

Contribution au réseau ARGO/CORIOLIS dans l'Océan Pacifique sud-ouest pour étudier la variabilité hydrologique des eaux rentrant en mer de Corail

Christophe Maes¹ et David Varillon

IRD/LEGOS, UMR5566
Centre IRD de Nouméa
BP A5
98848 Nouméa cedex, Nouvelle Calédonie
(687) 26 07 25 fax : 26 43 26
Contact : maes@noumea.ird.nc

Rapport des activités 2008-2009

Autres Participants : Alexandre Ganachaud, Lionel Gourdeau, Gérard Eldin, Sophie Cravatte, et William Kessler.

Membres associés : Pr Steve Riser (University of Washington) et Dr David Behringer (NCEP/NOAA)

Contact Mercator: Fabrice Hernandez

Projet d'Action Ciblée de l'AO du GMMC 2007
(crédits OA-P11501 sur l'EOTP 9ADO0276/0B1ENV)

(1) Responsable scientifique du projet

1. Introduction

Cette convention de recherche faisant suite à l'appel d'offre du groupe mission MERCATOR/CORIOLIS 2007 propose une action ciblée dans le cadre de la contribution au réseau ARGO/CORIOLIS. De façon plus générale, ces travaux se situent dans le projet national LEFE-Solwara mené conjointement par Sophie Cravatte et Alexandre Ganachaud du LEGOS. Le présent projet se base sur deux objectifs scientifiques rentrant dans les principaux thèmes du projet international de recherche SPICE d'étude sur le Pacifique sud-ouest (Ganachaud *et al.*, 2007) : le premier lié à l'étude de « l'inflow » des eaux de la thermocline en Mer de Corail et l'autre lié à l'étude des caractéristiques hydrologiques de la Mer de Corail et de la Mer des Salomon.

Dans ce document l'accent est porté sur les aspects logistiques et les principales données acquises au cours des deux années du projet financées par le GMMC (2008-2009). Le projet initialement prévu pour une durée de 3 ans sera poursuivi en 2010 et les derniers déploiements prévus sont d'ores et déjà programmés. En conséquence, c'est surtout en relation avec le premier objectif scientifique que seront présentés les principaux résultats et mesures acquises en 2008 et 2009. Ce rapport présente l'état des travaux réalisés à la fin 2009 en fonction du plan de travail initial. Il est à noter que la seule différence importante concerne la programmation de la campagne océanographique à bord du N.O. Alis qui devrait avoir lieu en mai 2010.

2. Aspects logistiques de la collecte *in situ*

2.1 Sondes XBT

Concernant les phases de déploiement en mer, les 4 embarquements d'un observateur à bord du navire de commerce « Coral Islander 2 » et du « Tropical Islander » ont été effectués et ils ont permis le déploiement de sondes thermiques de type XBT avec une haute résolution spatiale (de l'ordre de 15 miles nautiques). Les périodes couvertes au cours de ces radiales sont les suivantes :

- 28/06 au 01/07 2008
- 31/10 au 03/11 2008
- 27/02 au 03/03 2009
- 16/08 au 21/08 2009

L'objectif d'assurer un déploiement bi-annuel sur les radiales entre Nouméa et Honiara de sondes qui permettent d'estimer le flux de masse d'entrée en mer de Corail a donc été atteint, conformément au plan de travail prévu. Les positions précises de ces tirs et les sections de température correspondantes seront détaillées dans la partie suivante (Fig. 3).

2.2 Flotteurs autonomes du réseau Argo

L'intérêt d'un déploiement de flotteurs autonomes du réseau Argo en entrée de la mer de Corail a été mis en exergue par l'étude des flotteurs déployés le long de 165°E, entre 20°S et 11°S, lors de la campagne océanographique Frontalis-3 (Maes *et al.*, 2007). Dans le suivi logique de cette étude et dans le but de remplir, au cours des prochaines années à venir, le second objectif du présent projet (i.e., suivi des caractéristiques hydrologiques en mer de Corail et en mer des Salomon), il a été proposé le déploiement de flotteurs autonomes du réseau Argo depuis les navires marchands. Ces flotteurs ont été fournis par l'équipe du Professeur Stephen Riser (P.I. de ces flotteurs) de l'université de Washington et l'aide

technique a été assurée par l'embarquement de l'ingénieur Rick Rupan au cours de la première radiale en mi 2008. Le déploiement de ces 5 flotteurs APEX ayant une profondeur de parking à 2000 m (Riser, 2008) a été réalisé et la figure suivante montre les trajectoires de ces flotteurs au début du mois d'août 2009. Les déplacements de ces flotteurs étant restés cantonnés dans notre zone d'intérêt il a été décidé de ne pas renouveler de déploiement en 2009 et d'attendre la première partie de 2010. A ce jour, chaque flotteur autonome a réalisé entre 37 et 40 profils verticaux de température et de salinité (source : site CORIOLIS www.coriolis.eu.org), soit un an de donnée environ avec un cycle tous les 10 jours (standard du programme Argo). En fin d'année 2009, 4 de ces flotteurs étaient toujours déclarés comme actifs.

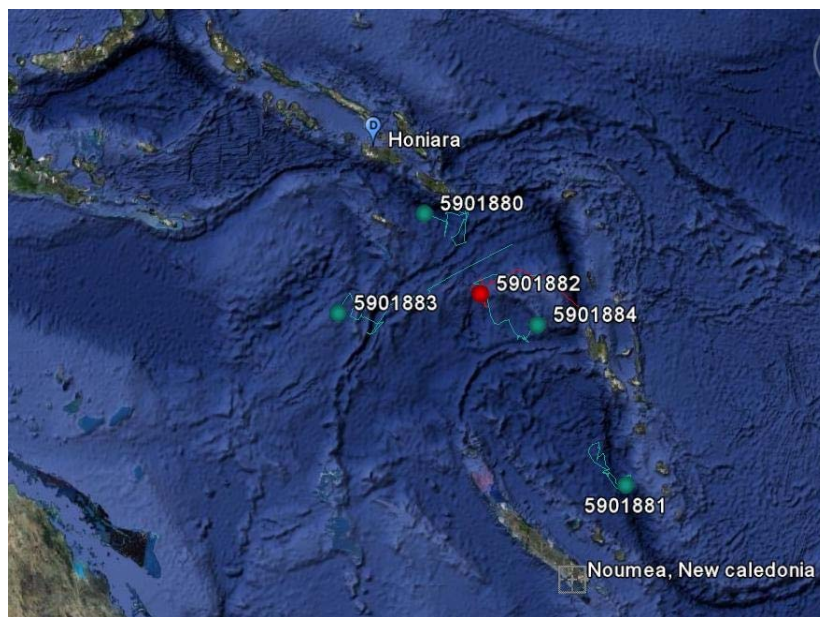


Figure 1 : Dernières positions (début août 2009) et trajectoires des flotteurs autonomes déployés lors de la radiale SECARGO-1. A noter que les profondeurs de parking de ces flotteurs sont situées à 2000 m de fond environ. (ressource Google Earth)

Numérotation WMO et positions précises des lâchers réalisés en 2008 lors de la première radiale du présent projet :

5901881 Launch Lat : -19.324 Lon: 167.682 Date: 28/06/2008 03:30:00
 5901882 Launch Lat : -14.002 Lon: 166.004 Date: 30/06/2008 14:13:00
 5901884 Launch Lat : -13.496 Lon: 165.591 Date: 30/06/2008 18:10:00
 5901883 Launch Lat : -12.322 Lon: 164.248 Date: 01/07/2008 00:38:00
 5901880 Launch Lat : -11.0025 Lon: 163.001 Date: 01/07/2008 06:13:00

Une première étape d'analyse a consisté à comparer les données des flotteurs autonomes avec la climatologie à 165°E issue des travaux de Gouriou et Toole (1993). La figure 2 montre les diagrammes T-S résultants entre les différents profils observés par les flotteurs autonomes et les données de la climatologie avec une représentation à +/-3 écarts types. D'une manière générale, on notera l'excellent accord qualitatif entre les profils des flotteurs autonomes et la climatologie à 165°E, en particulier dans les couches profondes. Le minimum de salinité qui peut être associé à la signature des eaux antarctiques intermédiaires est particulièrement bien en accord. La dispersion la plus importante se situe dans les eaux de la thermocline qui sont les plus salées, au dessus de 35.5 vers l'isopycne 24.5 kg/m³. Nous

n'avons pas cherché, pour le moment, à affiner ces comparaisons qui montrent cependant que les données de salinité issues des flotteurs autonomes sont suffisamment fiables pour être considérées comme estimation de la salinité pour les données de température issues des sondes XBT. Ce travail sera à nouveau réalisé en considérant les données validées (« delayed mode ») du standard du projet Argo, ce qui permettra de s'assurer de l'ordre de grandeur des dérives temporelles éventuelles. En utilisant les profils de descente, une telle approche devrait permettre de réduire les erreurs introduites par l'estimation indirecte des effets halostériques telle qu'elles ont été estimées à l'aide des données des missions du « Spray Glider » et présentées dans la partie 5.1 de ce document.

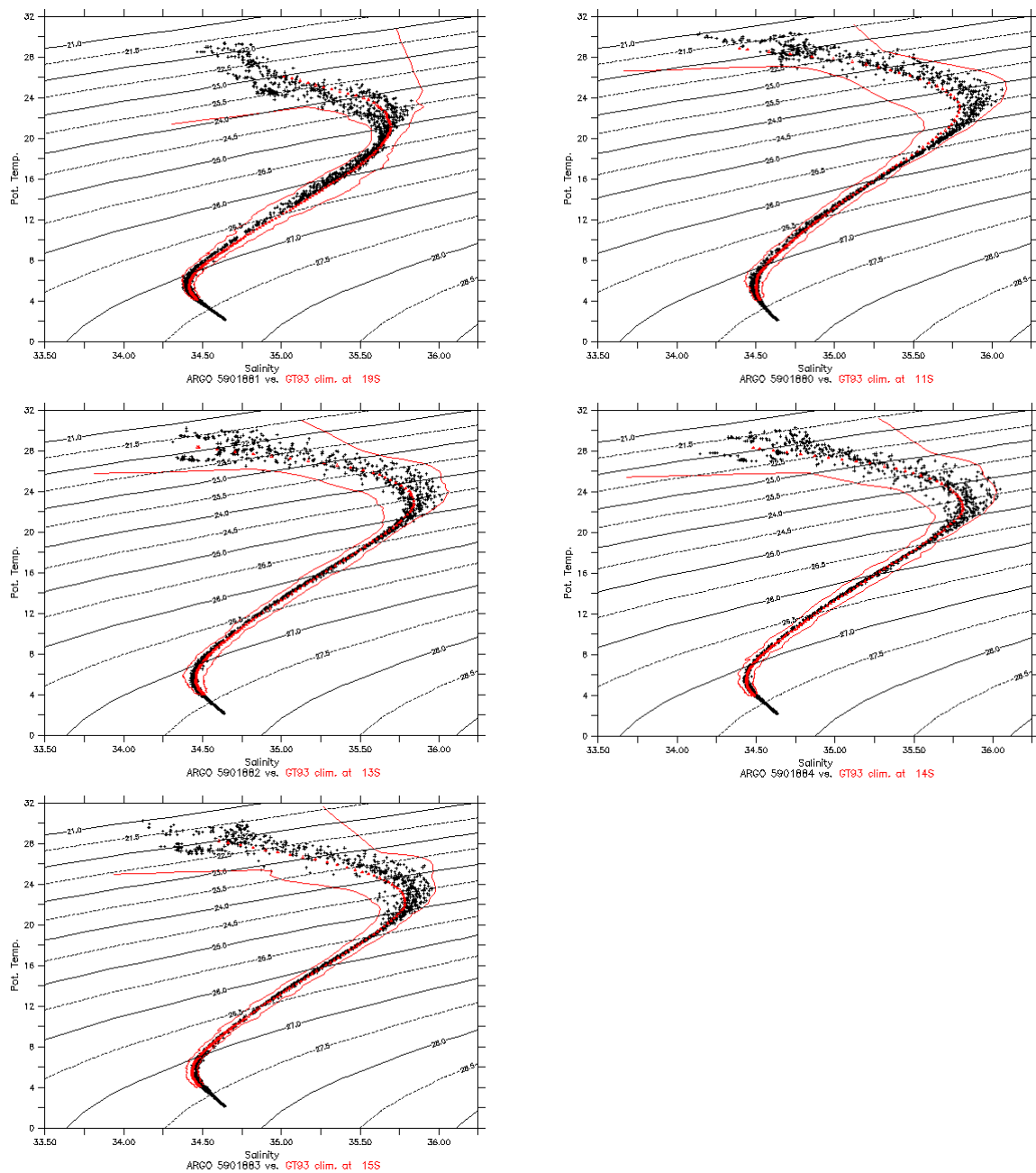


Figure 2 : Diagrammes T-S entre les données des flotteurs autonomes et la climatologie à 165°E (en rouge).

2.3 Echantillons et données TSG de surface

Dans le cadre de l'ORE-SSS ces navires de commerce sont d'ores et déjà équipés de thermosalinographes qui enregistrent en continu et en temps réel les paramètres en surface de température et de salinité. Afin d'assurer une validation de ces mesures une collecte d'échantillon d'eau de mer est aussi effectuée, les analyses étant faites en laboratoire au centre IRD de Nouméa. L'ensemble de ces mesures sont traitées et gérées par l'ORE-SSS (pour plus d'informations, voir le site suivant <http://www.legos.obs-mip.fr/fr/observations/sss>).

3. Contrôle qualité

Les premières analyses ont porté sur le contrôle qualité des profils de température mesurés par les sondes XBT et comprennent :

- une comparaison générale le long de la colonne d'eau entre deux profils successifs,
- une vérification des valeurs hors « seuil raisonnable » (fixées entre 0 et 35°C),
- une comparaison avec les profils saisonniers de la climatologie CARS2006 (Ridgway and Dunn, 2003),
- et un test sur le gradient vertical à la base du profil afin d'éliminer les mesures faites après étirement du fil de cuivre.

Les profils dont les mesures ne dépassent pas les 100 premiers mètres n'ont pas été pris en considération. La répartition des profils considérés par la suite est représentée sur la figure 3 pour les différentes radiales SECARGO réalisées à ce jour. A titre indicatif, le nombre de profils considérés comme positifs est égal à, respectivement, 25, 33, 41 et 37 pour chacune des radiales.

Au cours des radiales SECARGO-3 et -4, des sondes XBT de type T-5 ont été testées, ceci afin d'obtenir des profils plus profonds, jusqu'à 1800 m en théorie. Etant disponible en nombre limité, la stratégie de déploiement a été de privilégier les extrémités des radiales qui seront le plus utiles pour les estimations du transport total de masse. Ces déploiements ont été cependant réalisés avec difficulté (50% de perte environ pendant SECARGO-3) et ceci peut s'expliquer par des conditions météorologiques difficiles et une vitesse de croisière du navire non adéquate. Il apparaît clairement aujourd'hui que ce type de sonde doit être utilisé lors de bonnes conditions météorologiques seulement.

Par la suite, chaque profil de température a été interpolé sur la grille verticale de la climatologie CARS2006 et, à titre d'exemple, les sections verticales de température entre l'île de Santo, Vanuatu, et Honiara, aux îles Salomon, sont représentées sur la Figure 4 ci-dessous. Un bon accord général entre les différentes sections est notable dans la position verticale moyenne de la thermocline par exemple et les variations les plus importantes sont observées dans les couches de surface traduisant l'effet du cycle saisonnier. Des gradients horizontaux très marqués à des échelles assez fines, typiquement inférieures au degré en latitude, traduisent la présence de structures fines de courant avec des alternances bien contrastées. Afin d'isoler la présence des jets océaniques rentrant en mer de Corail, une décorrélation avec l'activité tourbillonnaire de la région s'avère être nécessaire. Le recours aux observations altimétriques devrait permettre de distinguer de telles structures.

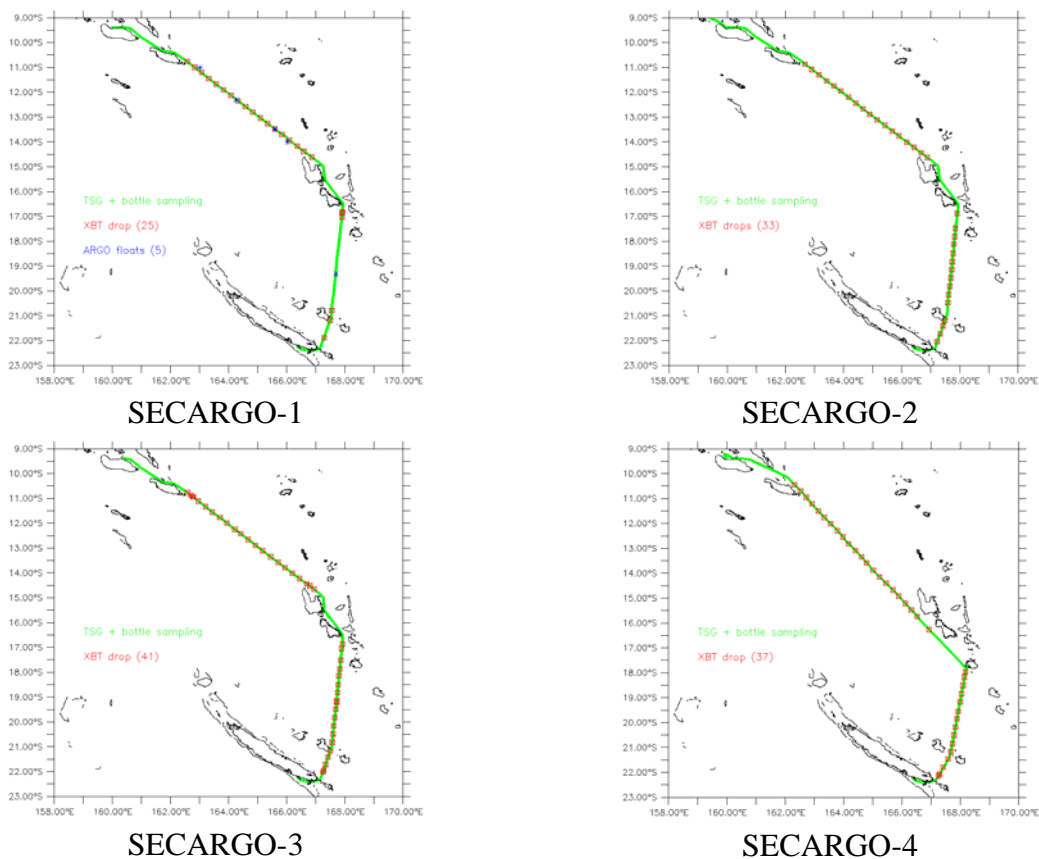


Figure 3 : Positions des profils XBT de température (en rouge) et des lâchers des flotteurs autonomes (en bleu), la route du navire étant indiquée en vert, effectués lors des radiales SECARGO. A noter le changement de navire et de trajet lors de la radiale SECARGO-4 à bord du M/V Tropical Islander.

4. Perspectives pour 2010 et au delà.

Dans la proposition déposée en 2007, le projet SECARGO se basait sur un calendrier d'exécution sur une période de trois ans, soit jusqu'en 2010. Il convient d'apporter quelques ajustements à ce plan initial et ceci concerne, en premier lieu, la programmation de la campagne océanographique SECARGO dont le projet de campagne a été déposé en 2008, puis en 2009. Le plan de campagne est rappelé sur la figure 5. La commission de programmation de la flotte a prévu le déroulement de cette campagne du 7 au 20 mai 2010. Pour mémoire, l'objectif principal de cette campagne en mer concerne l'étude de la dynamique du jet nord calédonien au large du récif D'Entrecasteaux et l'identification des principales masses d'eaux entre la Nouvelle Calédonie et l'archipel du Vanuatu. Le point le plus novateur concerne le déploiement dans une région sous échantillonnée de six flotteurs PROVOR dont deux seront équipés d'optodes pour la mesure de la concentration en oxygène dissous.

Intégré dans le cadre du projet SPICE et, en particulier, de sa composante française, le projet Solwara financé par l'ANR, le projet SECARGO est donc amené à se poursuivre au-delà de 2010. Une extension des radiales entre la Nouvelle Calédonie et l'archipel du Vanuatu est aussi envisagé avec l'utilisation du Spray glider de l'IRD dans le cadre d'un projet qui sera soumis en réponse à l'AO de la mission satellite Altika/SARAL (P.I. Fabien Durand).

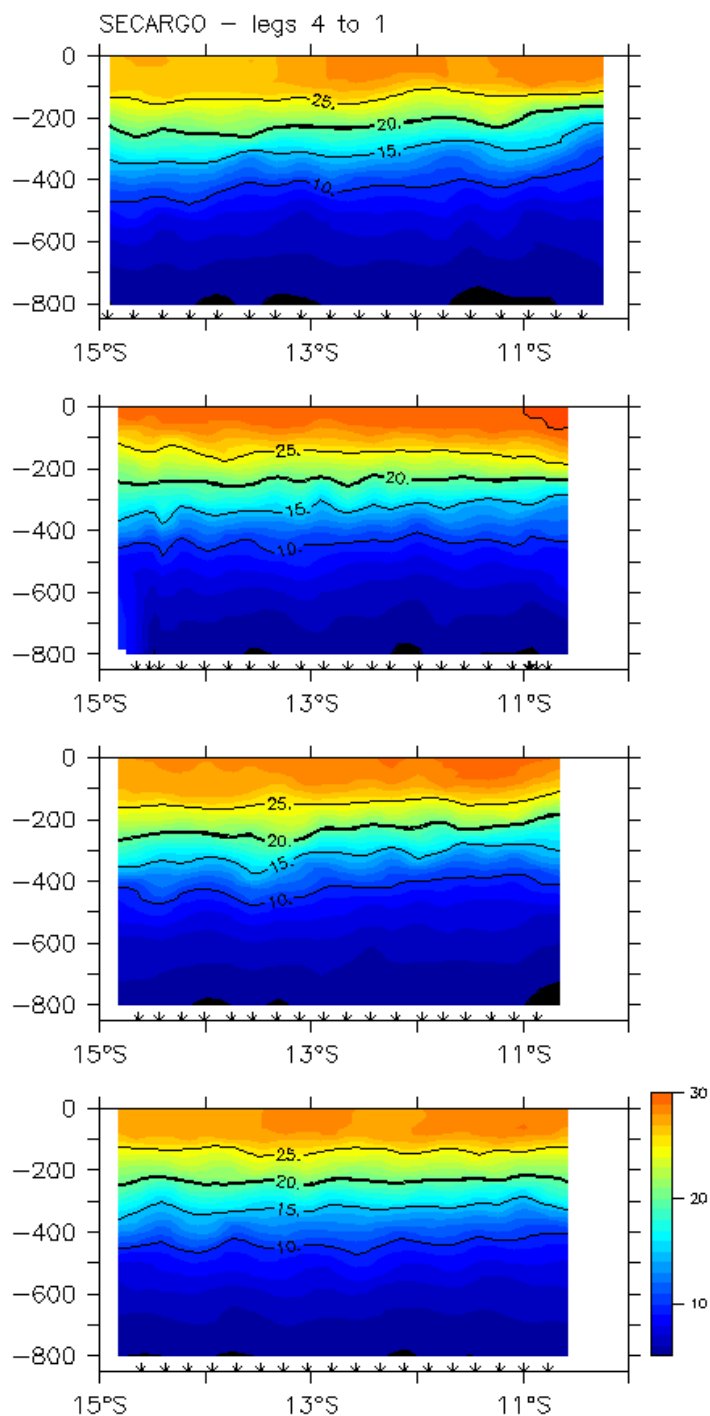


Figure 4 : sections verticales de température (°C) entre Santo et Honiara lors des radiales de SECARGO.

Les analyses en comparaison des modèles numériques seront aussi approfondies au cours des mois à venir avec pour objectifs principaux de compléter les études sur la partition du flux de masse rentrant en mer de Corail et de déterminer l'extension verticale au sein de la colonne d'eau des principaux jets composant le SEC. En fonction de la qualité des comparaisons portant sur les caractéristiques hydrologiques des masses d'eaux le recours aux modèles sera effectué pour diagnostiquer les cheminements et la variabilité temporelle des masses d'eaux depuis la mer de Corail vers la mer des Salomon. Ces comparaisons

permettront d'identifier *in fine* la qualité de la représentation de ces régions dans les systèmes opérationnels de prévision océanique.

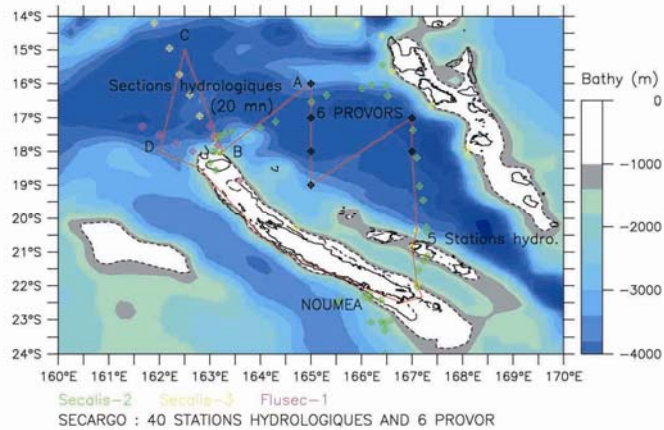


Figure 5 : Itinéraire de la campagne océanographique SECARGO prévue pour 2010.

5. Valorisation scientifique

La valorisation scientifique ne sera vraiment effective que lorsque l'ensemble des données nécessaires à ce projet aura été collecté, avec en particulier la réalisation de la campagne océanographique en 2010. Cependant, plusieurs actions ont déjà été réalisées et ceci particulièrement afin de replacer le contexte des données existantes avec les observations en cours de collecte. Ces actions sont résumées ci-dessous.

5.1 Impact de la salinité

Le projet initial se basait sur une combinaison de profils verticaux issus de sondes XBT et XCTD, ces dernières donnant une mesure de la conductivité et donc de la salinité des couches océaniques. Pour des raisons de logistique (acquisition à bord des navires marchands) et de coûts financiers, il n'a pas été possible de recourir aux sondes XCTD. Il convient donc d'estimer l'erreur qui sera commise en ayant recours à des estimations indirectes de la salinité le long de la colonne d'eau. De façon usuelle, une estimation de la salinité en dehors des couches de surface fait appel à une relation climatologique issue d'un diagramme T-S. En suivant les résultats de Liu *et al.* (2005), nous utilisons les valeurs correspondantes issues de la climatologie saisonnière CARS-2006.

Afin d'estimer l'erreur commise par cette approche indirecte nous avons eu recours aux données issues de deux missions opérées par un planeur sous marin du type « Spray Glider » en mer de Corail. Une présentation globale de la première de ces missions est détaillée par Gourdeau *et al.* (2008). Au cours de la campagne océanographique SECALIS-4 une seconde mission a été réalisée suivant un plan analogue. Suite à une avarie survenue sur l'aileron arrière du planeur, les données de courantométrie de cette seconde mission sont inexploitable mais en revanche, les profils verticaux de température et de salinité sont disponibles. Cette mission s'est déroulée entre juillet 2004 et octobre 2005. La figure 6 montre l'erreur qui est commise dans les estimations du courant géostrophique zonal entre Honiara (îles Salomon) et le nord de la Nouvelle Calédonie au cours des deux missions. On notera que cette erreur est de l'ordre de quelques centimètres par seconde, ce qui correspond à des différences nettement inférieures aux amplitudes des principaux jets en Mer de Corail (approximativement vers 162°E). Il est finalement probable que cette erreur pourra être

encore réduite en considérant les données plus localisées de façon conjointe dans le temps et dans l'espace issues des flotteurs Argo qui opèrent à proximité des radiales XBT.

5.2 Etude des données XBT historiques

La figure 7 montre l'ensemble des données XBT qui a été collecté et traité au centre IRD de Nouméa depuis les années 1970. Nous avons analysé ces observations en suivant trois rails principaux (ronds de couleur), le rail passant par le sud-ouest de la Nouvelle Calédonie ayant été considéré par Qiu *et al.* (2009) – voir leur figure 3b. Les données ont été sélectionnées voyage par voyage et comparées à la climatologie saisonnière CARS2006. La résolution spatiale n'est pas vraiment adéquate (le standard étant de un tir toutes les 6h environ), ni comparable à celle du présent projet mais il est tout de même possible d'identifier, dans la majeure partie des cas, les principaux jets rentrant en Mer de Corail. La figure 8 montre un exemple de ces estimations de courant géostrophiques pour chacun des rails représentés sur la figure 7 en comparaison de la climatologie saisonnière associée. Les courants géostrophiques issus des tirs XBT sont en général plus forts mais un très bon accord qualitatif est visible concernant le positionnement en latitude.

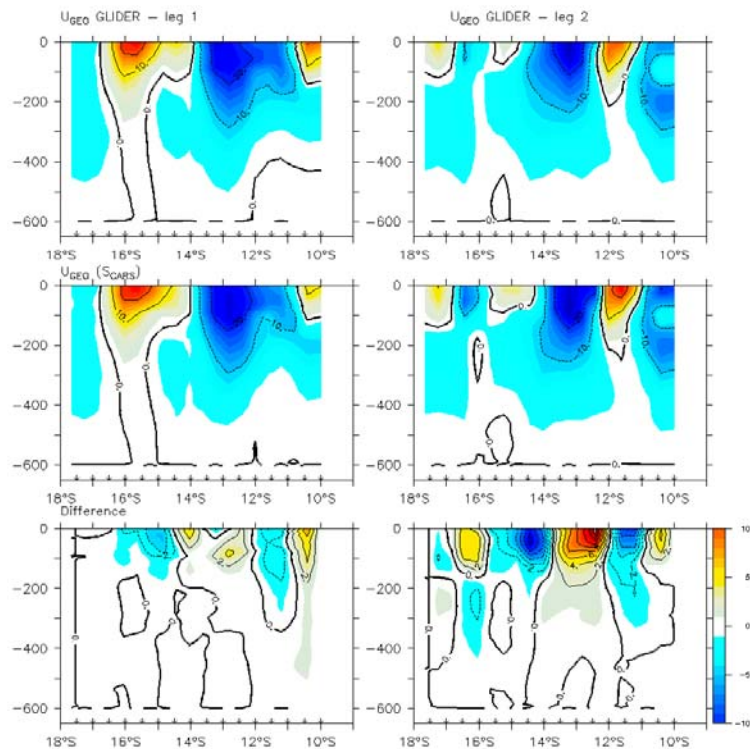


Figure 6 : Estimations du courant géostrophique (en cm/s) référencé à 600 m à partir des données des missions du « Spray glider ». Les estimations ayant recours aux profils de température et de salinité sont en haut, celles utilisant les salinités de la climatologie CARS au milieu, leurs différences étant représentées en bas.

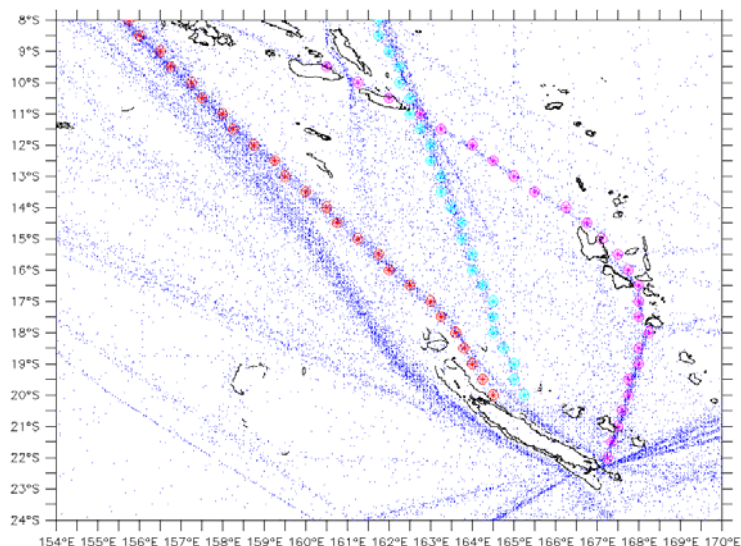


Figure 7 : Position des tirs XBT dans la base historique du centre de Nouméa, et identification des trois rails (ronds de couleur, le rail 1 en rouge, le 2 en bleu clair et le 3 en rose) ou les voyages sont analysés individuellement (le rail 3 est celui qui a été repris par le présent projet SECARGO).

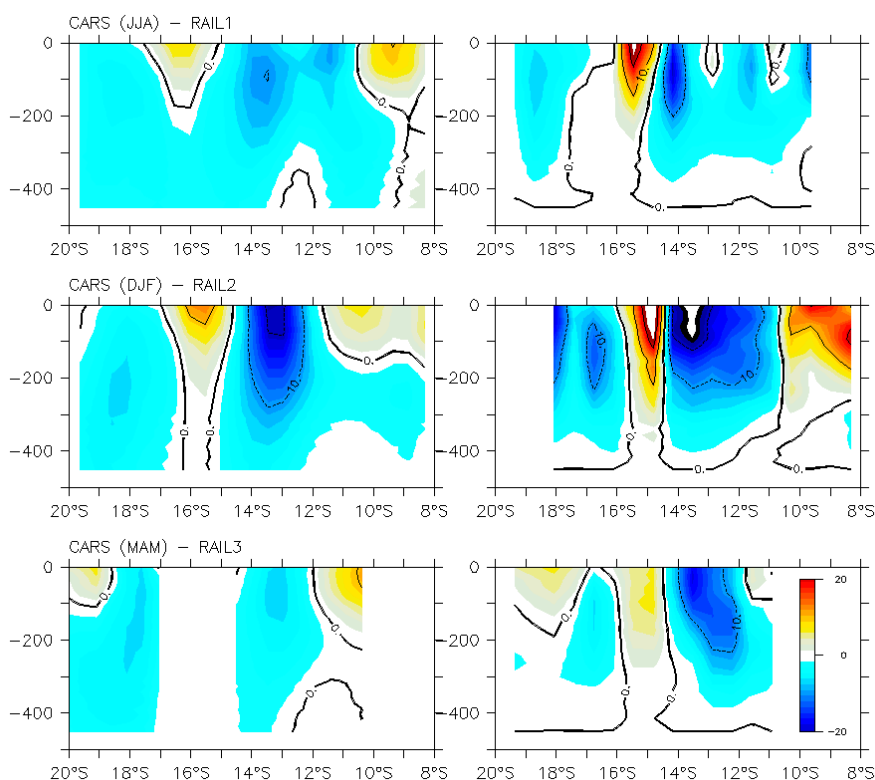


Figure 8 : Estimations le long de la colonne d'eau du courant géostrophique (en cm/s) perpendiculaire aux rails représentés sur la figure 7 à partir de la climatologie CARS (à gauche) et de différents voyages de tirs XBT (à droite).

5.3 Analyse des données CTD historiques le long de la Nouvelle Calédonie

En préalable à la campagne océanographique SECARGO prévue à ce jour pour mai 2010, une étude des données CTD historiques issues des campagnes océanographiques SECALIS-1, SECALIS-2, FRONTALIS-2, FRONTALIS-3 et WOCE P21 a été menée dans

le cadre du stage de master de seconde année par Florent Gasparin en 2009. Ce stage effectué au centre IRD de Nouméa a été encadré conjointement par A. Ganachaud et C. Maes.

La figure 9 montre l'un des résultats majeurs de ce travail avec une estimation du courant géostrophique pour chaque campagne après un ajustement profil par profil ayant eu recours aux données de courantométrie de type L-ADCP et S-ADCP. Une analyse de la circulation permet l'identification d'un courant allant alimenter le jet nord calédonien. Sa présence systématique sur l'ensemble des sections où il s'étend jusqu'à une profondeur de plus de 1000m lui confère une caractéristique majeure. Le transport de masse a été estimé à 7 Sv et varie entre 6,5 et 11,2 Sv avec une incertitude d'environ +/- 2 Sv liée aux erreurs sur la vitesse géostrophique pour chaque estimation. Ce transport représente 1/3 du transport total entre le Vanuatu et la Nouvelle-Calédonie estimé en décembre 2004 et la moitié du transport alimentant le jet nord calédonien (Ganachaud *et al.*, 2008). Ce travail sera poursuivi dans le cadre de la thèse de doctorat de Florent Gasparin à partir de la fin 2009.

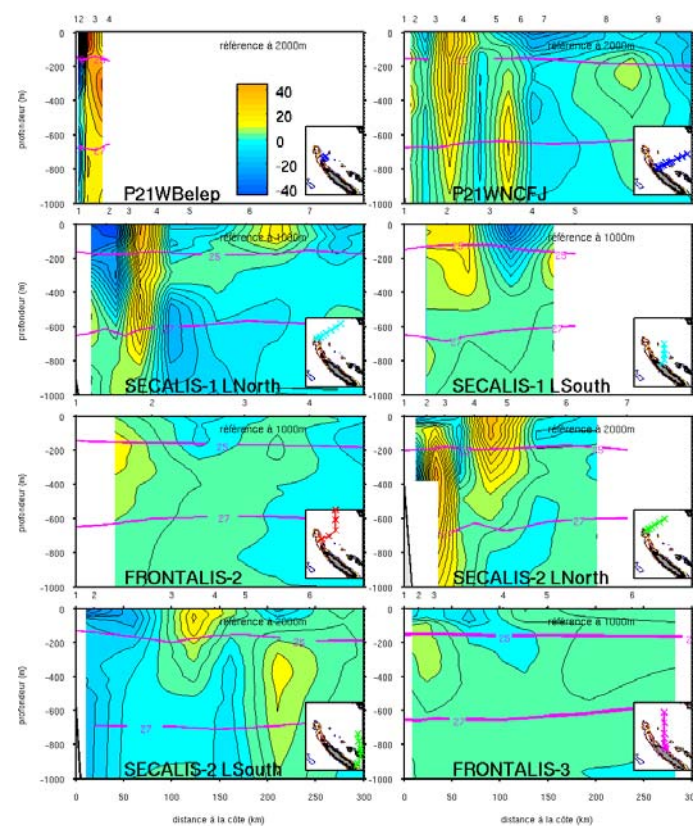


Figure 9 : Sections verticales du courant géostrophique (en cm/s) après ajustements (le niveau de référence est mentionné en haut de chaque cadre). Les isopycnas 25 et 27 kg/m^3 sont représentées en magenta. L'emplacement initial des stations CTD est numéroté en haut de chaque cadre (D'après Gasparin, 2009).

6. Références et mises à jour pour l'équipe SECARGO (sur le sujet).

- Couvelard, X., P. Marchesiello, L. Gourdeau, and J. Lefèvre, Barotropic Zonal Jets Induced by Islands in the Southwest Pacific, *J. Phys. Oceanogr.*, 38, 2185–2204, 2008
- Ganachaud, A., W. Kessler, S. Wijffels, K. Ridgway, W. Cai, N. Holbrook, M. Bowen, P. Sutton, B. Qiu, A. Timmermann, D. Roemmich, J. Sprintall, S. Cravatte, L. Gourdeau, and T. Aung, Southwest Pacific Ocean Circulation and Climate Experiment (SPICE)—Part I. Scientific Background. International CLIVAR Project Office, CLIVAR Publication Series No. 111, NOAA OAR Special Report, NOAA/OAR/PMEL, Seattle, WA, 37 pp, 2007.
- Ganachaud, A., L. Gourdeau, and W. Kessler, Bifurcation of the subtropical south equatorial current against New Caledonia in December 2004 from an hydrographic inverse box model, *J. Phys. Oceanogr.*, 38, 2072–2084, 2008.

- Gasparin, F., Caractérisation d'un courant de bord Ouest au nord-est de la Nouvelle-Calédonie, rapport de stage du Master 2 Océan Atmosphère Surfaces Continentales de l'Université Paul Sabatier, 38 pp., 2009.
- Gourdeau, L., W. Kessler, R. Davis, J. Sherman, C. Maes, and E. Kestenare, Zonal jets entering the Coral sea. *J. Phys. Oceanogr.*, 38, 715-725, 2008.
- Gouriou, Y., and J. Toole, Mean circulation of the upper layers of the western equatorial Pacific Ocean. *J. Geophys. Res.*, 98, 22 495-22 520, 1993.
- Liu, Y., M. Feng, J. Church, and D. Wang, Effect of salinity on estimating geostrophic transport of the Indonesian Throughflow along the IX1 XBT section, *J. Oceanogr.*, 61, 795-801, 2005.
- 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., On the ocean salinity stratification observed at the eastern edge of the equatorial Pacific warm pool, *J. Geophys. Res.*, 113, C03027, doi:10.1029/2007JC004297, 2008.
- Qiu, B., S. Chen, and W. Kessler, Source of the 70-day mesoscale eddy variability in the Coral Sea and the North Fiji basin, *J. Phys. Oceanogr.*, 39, 404-420, 2009.
- Riser, S., Profiling to 2000 m anywhere in the World Ocean: Advances with APEX Floats, ARGONAUTICS, 10, July issue, 2008.