitement est basé sur le logiciel CODAS-3 (Common Oceanographic Data Access System, version 3), développé à l'Université d'Hawaii (Bahr *et al.* 1989). Une partie est effectuée à bord au fur et a 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.

Après la campagne le traitement a été repris et un étalonnage effectué suivant cette procédure :

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.

Vérification des profils relatifs

Le courantomètre ADCP fournit des profils de vitesse de l'eau relative au navire. Avant de calculer les courants absolus, il convient de vérifier la qualité de ces profils. La vitesse du son utilisée pour le calcul de l'effet Doppler dépend de la température mesurée au niveau de l'embase et de la valeur de salinité entrée dans le logiciel d'acquisition. La température mesurée par l'ADCP est restée à moins de 1°C de celle obtenues par la CTD, précision suffisante pour le calcul Doppler. Les profils peuvent être entachés de diverses erreurs provenant d'un niveau de bruit excessif ou de réflexions sur le fond ou des objets. Des tests statistiques sur les dérivées verticales des vitesses ou d'autres paramètres permettent de détecter, de visualiser et de corriger les profils s'écartant de la moyenne.

Intégration de la navigation

Les positions GPS GPGGA enregistrées à la fin de chaque profil et les vitesses relatives ADCP permettent de calculer le courant absolu dans une couche de référence (ici environ 40-100 m). Ce courant est filtré (filtre de Blackman de ½ largeur 30 mn) et la vitesse du navire par rapport a cette couche lissée est stockée dans la base. Le courant absolu pourra être calculé à chaque niveau à partir de cette vitesse.

Etalonnage

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

Avec la centrale de navigation actuelle qui fournit des caps hybridés on ne dispose plus de source indépendante de cap (GPS multi-antennes) qui permette de déterminer et corriger d'éventuelles dérives temporelles du gyro; cependant, en principe l'hybridation corrige automatiquement ces dérives.

Il a été montré (Pollard and Read 1989) que la comparaison des vitesses de courant absolues avant/après les changements importants de vitesse du navire (stations) permet une estimation statistique d'un angle ϕ et d'un facteur multiplicatif A à appliquer aux profils relatifs. Dans le cas présent ϕ représentera l'angle résiduel entre l'axe des antennes du GPS d'attitude et l'axe de l'ADCP.

Avant la campagne, quelques données avaient montré qu'il devait exister une erreur d'angle importante. Une opération d'étalonnage « water-track » a été effectuée au début de campagne, consistant a effectuer 6 sections nord-sud d'environ 4 nm (3 aller-retours), le 07/05/2012 entre 12 et 16h TU. Un angle ϕ d'environ 9° a été ainsi déterminé, et entré dans VMDAS. Il a été montré par la suite que cet angle était dû à une erreur dans le remontage de l'ADCP après des travaux sous la coque fin 2009.



Figure 12: Histogrammes de A et ϕ et différences d'horloges GPS-ADCP après application de la correction GPS-gyro.

L'étalonnage effectué sur l'ensemble des stations a montré la nécessité d'une petite correction supplémentaire constante sur la campagne, donnée dans le tableau 2. Les rotation et homothétie correspondantes ont été appliquées aux profils relatifs et le calcul de navigation (voir au dessus) de nouveau effectué.

SECARGO	BB-150		
Α	0.985		
φ	-0.3°		

Tableau 2 : Valeurs des coefficients d'étalonnage déterminés aprèscorrection des erreurs dues au gyro du navire.

La valeur de *A*, est inferieure a celle des campagnes précédentes, FRONTALIS, SECALIS, FLUSEC-01, etc... celle de ϕ est du même ordre que pour les campagnes précédentes à bord de l'Alis (-0.4 à -1°). La figure 12 présente les histogrammes des valeurs calculées de *A*, ϕ et de l'écart d'horloge ADCP-GPS qui est resté négligeable.

Contrôle de qualité

Des statistiques sur les profils sont calculées pour estimer la qualité des données et avoir un suivi des performances de l'appareil. En particulier, les valeurs moyennes du pourcentage de bon « pings » en fonction de la profondeur (PGOOD) renseignent sur la portée utile des appareils. La portée moyenne (donnée par la profondeur où PGOOD = 30%) est de 230 m en stations et de 180 m en route. Ces valeurs sont légèrement inférieures à celles de FLUSEC-01 (Maes *et al.* 2009) en 2007 (valeurs de 230 m et 200 m respectivement).

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 sur la figure 13 pour les principales sections de la campagne.







Figure 13: Coupes verticales des composantes zonales et méridiennes des courants pour les principales sections de la campagne, déterminées par les numéros de stations indiqués en haut de chaque coupe.

5. Mesures complémentaires et largages d'opportunité

Sondes de température XBT de type T5

Afin de pallier aux éventuels problèmes techniques de treuil et/ou des conditions de navigation difficiles rendant impossible l'utilisation de la bathysonde, des sondes XBT de type T5 ont été embarquées à bord du N. O. L'Alis. Les positions de ces tirs XBT sont rappelées sur la figure 3 de la campagne et les données ont été traitées par le GDAC CORIOLIS dédié à l'océanographie opérationnelle (http://www.coriolis.eu.org).

Données du ThermoSalinoGraph (TSG)

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

Flotteurs autonomes du réseau Argo

Dans le cadre du programme international Argo (http://www.argo.net) quatre flotteurs autonomes du type ARVOR ont été fournis par la cellule déploiement de CORIOLIS. Ces flotteurs collectent tous les 10 jours des profils de température et de salinité de la colonne d'eau (0-2000 m) et fournissent des estimations pertinentes sur les courants profonds lors de leurs déplacements à une profondeur de parking fixée à 1000 m (i.e., Maes *et al.* 2007). Les données de ces flotteurs sont accessibles depuis le centre CORIOLIS.

Les flotteurs qui ont été déployés ont les numéros WMO suivants : 5902310 – 5902311 – 5902312 – 5902313. Leurs trajectoires sont rappelées pour information ci-dessous.



Figure 14 : positions des profils hydrologiques collectés à partir des flotteurs Argo.

Bouées dérivantes de surface

Dans le cadre de la calibration et validation des missions satellites dédiées à la mesure de la salinité de surface dans la bande L (missions SMOS/ESA et Aquarius/SAC-D) des flotteurs dérivants de surface ont été développés au LOCEAN, permettant ainsi une mesure très proche de la surface (Reverdin *et al.* 2012). Dans le cadre du projet SECARGO, 5 bouées dérivantes de surface ont été déployées, dont 3 lors de la campagne en mer de mai 2010 (Figure 15). Ces dernières bouées ont les identifiants suivants : 92551, 92552 et 92548, et elles ont été déployées lors des stations hydrologiques 23, 24 et 51, respectivement. Les données de ces bouées sont disponibles au près de Gilles Reverdin du LOCEAN. A partir des données de dérive et/ou des données recueillies en température et salinité à la surface, il est possible d'étudier des plus petites échelles de temps et d'espace en comparaison des sections hydrologiques de la campagne (voir par exemple Choukroun *et al.* 2010 et/ou Maes *et al.* 2013).



Figure 15 : Trajectoires des bouées dérivantes de surface déployées lors du projet SECARGO (en noir et bleu) et de la campagne en mer de mai 2010 (en vert, rose et rouge).

6. Références

- Bahr, F., E. Firing and S. Jiang, Acoustic Doppler current profiling in the western Pacific during the US-PRC TOGA Cruises 5 and 6, JIMAR Contr. 90-0228, U. of Hawaii, 162 pp., 1990.
- Choukroun, S., P. V. Ridd, R. Brinkman, and L. I. W. McKinna, On the surface circulation in the western Coral Sea and residence times in the Great Barrier Reef, *J. Geophys. Res.*, 115, C06013, doi:10.1029/2009JC005761, 2010.
- Ganachaud, A., et al., The Southwest Pacific Ocean circulation and climate experiment (SPICE), *J. Geophys. Res. Oceans*, 119, doi:10.1002/2013JC009678, 2014.

- Garcia, H. E. and L. I. Gordon, Oxygen solubility in seawater: Better fitting equations, *Limnology & Oceanography*, 37, 1307-1312, 1992.
- Gasparin, F., A. Ganachaud, and C. Maes, A western boundary current east of New Caledonia: Observed characteristics, *Deep Sea Res., Part I*, 58, 956–969, 2011.
- Gasparin, F., Caractéristiques des masses d'eau, transport de masse et variabilité de la circulation océanique en mer de Corail (Pacifique sud-ouest), Thèse de doctorat de l'Université Paul Sabatier (Toulouse III), 185 p, 2012.
- Gasparin, F., A. Ganachaud, C. Maes, F. Marin, and G. Eldin, Oceanic transports through the Solomon Sea: The bend of the New Guinea Coastal Undercurrent, *Geophys. Res. Lett.*, 39, L15608, doi:10.1029/2012GL052575, 2012.
- Gasparin, F., C. Maes, J. Sudre, V. Garcon, and A. Ganachaud, Water mass analysis of the Coral Sea through an Optimum Multiparameter method, *J. Geophys. Res. Oceans*, 119, doi:10.1002/2014JC010246, 2014.
- Gourdeau, L., W. Kessler, R. Davis, J. Sherman, C. Maes, and E. Kestenare, Zonal jets entering the Coral sea, *J. Phys. Oceanogr.*, 38, 715-725, 2008.
- Hénin, C. and J. Grelet, A merchant ship thermo-salinograph network in the Pacific Ocean. *Deep*-*Sea Res. I*, 43, 1833-1855, 1996.
- Lagarias, J. C., J. A. Reeds, M. H. Wright, and P. E. Wright, Convergence Properties of the Nelder-Mead Simplex Method in Low Dimensions, *SIAM Journal of Optimization*, 9, 112-147, 1998.
- Maes, C., Océanographes des mers du Sud, 50 ans d'océanographie physique dans l'Océan Pacifique sud-ouest, *MetMar*, 213, 4-11, 2006.
- Maes, C., L. Gourdeau, X. Couvelard, and A. Ganachaud, What are the origins of the Antarctic Intermediate Waters transported by the North Caledonian Jet, *Geophys. Res. Lett.*, 34, L21608, doi:10.1029/2007GL031546, 2007.
- Maes, C., G. Eldin, A. Melet, J. Lefévre, J. Sudre, D. Varillon, A. Ganachaud et L. Gourdeau, Rapport de la mission océanographique FLUSEC-01 à bord du N.O. Alis du 12 au 30 Août 2007 en mer de Corail, Océan Pacifique Sud-Ouest, Rapports de mission, Sciences de la Mer, Océanographie Physique, Centre IRD de Nouméa, Nouvelle Calédonie, no 24, 98 pp, 2009.
- Maes, C., B. Dewitte, J. Sudre, V. Garçon, and D. Varillon, Small-scale features of temperature and salinity surface fields in the Coral Sea, *J. Geophys. Res.*, 118, 5426–5438, doi:10.1002/jgrc.20344, 2013.
- Millard, R., WHP operations and methods, October 1993. (http://cchdo.ucsd.edu/manuals.html).
- Millero, F. J. and A. Poisson, International one-atmosphere equation of the state of Sea Water, *Deep Sea Res.*, 28, 625-629, 1981.
- Murphy, D., N. Larson and B. Edwards, Improvements to the SBE 43 Oxygen Calibration Algorithm, SEABIRD technical papers, 2008. (http://www.seabird.com/science-and-technology-behind-measurements).
- Owens, W. and R. Millard, A new algorithm for CTD oxgygen calibration. *J. Phys. Oceanogr.*, 15, 621-631, 1985.
- Pickard, G. L., J.-R. Donguy, C. Hénin, and F. Rougerie, A Review of Physical Oceanography of the Great Barrier Reef, *Monograph Series*, vol. 2, 134 pp., Australian Institute of Marine Science, Townsville, Queensland, Australia, 1977.
- Pollard, R. and J. Read, A method for calibrating shipmounted acoustic Doppler profilers, and the limitations of gyro compasses, *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 6, 859-865, 1989.
- Qu, T., and E. J. Lindstrom, A climatological interpretation of the circulation in the western South Pacific, *J. Phys. Oceanogr.* 32, 2492-2508, 2002.
- Reverdin, G., S. Morisset, J. Boutin, and N. Martin (2012), Rain-induced variability of near seasurface T and S from drifter data, *J. Geophys. Res.*, 117, C02032, doi:10.1029/2011JC007549.
- Sokolov, S., and S. Rintoul, Circulation and water masses of the southwest Pacific: WOCE section P11, Papua New Guinea to Tasmania. *J. Mar Res*, 58, 223-268, 2000.
- Webb, D. J., Evidence for the shallow zonal jets in the South Equatorial Current region of the south west Pacific. *J. Phys. Oceanogr.*, 30,706–720, 2000.

No	Date	Heure de fin	Latitude	Longitude	Profondeur	Durée
Station	Dute	de descente	(°S)	(°E)	max. (m)	Duree
		(ТИ)	(-)	(_)		
01	08/05	00:29	20 50.30	166 46.09	1013	1h04
02	08/05	02:55	20 41.71	166 51.98	1516	1h15
03	08/05	06:16	20 31.36	166 59.98	1420	1h25
04	08/05	08:10	20 25.69	167 04.19	1728	2h00
05	08/05	11:31	20 18.41	167 10.46	2032	1h54
06	08/05	15:14	20 10.09	167 15.62	2030	1h55
07	08/05	21:06	20 03.42	167 22.48	2023	1h15
08	09/05	00:17	20 05.56	167 06.70	2032	1h07
09	09/05	03:18	20 06.62	166 50.58	2024	1h07
10	09/05	06:13	20 08.43	166 34.80	2025	1h32
11	09/05	12:21	20 12.81	165 52.03	2022	1h05
12	09/05	15:09	20 13.81	165 39.56	2024	1h13
13	09/05	18:09	20 14.79	165 28.89	2024	1h26
14	09/05	20:57	20 15.89	165 18.20	2023	1h18
15	09/05	23:59	20 16.98	165 07.61	2031	1h08
16	10/05	02:20	20 17.84	164 58.39	2024	1h06
17	10/05	04:39	20 08.41	165 00.09	2023	1h08
18	10/05	07:25	19 58.85	165 03.43	2023	1h23
19	10/05	09:55	19 49.28	165 06.53	2023	1h11
20	10/05	12:22	19 39.71	165 09.53	2025	1h18
21	10/05	18:48	19 00.11	165 21.93	2022	1h07
22	11/05	04:01	17 59.99	165 14.89	2023	1h13
23	11/05	12:03	16 59.92	165 08.48	2022	1h45
24	11/05	20:39	15 59.96	164 59.93	2022	1h10
25	11/05	23:35	16 10.87	164 48.78	2037	1h08
26	12/05	02:33	16 20.86	164 37.47	2020	1h09
27	12/05	05:22	16 31.35	164 26.32	2020	1h09
28	12/05	08:17	16 41.89	164 15.26	2021	1h10
29	12/05	11:10	16 52.52	164 04.04	2021	1h21
30	12/05	14:27	17 02.52	163 52.40	2023	1h10
31	12/05	17:25	17 13.09	163 41.14	2022	1h18
32	12/05	20:26	17 23.27	163 29.77	2022	1h21
33	12/05	23:23	17 32.38	163 19.84	2022	1h06
34	13/05	02:06	17 40.93	163 10.04	2022	1h06
35	13/05	05:12	17 52.03	162 57.01	1617	0h55
36	13/05	06:16	17 51.88	162 57.22	1618	0h49
37	13/05	07:23	17 51.88	162 57.18	1615	0h45
38	13/05	08:23	17 51.89	162 57.20	1617	0h49
39	13/05	09:27	17 51.87	162 57.23	1615	0h53
40	13/05	10:53	17 52.01	162 57.32	1538	1h13
41	13/05	12:33	17 51.85	162 57.22	1618	1h04
42	13/05	14:18	17 51.81	162 57.19	1618	0h54
43(SBE19)	13/05	18:22	17 51.98	162 57.32	1684	0h50

Annexe 1: chronologie détaillée des stations hydrologiques de la campagne

44(SBE19)	13/05	19:36	17 51.93	162 57.16	1688	0h55
45	14/05	01:56	17 14.27	162 53.63	1047	0h50
46	14/05	04:11	17 02.46	162 51.70	2026	1h07
47	14/05	06:38	16 52.82	162 49.51	2045	1h28
48	14/05	09:07	16 42.77	162 47.87	2020	1h20
49	14/05	12:19	16 27.99	162 45.39	2022	1h08
50	14/05	15:27	16 12.94	162 42.90	2023	1h11
51	14/05	18:31	15 57.94	162 40.71	2024	1h20
52	14/05	22:26	16 18.73	162 41.48	1359	1h00
53	15/05	01:47	16 38.18	162 42.47	2025	1h14
54	15/05	05:17	16 57.24	162 44.58	2024	1h08
55	15/05	07:31	17 07.01	162 46.41	2026	1h08
56	15/05	09:55	17 17.03	162 47.87	2029	1h26
57	15/05	12:23	17 26.99	162 49.53	2022	1h15
58	15/05	14:56	17 37.36	162 51.10	2025	1h07
59	15/05	17:14	17 45.72	162 52.18	1719	0h58
60	17/05	11:13	20 14.59	163 51.11	203	0h15
61	17/05	12:42	20 23.77	163 55.45	202	0h15
62	17/05	14:50	20 35.65	164 04.59	202	0h15
63	17/05	19:11	21 02.07	164 28.49	203	0h15
64	17/05	20:16	21 01.04	164 35.14	203	0h15
65	17/05	21:50	21 08.11	164 41.08	203	0h15
66	17/05	23:02	21 13.95	164 44.32	202	0h15
67	18/05	00:18	21 21.73	164 49.84	202	0h15
68	18/05	05:55	21 49.21	165 37.31	203	0h15
69	18/05	07:03	21 51.71	165 42.07	203	0h15
70	18/05	08:18	21 57.84	165 50.13	201	0h15

Annexe 2 : Profils $CTD-0_2$

Pour chaque station hydrologique (numéro et position sont mentionnés en bas à gauche), sont représentés les profils verticaux de la température potentielle (°C) en bleu, de la salinité en rouge et de la densité potentielle (kg/m³) en noir sur le cadre de gauche. Au milieu chaque profil de la concentration en oxygène dissous (en umol/kg) est représenté en continu et les valeurs discrètes issues des mesures de la chimie sont indiquées par les croix rouges. Le cadre de droite montre la relation T-S du profil avec les iso-lignes de densité potentielle.



































