



Université Paul Sabatier Toulouse
Master 2 Océan Atmosphère Surfaces Continentales

RAPPORT DE STAGE

Institut de Recherche pour le Développement (IRD, Nouméa) /
Laboratoire d'Etudes en Géophysique et Océanographie Spatiales
(LEGOS, Toulouse)

Caractérisation d'un courant de bord Ouest au nord-est de la Nouvelle-Calédonie

Février-Juin 2009

Florent Gasparin

Stage réalisé à l'IRD de Nouméa encadré par
Alexandre Ganachaud et Christophe Maes

Résumé

L'étude de l'Océan Pacifique Sud-Ouest est un élément important de la compréhension de la variabilité climatique décennale et interannuelle à l'échelle globale. La circulation se présente sous forme de jets zonaux en direction de l'Australie. La Nouvelle-Calédonie constituant un obstacle au Courant Equatorial Sud voit passer le long de ses côtes un fort courant dirigé vers le nord alimentant le Jet Nord Calédonien. A partir de données *in situ* issues de campagnes océanographiques (SECALIS-1, SECALIS-2, FRONTALIS-2, FRONTALIS-3 et WOCE P21), nous avons étudié la circulation longeant la côte Est calédonienne par l'intermédiaire de sections de courants et hydrologiques. Des données ADCP (mesures directes du courant) ont servi à ajuster le signal dominant représenté par la géostrophie. Nous nous sommes concentrés sur deux masses d'eaux la *South Pacific Tropical Water* et l'*Antarctic Intermediate Water* pour caractériser le courant dirigé vers le nord longeant la côte. Les données de courants ainsi que les traceurs ont mis en évidence un déplacement spatial de 10 à 100km de la côte de son cœur. Son transport de masse variant entre 6,5 et 11,2 Sv représenterait le tiers du transport passant entre le Vanuatu et la Nouvelle-Calédonie. Une variabilité temporelle de ce courant a été mise en évidence et en partie confirmée par les données des campagnes SECALIS-3 et SECALIS-4 et de la climatologie CARS.

Mots-Clé : Pacifique sud-ouest, calcul géostrophique, ajustements géostrophiques, transport de masse, traceurs, variabilité temporelle

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier Alexandre Ganachaud et Christophe Maes, mes maîtres de stage sans qui ce stage n'aurait pas été si riche et formateur : Alexandre pour sa disponibilité et sa pédagogie et Chrisophe pour la motivation qu'il m'a transmis notamment lors de nos mises au point hebdomadaires.

Je remercie les capitaines et marins de l'Alis, ainsi que les ingénieurs et techniciens de l'IRD qui ont permis d'obtenir des données de qualité : J-Y Panche, F. Gallois, D. Varillon, E. Kestenare, R. Chuchla, F. Baurand.

Merci à toute l'équipe et notamment à Jérôme Lefèvre pour son assistance. Merci à Gérard Eldin, Thierry Delcroix. Je remercie également le centre de l'IRD pour son accueil.

Table des matières

1	Un contexte prometteur	3
1.1	L'Océan : un acteur du climat	3
1.2	L'influence du Pacifique Sud-Ouest	4
1.3	La particularité de la Nouvelle-Calédonie	5
2	Données <i>in situ</i>	6
2.1	Techniques de mesure	6
2.1.1	hydrologie	6
2.1.2	courantométrie	6
2.2	Campagnes océanographiques	6
3	Circulation	9
3.1	Courantométrie Doppler	9
3.1.1	Mesures de courant S_ADCP	9
3.1.2	Mesures de courant L_ADCP	11
3.2	Courant géostrophique relatif à 1000m	12
3.3	Ajustement géostrophique	12
3.3.1	Ajustement de la géostrophie à l'aide des L_ADCP	14
3.3.2	Ajustement de la géostrophie par le niveau de référence	14
3.3.3	Ajustement des vitesses côtières à l'aide des données S_ADCP	14
3.3.4	Géostrophie ajustée	15
3.3.5	Transport géostrophique	17
4	Propriétés des masses d'eaux	20
4.1	Analyse de sections hydrologiques	20
4.2	Diagrammes Température-Salinité (TS) / Oxygène-Salinité (O ₂ S)	21
4.3	Observations sur une isopycne	25
4.3.1	Variabilité spatiale	25
4.3.2	Variabilité temporelle	26
5	Discussion	28
6	Conclusion / Perspectives	30
	Bibliographie	31
	ANNEXES	32
A	Hypothèses	32
B	Transport cumulé	33
C	Paramètres physico-chimiques	34
D	Sections de température	35
E	Sections de salinité	36
F	Zoom sur le cœur du courant au niveau de l'AAIW	37
G	Observations au niveau de la SPTW	38

1 Un contexte prometteur

La question climatique semble aujourd’hui une priorité pour les gouvernements. De nombreux efforts sont mis en œuvre pour comprendre et prévoir l’évolution du climat. La complexité du système climatique nécessite un approfondissement de la compréhension des différentes interactions entre océan, atmosphère et biosphère. L’océan, impliqué dans des applications variées telles la production biologique, le changement du niveau de la mer, les prévisions météorologiques ou encore le déplacement de polluants, est sujet à de nombreux questionnements.

1.1 L’Océan : un acteur du climat

L’océan participe au maintien de conditions viables sur la planète. Le différentiel de température existant entre les zones tropicales chaudes et les zones polaires froides constitue l’un des principaux moteurs du climat. Outre son principal rôle de stockage d’énergie, il joue un rôle fondamental dans la redistribution de chaleur de l’équateur vers les pôles. Son interaction avec l’atmosphère représente une des composantes majeures du climat.

De part sa superficie représentant près de la moitié de la surface océanique et près d’un tiers de la surface terrestre, l’Océan Pacifique joue un rôle fondamental dans la machine océanique. Il est le lieu d’un phénomène climatique planétaire, ENSO, *EL NINO SOUTHERN OSCILLATION*, à la source de nombreuses recherches de part les conséquences dramatiques subies par les populations. Cette instabilité tropicale très connue par les dégâts provoqués par sa phase EL NIÑO, se présente comme une oscillation en trois phases : El Niño, phase “normale”, La Niña. Ces phases sont caractérisées par des régimes de vents particuliers dont l’influence sur la warm-pool, plus grand réservoir d’eaux chaudes de la planète où les températures sont supérieures à 28°C, reflète l’intense interaction entre atmosphère et océan. ENSO se présente comme une oscillation de la position de la warm-pool au niveau de l’équateur. Le phénomène El Niño a un impact climatique global : fortes sécheresses en Australie, modification de l’intensité de la mousson en Indonésie, accentuation de la sécheresse en Afrique de l’Est et au Nord-Est du Brésil. Le climat aux plus hautes latitudes est également perturbé mais de façon moins nette.

La variabilité du climat dans l’Océan Pacifique est majoritairement représentée par ENSO qui constitue le plus fort signal à l’échelle interannuelle. De plus, certains éléments indiquent que ce phénomène interviendrait à l’échelle décennale (Kessler 2002). Différentes hypothèses suggèrent que ses variations sont, soit liées à la variabilité extratropicale (Pierce *et al.* 2000), soit aux non-linéarités inhérentes à la dynamique couplée océan-atmosphère au niveau de l’équateur (Timmermann 2003) ou encore aux eaux de la thermocline formées dans les régions tropicales ou extratropicales (McPhaden et Zhang 2002, Schneider 2004). Or de récentes études réalisées à partir de modèles et d’observations suggèrent que les caractéristiques d’ENSO aux échelles décennales sont principalement originaires du Pacifique Sud (Luo et Yamagata 2001 ; Luo *et al.* 2003, 2005). Cette région est à même de jouer un rôle important dans la variabilité décennale du climat en redistribuant au sud et vers l’équateur, via les courants de bord Ouest, la circulation grande échelle du Courant Equatorial Sud (SEC). Cette hypothèse est à la source du programme SPICE, *South Pacific ocean circulation and Climate Experiment* (CLIVAR-WCPR).

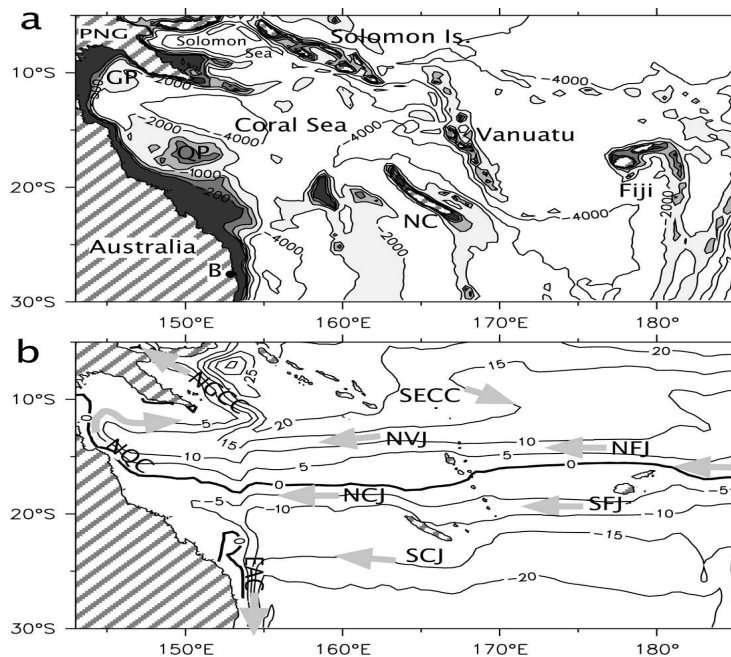


FIG. 1 – Carte du Pacifique Sud-Ouest : en haut, la bathymétrie ; en bas, les principaux courants issus du SEC superposés à la fonction de courant moyenne.

1.2 L’influence du Pacifique Sud-Ouest

Les eaux originaires de la gyre subtropicale sont transportées en direction de l’Australie par le *South Equatorial Current* SEC, courant zonal qui correspond à la branche nord de la gyre subtropicale du Pacifique sud. Une part importante de ces eaux arrivant au niveau du Pacifique sud-ouest bifurque sur la côte australienne et se dirige vers l’équateur pour se mélanger aux eaux de la warm pool. Elles alimentent alors le sous-courant équatorial, *Equatorial Undercurrent* EUC (Tsuchiya *et al.* 1989, Qu et Lindstrom 2002). Ce courant zonal dirigé vers l’Est alimente la langue d’eau froide équatoriale. Par ses caractéristiques, celle-ci influencerait sur l’atténuation ou le renforcement des alizés qui constituent les premiers marqueurs de la modulation d’ENSO.

Au niveau du Pacifique Sud-Ouest, le *South Equatorial Current* rencontre plusieurs obstacles topographiques constitués principalement par le Vanuatu, les îles Fidji et la Nouvelle-Calédonie [Fig 1]. Divers travaux ont démontré qu’il se divisait en différents jets à l’entrée de la mer de Corail. A l’aide de climatologies réunissant toutes les données hydrologiques du Pacifique sud-ouest, des jets zonaux s’étendant vers l’ouest ont également été identifiés aux extrémités nord et sud des principales îles que sont Fidji, Vanuatu et la Nouvelle-Calédonie (Qu et Lindstrom 2002, Ridgway et Dunn 2003, Kessler et Gourdeau 2007). Webb (2000) avait déjà détecté grâce à un modèle numérique les 5 jets qu’il nommait : *North Fiji Current*, *South Fiji Current*, *North Vanuatu Current*, *North New Caledonia Current*, *South New Caledonia Current* [Fig 1,b]. Un calcul linéaire basé sur la dynamique de Sverdrup, la règle de l’île, permet d’expliquer cette dynamique par le calcul du transport de masse méridien entre une île et la côte à son Est (en incluant le transport de bord Ouest sur la côte Est de l’île) à partir du champ de rotationnel du vent de surface. Ce calcul estime le transport intégré sur la côte calédonienne de 10 à 12 Sv (Ganachaud et Gourdeau 2008). Des récentes observations *in situ*

ont révélé la présence de ces jets. Le *North Caledonian Jet* a été observé pour la première fois par Gourdeau *et al* (2008). Le *South Caledonian Jet* a été identifié par des modèles (Webb 2000) et des climatologies (Ridgway et Dunn 2003) mais n'a jamais été mesuré près de la Nouvelle-Calédonie. Ces différents jets restent très peu connus.

1.3 La particularité de la Nouvelle-Calédonie

La Nouvelle-Calédonie constitue un obstacle majeur aux premiers jets issus du SEC. De part, son étendue méridienne (5° de latitude), elle voit passer le long de ses côtes de forts courants se dirigeant vers l'équateur. La proximité des îles Loyauté constitue une difficulté supplémentaire. Les connections équateur-tropiques/subtropiques étant principalement dues aux courants de bords Ouest, l'étude de la dynamique océanique du Pacifique sud-ouest constitue alors une piste primordiale pour comprendre les mécanismes de la variabilité climatique due à ENSO. Lors de la mission océanographique SECALIS-2 en juillet 2003, un courant longeant la côte Est calédonienne a été observé (Gourdeau *et al.* 2008). Ce courant dirigé vers le nord alimenterait le *North Caledonian jet*, l'un des deux principaux arrivant sur la côte australienne.

Ce stage se propose d'étudier la circulation de bord Ouest au niveau de la côte Est de la Nouvelle-Calédonie afin de visualiser la dynamique physique des courants et notamment du courant observé lors de la mission SECALIS-2 afin d'en étudier la variabilité. Les objectifs principaux sont les suivants :

- Analyse de sections de courantométrie grâce aux données de 5 campagnes océanographiques (S_ADCP, L_ADCP) et comparaison aux estimations des vitesses géostrophiques.
- Analyse de sections hydrologiques (Température, Salinité, Oxygène).
- Estimation des transports à partir de l'ensemble de ces données aidant à la caractérisation de structures particulières.
- Identification des masses d'eaux par comparaison fine de leurs propriétés.
- Caractérisation de la variabilité de l'organisation des différentes structures le long de la côte Est calédonienne.

Pour cela, nous allons dans un premier temps décrire les conditions dans lesquelles sont recueillies les données lors des campagnes océanographiques. Nous analyserons dans un second temps ces données en combinant diverses méthodes. Nous discuterons ensuite nos résultats en les justifiant, et en les comparant avec les travaux existants sur la circulation régionale.

2 Données *in situ*

2.1 Techniques de mesure

Lors des campagnes en mer, les océanographes utilisent des techniques spécifiques permettant d'effectuer des mesures sur la colonne d'eau le long d'une trajectoire prédéfinie. Des "sections hydrologiques" permettent alors de visualiser et de schématiser la dynamique océanique. La détermination *in situ* de la circulation peut se faire de deux façons, qui sont généralement couplées : l'hydrologie et la courantométrie.

2.1.1 hydrologie

Les sondes CTD, *Conductivity, Temperature, Depth* permettent la mesure de la température, de la salinité par la conductivité, de la profondeur par la pression. La densité est déduite de ces paramètres. Ces sondes doivent être utilisées sur des navires océanographiques (N.O) à l'arrêt. Les rapports de missions disponibles (Ganachaud *et al.* 2006 pour SECALIS-2; Ganachaud *et al.* 2006 pour FRONTAIS-2; Maes *et al.* 2006 pour FRONTALIS-3) ainsi que l'article de Tsimplis *et al.* (1998) qui renseigne sur la mission P21 fournissent globalement une estimation de la précision de la température à 0,005°C près, de l'oxygène à 1µmol/l et de la salinité 0,005.

2.1.2 courantométrie

Une technique utilisée pour la mesure des courants absolus (courantométrie eulérienne) utilise l'effet Doppler, c'est à dire le décalage de fréquences de signaux acoustiques. Les ADCP, *Acoustic Doppler Current Profiling*, émettent des trains d'ondes sonores qui sont réfléchis sur les particules, et bulles d'air prises par le courant, supposées sans mouvement propre. La différence entre les fréquences émise et réfléchié fournit la composante de la vitesse des particules suivant l'axe de propagation de l'onde. Pour obtenir une des trois composantes de la vitesse, plusieurs faisceaux (minimum trois) doivent être utilisés. Placés au niveau de la coque du bateau, les S_ADCP, *Shipboard ADCP*, à bord du N.O l'Alis ont fournit des mesures jusqu'à 200-300m de profondeur. Pour P21, les mesures étaient plus profondes (Tsimplis *et al.* 1998). Une autre technique pour mesurer le courant le long de la colonne d'eau est la technique L_ADCP, *Lower ADCP*. Le système reste le même que les S_ADCP à la seule différence qu'il est embarqué sur la rosette [Fig 2]. Il effectue une mesure du courant en continu lors de la descente puis de la remontée de la rosette. Cependant, les données peuvent être fortement perturbées par les déplacements du bateau lors de la mesure. Ces données doivent donc être manipulées soigneusement.

2.2 Campagnes océanographiques

Les principales données utilisées pour cette étude sont issues de cinq campagnes océanographiques dont quatre réalisées par les équipes de l'IRD à bord du navire océanographique l'Alis [Fig 3]. Ces missions n'avaient pas toutes pour premier objectif l'étude des abords de la Nouvelle-Calédonie mais leur localisation suggère une étude commune :

WOCE P21 Les données P21 sont issues du programme WOCE, *World Ocean Circulation Experiment*, débuté en 1990 pour une période de 7ans visant à estimer les transports d'eau, de chaleur, de sel et de carbone effectués par les courants océaniques. Plus d'une vingtaine de pays y ont participé. Les mesures de WOCE sont particulièrement très complètes : salinité, température, carbone, CFC, etc... en près de dix mille stations réparties le long de lignes

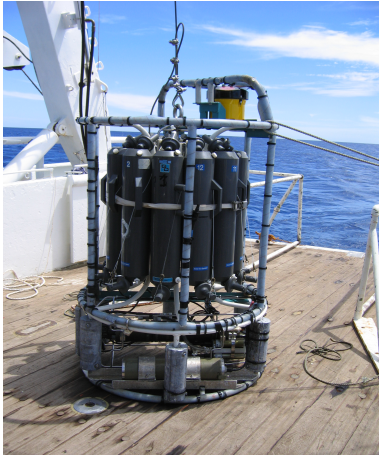


FIG. 2 – Rosette, support des capteurs et des appareils LADCP (boîtier jaune en haut).



FIG. 3 – L'Alis. Navire océanographique de l'IRD utilisé lors des missions SECALIS et FRONTALIS.

traversant tous les océans. A titre de comparaison, il aurait fallu plus de vingt ans à un seul navire fonctionnant en continu pour récolter l'ensemble des données. De nombreux mouillages, bouées dérivantes, flotteurs, systèmes XBT ont également permis de construire une vision de l'océan global à grand échelle. Les sections P21 sont situées aux environs de la latitude 19°S et comportent deux sections, *P21WBelep* (section nord) et *P21WNCFJ* (section sud) près de la côte Est de la Nouvelle-Calédonie [Fig 4]. L'article Tsimplis *et al.* (1998) fournit plusieurs éléments de la mission P21.

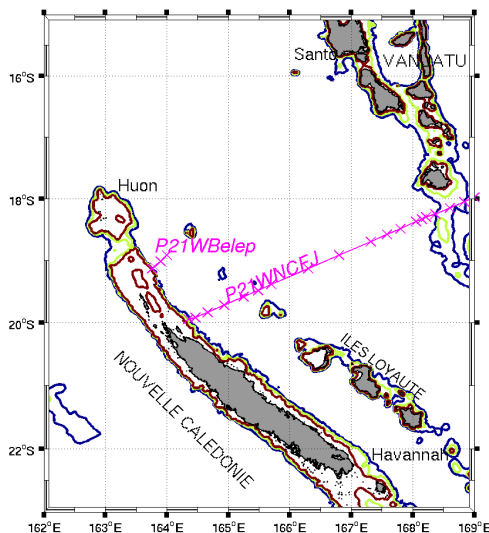


FIG. 4 – Sections issues de la mission P21, *P21WBelep* et *P21WNCFJ*

SECALIS Les campagnes SECALIS-1 / SECALIS-2 font parti d'une série de quatre campagnes visant à observer la circulation du Pacifique sud-ouest afin d'en améliorer la compréhension. La campagne SECALIS-1 a eu lieu en juillet 2003 suivant une trajectoire partant de la Nouvelle-Calédonie vers les îles du Vanuatu et revenant vers la côte sud-est de la Grande Terre pour longer les côtes calédoniennes. Il n'existe pas de rapport de mission pour SECALIS-1 mais les données ont été traitées suivant les procédures WOCE [voir rapport de mission FRONTALIS-2, Ganachaud *et al.* (2006)]. Les deux sections *SECALIS-1 LNorth* et *SECALIS-1 LSouth* sont présentées sur la figure 5. La campagne SECALIS-2 s'est déroulée du 4 au 18 décembre 2004 le long d'un parcours partant de Nouvelle-Calédonie vers les îles

Vanuatu et revenant par le nord du récif néo-calédonien. 40 profils de température et salinité à la sonde CTD (0-2000 m) ont été effectués. Des mesures de courants (0-250 m) en continu ont été réalisées à l'aide de l'ADCP monté sur la coque du navire (S_ADCP). La température et la salinité de surface, ainsi que des relevés météorologiques ont été enregistrées toutes les minutes [Rapport de mission SECALIS-2 : Ganachaud *et al.* (2006)] . Les deux sections *SECALIS-2 LNorth* et *SECALIS-2 LSouth* sont présentées dans notre zone d'étude sur la figure 5.

FRONTALIS Les campagnes FRONTALIS s'insèrent dans le projet « ENSO dans le Pacifique, variabilité à long terme et prévisibilité » du Programme National d'Etude du Climat. L'objectif est d'observer et d'améliorer la compréhension de la zone frontale située sur le bord Est de la "warm pool" du Pacifique équatorial Ouest tout en poursuivant la série de campagnes le long de 165°E débutée en 1984 pour appréhender la variabilité décennale.

Lors de la campagne FRONTALIS-2, 7 profils de température, salinité, oxygène, et profils de courants (0-600 m) au profileur de courant à effet Doppler (L_ADCP) monté sur le châssis de la sonde ont été effectués au bord Est de la Nouvelle-Calédonie. Des mesures de courants (0-250 m) en continu ont été réalisées à l'aide du S_ADCP. Cette campagne a eu lieu du 22 avril au 19 mai 2005. Le trajet s'est effectué le long du méridien 165°E (20°S-2°N) et le long de l'équateur entre 161°E et 172°E [Rapport de mission FRONTALIS-2 : Ganachaud *et al.* (2006)].

Au cours de la campagne FRONTALIS-3, 7 stations hydrologiques comprenant un profil de température, de salinité et d'oxygène dissous avec une sonde CTD (0-1000 et 0-600 m) et 56 profils de courant avec un profileur de courant à effet Doppler (L-ADCP) monté sur le châssis de la sonde ont été effectuées. Des mesures de courants (0-250 m) en continu ont été réalisées à l'aide du courantomètre ADCP monté sur la coque du navire. La température et la salinité de surface ainsi que des relevés météorologiques ont été enregistrés toutes les minutes [Rapport de mission FRONTALIS-3 : Maes *et al.* (2006)]. Les deux sections *FRONTALIS-2* et *FRONTALIS-3* sont présentées dans notre zone d'étude sur la figure 6.

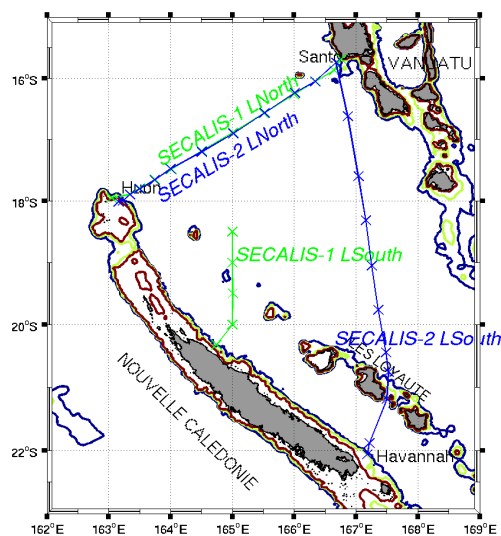


FIG. 5 – Sections des missions SECALIS-1 (*SECALIS-1 LNorth*, *SECALIS-1 LSouth*) et SECALIS-2 (*SECALIS-2 LNorth*, *SECALIS-2 LSouth*)

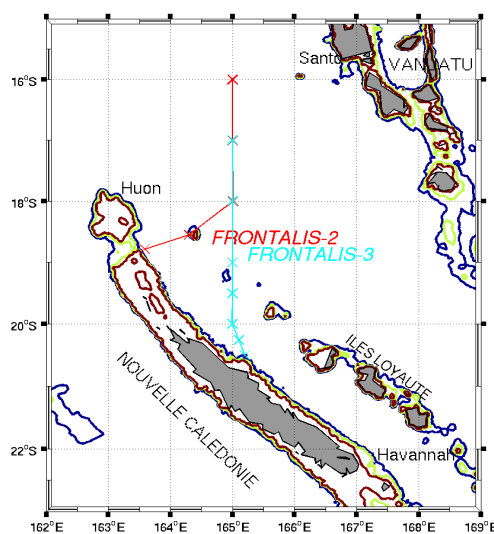


FIG. 6 – Sections des missions FRONTALIS-2 (*FRONTALIS-2*) et FRONTALIS-3 (*FRONTALIS-3*)

3 Circulation

Trois méthodes différentes nous ont permis d’obtenir des estimations de courants : les ADCP de coque, les ADCP de rosette et la géostrophie. Nous allons d’abord décrire les traitements effectués pour chacune des méthodes d’estimation avant de présenter les résultats, et la combinaison des données pour arriver à une estimation optimale.

3.1 Courantométrie Doppler

3.1.1 Mesures de courant S_ADCP

Lors des missions considérées, les S_ADCP, ou profileurs de coque à effet Doppler, fournissaient des profils de vitesses du courant de surface jusqu’à une profondeur de 200 à 300m. Des moyennes temporelles du champ de courant ont été établies toutes les 5min, celles-ci ont ensuite été enregistrées avec les positions géographiques correspondantes. Les données se présentent sous la forme : vitesse zonale « u », vitesse méridienne « v », latitude, longitude, profondeur. Les mesures S_ADCP ont l’avantage d’être effectuées sur un maillage assez fin (quelques kilomètres).

Pour filtrer les effets de petites échelles, nous réalisons des moyennes horaires ainsi que des moyennes verticales. Pour la couche 100-200m, nous montrons sur la figure 7 la répartition des données assez régulière suivant la trajectoire du bateau.

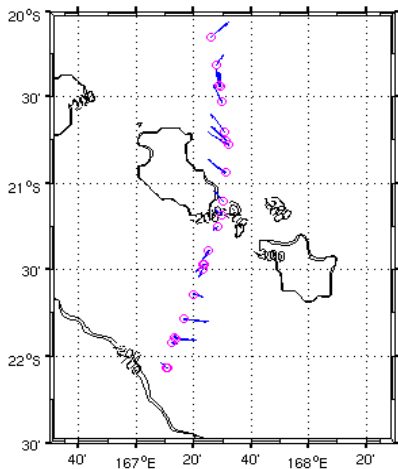


FIG. 7 – Moyennes horaires des courants S_ADCP au niveau de la couche 100-200m le long de la Section Sud de SECALIS-2.

Pour caractériser les jets longeant la Nouvelle-Calédonie, les courants sont projetés dans la direction parallèle à la côte calédonienne (soit 132° par rapport à l’axe Est-Ouest pour la Nouvelle-Calédonie)[Fig 8 (gauche)]. Les courants sont présentés sous forme de sections selon un axe unique défini comme la distance à la côte.

La figure 9 représente les mesures S_ADCP sur l’ensemble des sections. Nous distinguons assez rapidement deux principaux types de structures récurrentes. Une première cellule étroite de 10-20km longeant la côte dirigée vers le sud (bleu) et une seconde dirigée vers le nord plus large de 50 à 150km (jaune). Il est à noter que le courant dirigé vers le sud n’est présent que sur les sections *SECALIS-1 LSouth*, *SECALIS-2 LNorth*, *SECALIS-2 LSouth* et *FRONTALIS-3*. Le courant dirigé vers le nord est visible sur l’ensemble des sections, seule sa position varie, de 0 à 150km de la côte.

3.1.2 Mesures de courant L_ADCP

Les L_ADCP, appareils embarqués sur la rosette au niveau des stations hydrologiques fournissent des données de courantométrie localisées au niveau des stations le long de la colonne d'eau. Les missions P21 et SECALIS-2 n'ont pas été équipées d'appareils L_ADCP. Pour des raisons diverses, certaines stations hydrologiques de missions appareillées n'ont pas fourni de mesures L_ADCP correctes. La résolution horizontale correspondant à la distance entre stations est bien plus faible que pour les S_ADCP (quelques kilomètres) mais les L_ADCP ont l'avantage de fournir des données descendant au moins jusqu'à 1000m. La projection est faite suivant la figure 8 (droite) dans la direction parallèle à la côte.

Un courant dirigé vers le nord (matérialisé en jaune) est visible sur toutes les sections de la figure 10. Ce courant est réparti au moins jusqu'à 1000m, ce qui constitue le résultat majeur de cette figure. On note cependant sur la section *SECALIS-1 LNorth* la présence d'un fin courant dirigé vers le sud (bleu) au niveau de la première station à la côte. Réparti sur toute la colonne d'eau, sa largeur est "approximativement inférieure à 20km".

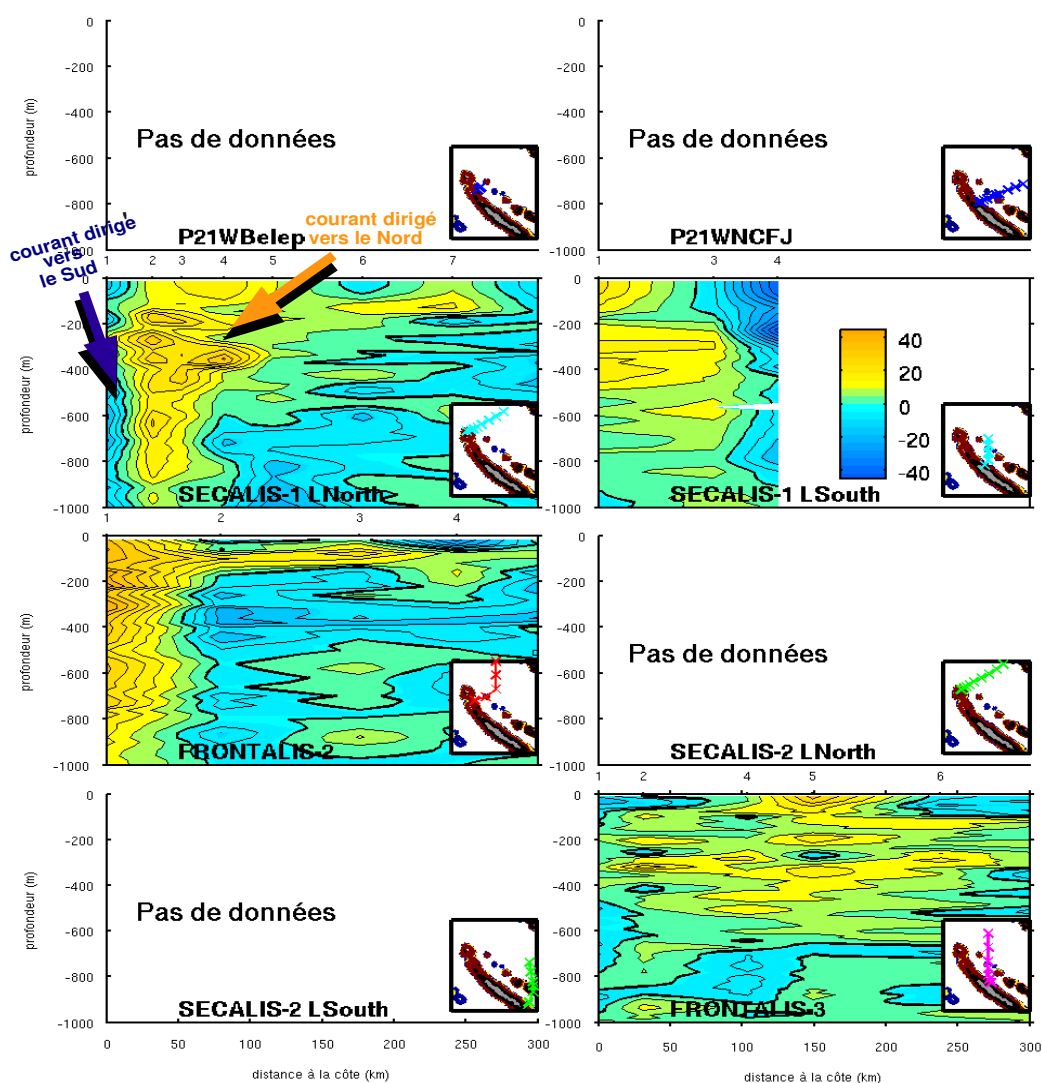


FIG. 10 – Sections de courants LADCP dans la direction parallèle à la côte. Les courants dirigés vers le nord (le sud) sont représentés par des valeurs positives (négatives) et matérialisés en jaune (bleu) comme illustré sur la section *SECALIS-1 LNorth*. Les vitesses sont exprimées en cm.s^{-1} .

3.2 Courant géostrophique relatif à 1000m

Issue des équations du mouvement (Navier-Stokes), l'approximation géostrophique correspond à l'équilibre entre la force de Coriolis et la force du gradient de pression. C'est une bonne approximation lorsque les forces de frottements peuvent être négligées. C'est à dire, dans notre cas, dans l'océan intérieur : loin des bords, loin du fond, loin de la surface. Les équations géostrophiques dérivant des composantes horizontales des équations du mouvement se présentent de la manière suivante :

$$\left[\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} = fv \right] \left[\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} = -fu \right] \text{ (géostrophie) } \left[\frac{\partial P}{\partial z} = -\rho g \right] \text{ (hydrostatie) } \text{ soit } \left[v = \frac{g}{\rho f} \int_{-1000}^0 \frac{\partial \rho(z)}{\partial x} dz \right]$$

où $\frac{\partial P}{\partial x}$, $\frac{\partial P}{\partial y}$, sont les gradients de pression horizontaux, u, v les vitesses géostrophiques, ρ la densité, et f le paramètre de Coriolis.

Il existe deux nombres sans dimension appelés nombre de Rossby, Ro , et nombre d'Ekman, Ek , servant à la justification de cette approximation. Pour notre système, la valeur de ces nombres justifient l'approximation [Annexe A].

Les vitesses géostrophiques sont calculées à partir des mesures de densité entre deux stations. La vitesse géostrophique correspond à une estimation de la vitesse située au milieu de la paire de station. Les gradients de densité horizontaux fournissent une variation de la vitesse du courant par rapport à un niveau de référence arbitraire. Le choix de ce niveau de référence sera discuté par la suite.

Les vitesses géostrophiques relatives à 1000m sont calculées dans un premier temps pour apprécier les variations du champ de densité par rapport à cette référence commune à toutes les sections [Fig 11]. Celles-ci ont de nombreuses similarités avec les sections L_ADCP. Un courant étroit dirigé vers le sud (bleu) est visible sur les sections *P21WBelep*, *P21WNCFJ*, *SECALIS-1 LegNorth* et *SECALIS-2 LegNorth* et nous observons le courant dirigé vers le nord sur la major-partie des sections. Nous n'observons pas de structures particulièrement caractéristiques sur les sections *FRONTALIS-2* et *FRONTALIS-3* alors que les mesures ADCP [Fig 9 et 10] laissent apparaître proche de la côte un large courant (50-100km) dirigé vers le nord sur *FRONTALIS-2* et un fin courant (20km) dirigé vers le sud sur *FRONTALIS-3*.

Nous ne prenons pas en compte les effets du vent [Annexe A] dans notre étude. Ils sont confinés dans les 100 premiers mètres environ. On pourrait en principe calculer la composante d'Ekman à partir des vents moyens. Ici, nous voulons un snapshot du courant. Ce courant découle des conditions grande échelle (règle de l'île). Il est probablement beaucoup plus fort qu'Ekman : la géostrophie est le signal dominant.

3.3 Ajustement géostrophique

La géostrophie est une excellente approximation de la circulation au niveau de l'océan intérieur. Elle représente la moyenne vraie des vitesses entre stations mais se réfère à une vitesse de référence que nous proposons de déterminer à l'aide des L_ADCP (du à la présence d'un courant profond sur la figure 10). Une estimation directe à partir de ces derniers serait moins fiable car ils représentent des données ponctuelles aux stations (et non une moyenne). De plus, leur sensibilité aux signaux de petites échelles leur confère de grandes incertitudes quand au signal de plus grande échelle. Les L_ADCP ne sont pas disponibles pour toutes les sections. Pour se rapprocher de l'hypothèse de vitesse nulle au niveau de référence, nous avons augmenté sa profondeur pour les sections sans L_ADCP. Les ajustements de la géostrophie nous ont permis d'obtenir un signal influencé le moins possible par des signaux ponctuels tout

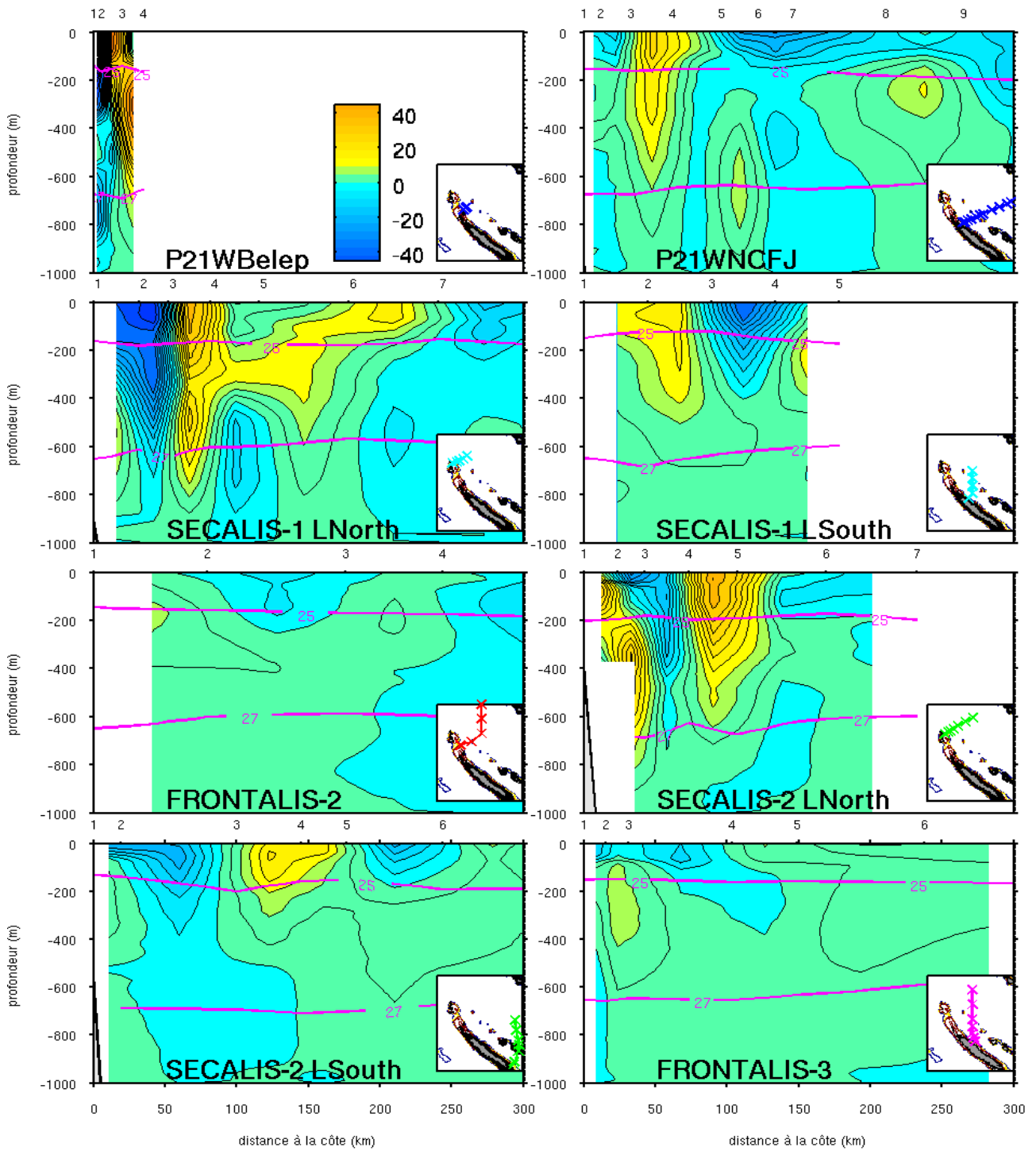


FIG. 11 – Sections de courants géostrophiques relatifs à 1000m (exprimés en cm.s^{-1}). Les courants dirigés vers le nord (le sud) sont représentés par des valeurs positives (négatives) matérialisés en jaune (bleu). Les lignes isopycnales (densité constante) sont en magenta. Les isopycnas 25 et 27 correspondent aux surfaces isopycnales de densité respectives 1025kg.m^{-3} et 1027kg.m^{-3} . Les valeurs des isopycnas sont par la suite exprimées sans unité par simple commodité.

en y injectant le plus d'informations possibles dégagées de mesures directes du courant. Les calculs de transports seront établis à partir de ces dernières estimations.

3.3.1 Ajustement de la géostrophie à l'aide des L_ADCP

Pour chaque paire de stations, nous utilisons les deux profils L_ADCP des stations à partir desquelles est calculée la géostrophie [Fig. 13 et 12]. Les vecteurs, situés au niveau des stations, ont été moyennés puis projetés dans la direction perpendiculaire à la paire de stations pour pouvoir être comparés à la géostrophie qui correspond à la composante perpendiculaire moyenne de la vitesse entre ces stations [Fig 8]. Un même vecteur pourra être projeté différemment selon la paire considérée [Fig 12]. Les valeurs respectives des courants L_ADCP à 1000m déterminent, par moyenne, le décalage éventuel à appliquer au profil géostrophique. Ce décalage est déterminé après examen des profils individuels [Tableau 1].

La majorité des vitesses L_ADCP à 1000m n'est pas significative. Cependant, pour certaines paires proches de la côte des ajustements ont été effectués. Ils s'échelonnent de 3 à 12,5cm/s avec globalement une erreur estimée liée à nos ajustements de l'ordre de $\pm 5\text{cm/s}$.

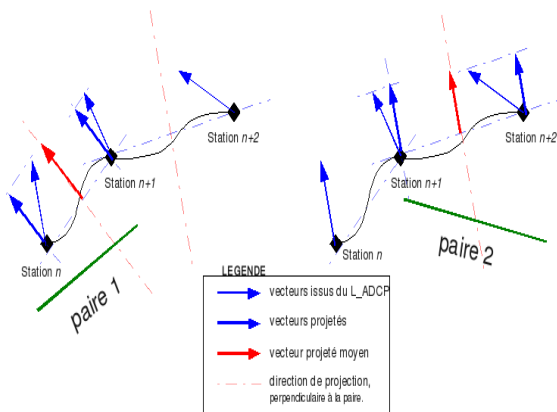


FIG. 12 – Projections des L_ADCP pour l'ajustement de la géostrophie

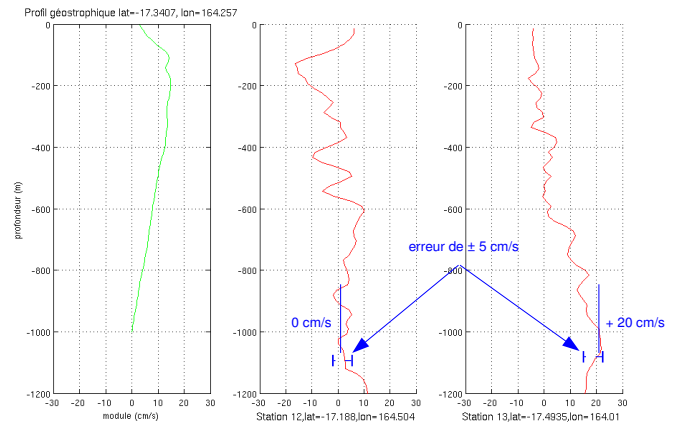


FIG. 13 – Détermination des décalages à appliquer aux profils géostrophiques, ici : $+10 \pm 5\text{cm.s}^{-1}$

3.3.2 Ajustement de la géostrophie par le niveau de référence

Ne disposant pas de mesures L_ADCP au niveau des missions P21 et SECALIS-2 et celles-ci disposant de données CTD en dessous de 1000m, nous utilisons un niveau de référence plus profond, à 2000m, afin de sortir de la zone de fort courant suggérée par les L_ADCP des autres campagnes. Bien qu'il n'existe aucune information sur la circulation profonde de cette région, les masses d'eaux en profondeur sont généralement plus stables.

3.3.3 Ajustement des vitesses côtières à l'aide des données S_ADCP

Les premières stations le long de la côte calédonienne ont souvent des données limitées en profondeur du fait de la topographie. Pour ces stations, le niveau de référence peut être pris à faible profondeur (la profondeur maximale des mesures). Nous comparons les courants S_ADCP pour chaque paire de stations à la géostrophie en les projetant comme sur la figure 12 (droite) mais dans la direction perpendiculaire à la paire de stations et en moyennant les profils horaires autour de ces stations. Les mesures S_ADCP étant limitées à 200-300m de profondeur, la comparaison est effectuée sur une fine couche 100-160m, sous la couche la plus

	STATIONS	DECALAGES		OBSERVATIONS / COMMENTAIRES	VNR (cm/s)
FRONTALIS 3	1-2 (n° 90-89)			pas de décalage; pas de gros signal fournit par le L_ADCP	0 ± 5
	2-4 (n° 89-87)			idem	0 ± 5
	4-5 (n° 87-86)			idem	0 ± 5
	5-6 (n° 86-85)			idem	0 ± 5
	6-7 (n° 85-84)			idem	0 ± 5
FRONTALIS 2	1-2 (n° 68-67)	12	0	station 68=net décalage +12 entre 800-1000m donc VNR= (12+0)/2 = 6±5	+ 6 ± 5
	2-3 (n° 67-66)			pas de décalage; pas de gros signal	0 ± 5
	3-4 (n° 66-65)			pas de décalage; pas de gros signal	0 ± 10
	4-5 (n° 65-64)			pas de décalage net, pas de gros signal	0 ± 10
	5-6 (n° 64-63)	5	-5	décalage de signe opposé entre les deux stations	0 ± 10
SECALIS 1 LNorth	1-2 (n° 17-16)	-10	10	les cisaillements au-dessus de 500m ne ressemblent pas à la géostrophie	0 ± 5
	2-3 (n° 16-15)	10	10	signaux assez clairs. 10 cm/s à 1000m pour les deux stations	+ 10 ± 5
	3-4 (n° 15-14)	10	0	signal net de la station 15 (10cm/s à 1000m) VNR=(10+0)/2=5±5	+ 5 ± 5
	4-5 (n° 14-13)	0	-20	décalage net en station 13 ; vnr=(-20+0)/2= -10 ±5	- 10 ± 5
	5-6 (n° 13-12)	-20	-5	décalage net en station 13: le cisaillement est similaire à la géostrophie: nvr=(-20-5)/2= -12.5 ±5 (vers le sud)	- 12,5 ± 5
	6-7 (n° 12-11)			pas de décalage ; pas de gros signal	0 ± 5
	7-8 (n° 11-10)			pas de décalage ; pas de gros signal	0 ± 5
SEC.1 LSouth	1-3 (n° 1-3)	0	5	signal net de la station 2	+ 5 ± 5
	1-2 (n° 1-2)			pas de décalage ; pas de gros signal	0 ± 5
	2-3 (n° 2-3)			les cisaillements se ressemblent tous (geost 2-3) entre 300 et 1000m;	+ 3 ± 5
	3-4 (n° 3-4)			pas de décalage ; pas de gros signal	0 ± 5

TAB. 1 – Observations, ajustements de la géostrophie par les L_ADCP. Les décalages sont les vitesses données par les L_ADCP à 1000m. Une barre d’erreur est déterminée par la forme du signal.

influencée par les frictions de surface et au-dessus de la portée maximale commune à toutes les sections. Le tableau 2 résume les ajustements effectifs sur les courants des premières stations. Ils ont été réalisés avec précaution car les données S_ADCP sont des données du courant de surface, vitesse élevé, où les erreurs peuvent être importantes.

3.3.4 Géostrophie ajustée

La figure 15 présente l’ensemble des sections de géostrophie ajustée. Sur les sections P21 référencées à 2000m, le courant s’étend plus en profondeur. Son extension horizontale ne semble pas affectée par ces ajustements. Pour les sections de SECALIS-1, les L_ADCP n’ont pas entraîné de changement significatif. Au niveau des sections de SECALIS-2 référencées à 2000m, nous observons un fort courant au moins jusqu’à 1000m. Au niveau de la section de FRONTALIS-2, une structure de courant semble apparaître. En revanche, FRONTALIS-3 ne présente pas de structures particulières même après ajustements.

Une comparaison entre les S_ADCP et la géostrophie ajustée montre globalement sur les courbes filtrées [Fig. 14] un léger rapprochement aux S_ADCP. La différence s’étale de 0 à 20cm/s, avec 5cm/s d’écart en moyenne. Le tableau 3 répertorie les commentaires sur chaque section. Sur la figure 15, nous remarquons la présence systématique du fort courant dirigé vers le nord sauf sur *SECALIS-2 LSouth*, et *FRONTALIS-2 /-3*. D’une largeur environnant les 50km, sa position varie de 20 à 50km de la côte. Les sections *P21WBelep*, *P21WNCFJ*, *SECALIS-1 LNorth* et *SECALIS-2 LSouth* montrent toutes des valeurs négatives à la côte que pourraient être la signature d’un contre-courant collé à la côte.

MISSION	Profondeur station 1	Profondeur station 2	OBSERVATIONS / COMMENTAIRES	ajustement
P21WBelep	1060 m	2072 m	Les stations de P21WBelep sont très rapprochées. L'estimation de la géostrophie passe par un calcul où l'on divise par l'écart entre les stations (voir annexe). Le rapprochement des stations pourrait expliquer ce fort signal. Pour cette raison, nous n'effectuons pas de nouvel ajustement.	X
P21WNCFJ	920 m	2600 m	La moyenne S_ADCP est effectuée dans une zone homogène. Les S_ADCP suggèrent d'ajouter 10cm/s à la paire 1.	+10 cm/s
SECALIS2 LNorth	300 m	2000 m	La moyenne S_ADCP, effectuée dans une zone homogène, suggère de retirer 25 cm/s à la paire 1 masquée à partir de 380m.	-25 cm/s
SECALIS2 LSouth	550 m	2000 m	La moyenne S_ADCP, effectuée dans une zone homogène, suggère de retirer 15 cm/s à la paire 1 masquée à partir de 550m.	- 15 cm/s
FRONTALIS2	>1000 m	>1000 m	Le noyau est visible comme sur les L_ADCP mais le maillage important de cette section ne permet pas d'ajuster la géostrophie. On note la présence d'un gradient près de la station 2.	X
SECALIS1 LNorth	>1000 m	>1000 m	Le maillage de la section étant trop important, la zone moyennée par les S_ADCP n'est pas homogène. Un ajustement supplémentaire ne serait pas cohérent,	X
SECALIS1 LSouth	>1000 m	>1000 m	La moyenne S_ADCP est réalisée dans une zone entourant le jet. Les gradients semblent se compenser. Ainsi la valeur fournie par la moyenne S_ADCP renseigne sur l'allure du jet. Pas de L_ADCP à la station2, les S_ADCP suggèrent d'ajouter 15cm/s ce qui semble cohérent avec les L_ADCP.	+15cm/s
FRONTALIS3	>1000 m	>1000 m	Il n'y a pas eu d'ajustement L_ADCP. On note que la moyenne S_ADCP est réalisée dans une zone homogène. Un ajustement de +5cm/s semble raisonnable et « toléré » par les L_ADCP	+5cm/s

TAB. 2 – Ajustement de la VNR (vitesse au niveau de référence) pour les stations côtières par une comparaison avec les données S_ADCP sur la couche 100-160m.

MISSION	OBSERVATIONS / COMMENTAIRES	GENERAL
P21WBelep	les données-stations s'éloignent des S_ADCP mais une fois filtrée(gras), la géostrophie se rapproche de celle du S_ADCP.	bon
P21WNCFJ	la géostrophie filtrée s'approche du S_ADCP. L'écart moyen était de 10cm/s. L'ajustement nous rapproche approximativement de 5cm/s.	bon
SECALIS-1 INorth	l'écart moyen était de 20cm/s. Une fois ajustée, la géostrophie se rapproche d'environ 5cm/s du S_ADCP.	bon
SECALIS-1 LSouth	l'écart moyen était de 10cm/s. Une fois ajustée, la géostrophie se rapproche d'environ 5cm/s du S_ADCP.	bon
FRONTALIS-2	l'écart moyen était de 2cm/s. Une fois ajustée, la géostrophie s'éloigne d'environ 3cm/s.	moyen
SECALIS-2 LNorth	l'écart moyen était de 5cm/S. Une fois ajustée, la géostrophie s'écarte légèrement mais reste relativement proche du S_ADCP.	moyen
SECALIS-2 LSouth	l'écart moyen était de 5cm/S. Une fois ajustée, la géostrophie se rapproche bien du S_ADCP.	bon
FRONTALIS-3	l'écart moyen était de 4cm/S. Un léger ajustement au niveau d'une station rapproche de quelques cm/s la géostrophie au S_ADCP.	bon

TAB. 3 – Commentaires/observations des diagrammes de comparaison S_ADCP/Géostrophies : écart géostrophie/S_ADCP

3.3.5 Transport géostrophique

Le transport géostrophique total, après ajustement, est calculé à travers chaque paire de stations :

$$T = \int_{-1000}^0 v(z) dz$$

où T est le transport géostrophique total sur la couche 0-1000m exprimé en Sverdrup ($1\text{Sv}=10^6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), $v(z)$ la vitesse à la profondeur z dans la direction perpendiculaire à la paire de station.

Nous avons estimé que les erreurs sur les vitesses réajustées à partir des L_ADCP étaient de l'ordre de 5cm/s. La largeur du courant avoisine dans l'ensemble les 40km et le transport est calculé sur la couche 0-1000m. Une barre d'erreur, seulement liée aux erreurs sur nos ajustements de la vitesse, est évaluée pour chaque estimation à $\pm 2\text{Sv}$.

Le transport est plus important près de la côte [Annexe B]. Nous cherchons à évaluer le transport généré par le courant de sud longeant la Nouvelle-Calédonie. Nous sélectionnons les stations situées dans le courant. Le transport est déterminé à partir de ces seules stations. Le tableau 6 répertorie les stations considérées et les transports correspondants.

Une tendance générale se dégage clairement : le transport généré par ce courant est d'environ $7 \pm 2 \text{ Sv}$ pour quatre sections sur les 7 étudiées (*SECALIS-2 LSouth* n'étant pas située exactement dans la zone d'étude). Cependant, de forts transports sont évalués sur les sections *P21WBelep* et *SECALIS-1 LNorth* estimés à 11,2Sv et 9,6Sv respectivement. *SECALIS-2 LSouth* située plus au sud que les autres sections indique un transport négatif (-6,5Sv) pour le courant côtier sud-est de la Nouvelle-Calédonie (Ganachaud *et al.* 2008). Le transport de *FRONTALIS-3* semble moins important que les autres et est évalué à 2,9Sv. Une moyenne sur l'ensemble des sections fournit un transport moyen de $7 \pm 2\text{Sv}$. Un transport négatif proche de la côte est observé sur trois sections (*SECALIS-1 LNorth*, *SECALIS-2 LNorth* et *P21WBelep*) correspondant au contre-courant identifié précédemment. Les estimations avoisinent les -4Sv mais son extension horizontale ne permet pas une estimation précise car elle demande une résolution fine des sections.

Sections	Paires considérées	Transport courant de sud (Sv)	Transport du contre-courant ve du nord (Sv)
P21WBelep	2 et 3	11,2	-2,5
P21WNCFJ	3	7,2	/
SECALIS-1 LNorth	3	7,8	-3,8
SECALIS-1 LSouth	1 et 2	9,6	/
FRONTALIS-2	1	7,7	/
SECALIS-2 LNorth	2	6,5	-5,6
SECALIS-2 LSouth	1 et 2	-6,6	/
FRONTALIS-3	1 et 2	2,9	/

TAB. 4 – Transports par section du courant de sud et de l'éventuel contre-courant (CC) de nord, exprimés en Sv). L'incertitude est estimée à $\pm 2\text{Sv}$.

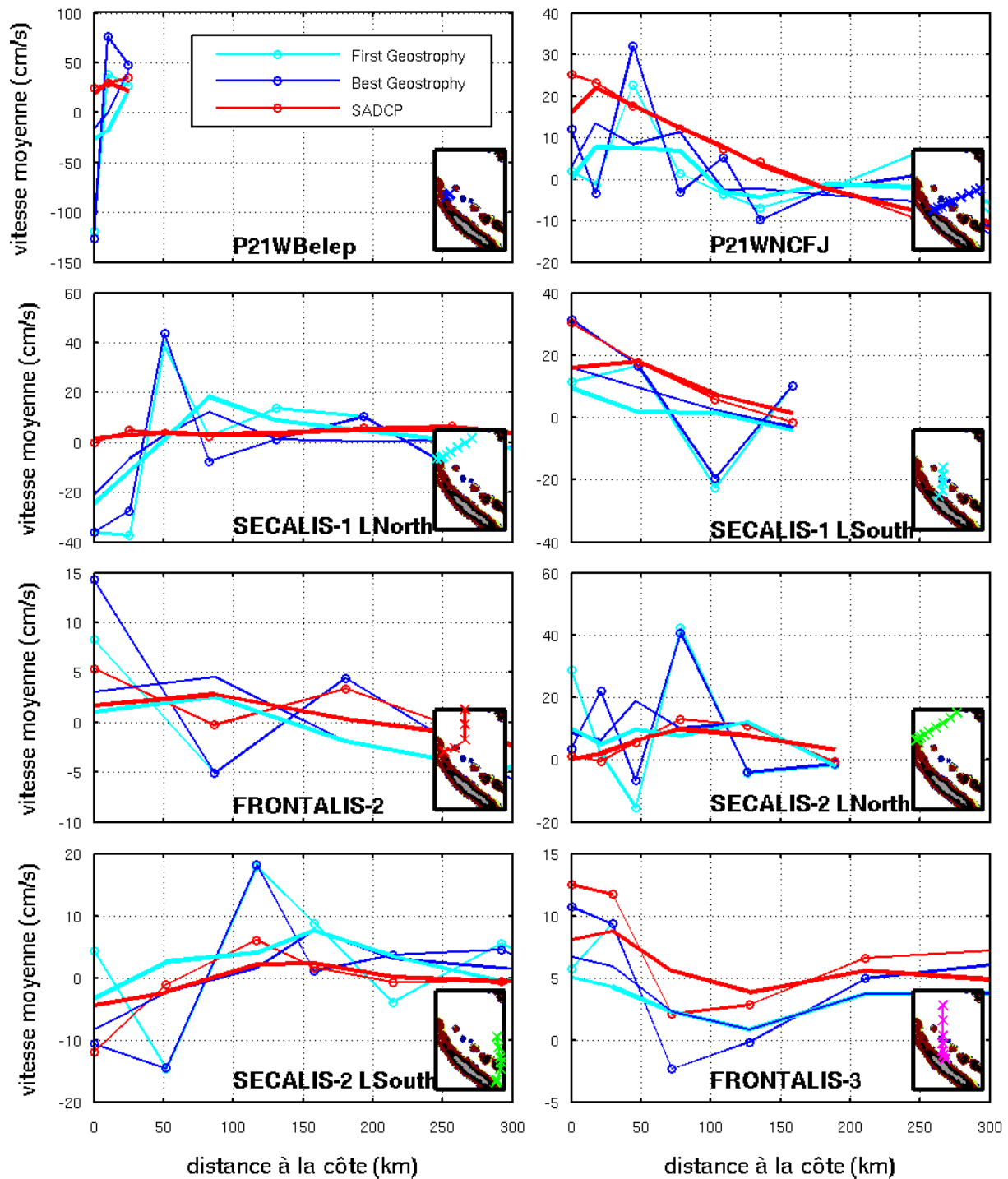


FIG. 14 – Comparaison S-ADCP/Géostrophies sur la couche 100-160m. Les symboles 'o' sont les moyennes au niveau des stations, les traits gras représentent les moyennes effectuées sur trois stations (filtrage des petites échelles). *First Geostrophy*= moyennes à partir des premières données géostrophiques sans ajustements, *Final Geostrophy*= moyennes à partir des données géostrophiques ajustées, *S-ADCP*= moyennes sur les données S-ADCP.

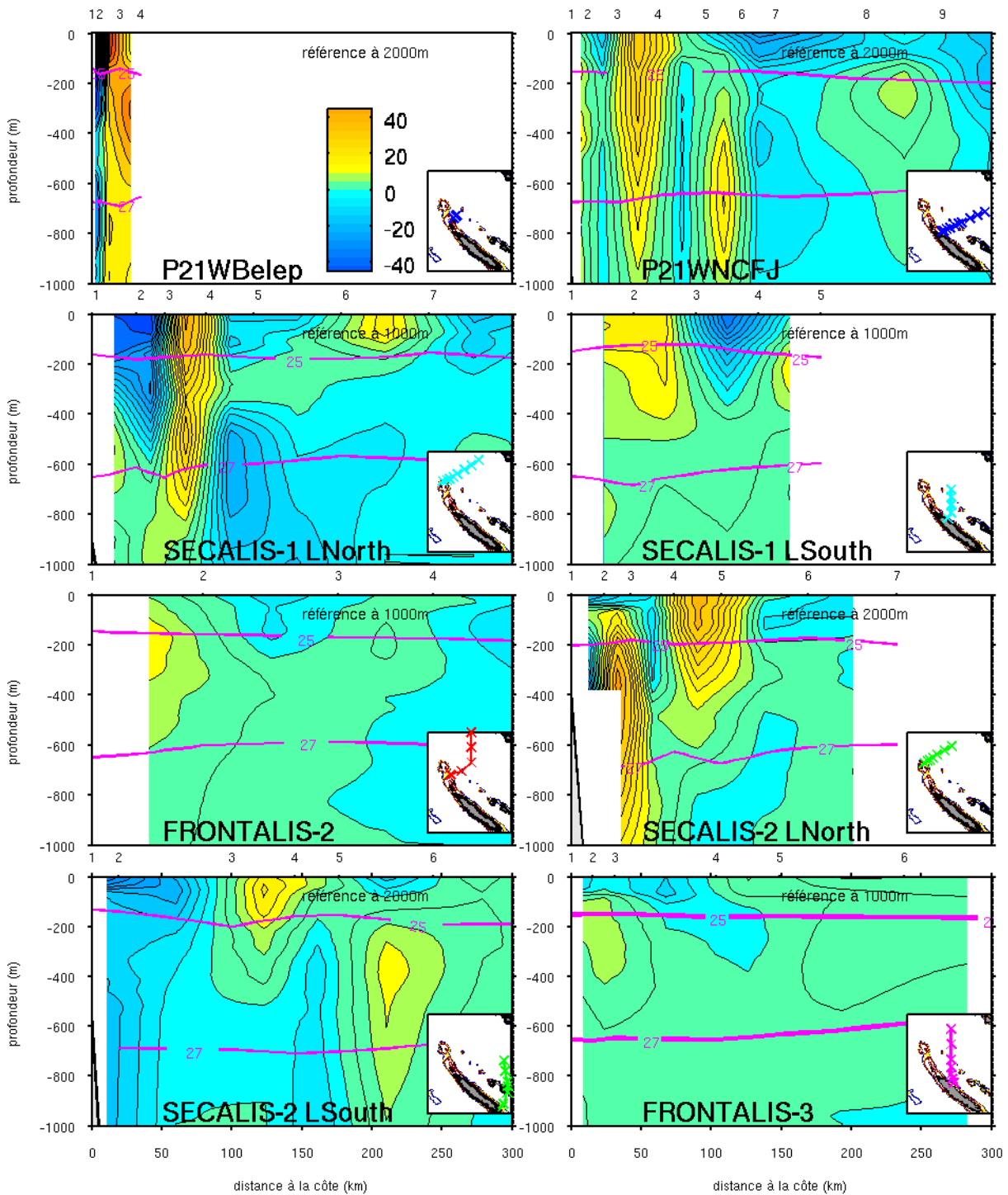


FIG. 15 – Sections géostrophiques après ajustements (vitesses en cm.s^{-1}), *Best Geostrophy*. Les valeurs positives (négatives) correspondent à des courant dirigés vers le nord (sud). Les surfaces isopycnales (densité constante) sont représentées en magenta. Les vitesses sont exprimées en cm.s^{-1}

Après avoir utilisé les mesures de courants, nous allons compléter notre vision en étudiant les caractéristiques des masses d’eaux pour replacer notre étude au sein de la grande échelle.

4 Propriétés des masses d’eaux

En contact avec l’atmosphère, les couches de surface interagissent avec l’air environnant avant de plonger en conservant une signature marquée dans la température, la salinité, et la concentration en oxygène dissous. Les paramètres physico-chimiques, dont les détails de leur mesure sont décrits en annexe C, sont analysés en regard de la circulation océanique.

4.1 Analyse de sections hydrologiques

A partir des données hydrologiques de chaque station, des coupes ou ”sections” ont été établies. Les trajectoires n’étant ni parallèles, ni rectilignes, l’axe des abscisses est de nouveau choisi comme la distance à la côte afin d’utiliser un axe commun de comparaison.

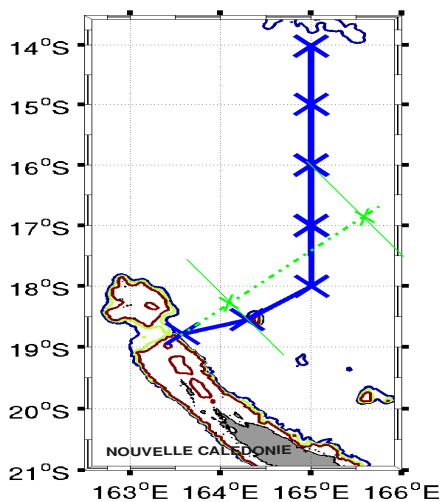


FIG. 16 – Trajectoire du bateau. Les marqueurs 'X' en bleu correspondent à l’emplacement des stations, l’axe ”distance à la côte” est en vert.

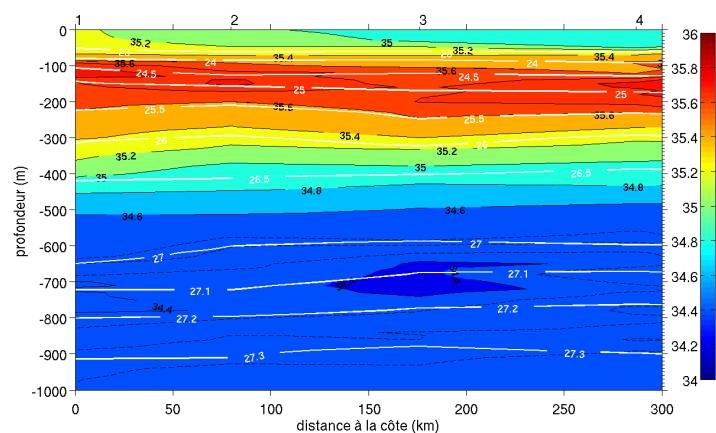


FIG. 17 – Section de salinité de *FRONTALIS-2*. On se concentre sur les structures des isopycnes 25 et 27 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Les surfaces de densité constante (isopycnes) sont représentées par les lignes blanches.

Une forte diminution de la température avec la profondeur correspond à la thermocline dans les premiers 500m sur toutes les sections. La structure thermique est documentée en annexe D. Séparant les eaux superficielles des eaux profondes, la thermocline est largement influencée par les conditions atmosphériques à plus ou moins grande échelle. Sous la thermocline, la température chute très rapidement, (-10°C en 200m). Comme le montre l’exemple de la section de salinité de *FRONTALIS-2* sur la figure 17, la salinité présente deux structures clairement visibles : un maximum ($> 35,8$) au niveau de la couche 100-200m autour de l’isopycne 25 et un minimum ($< 34,4$) au niveau des isopycnes 27-27,1. Ces structures sont également visibles sur les autres sections, documentées en annexe E. L’oxygène, figure 18, présente également deux extréma sur les mêmes isopycnes (minimum à 25 : $< 160\mu\text{mol/l}$ et un maximum à 27 : $> 195\mu\text{mol/l}$).

Selon la définition de Qu et Lindstrom (2000), le maximum de salinité est présent sur toutes les sections autour de 200m et compris entre 35,65 et 35,7. Un minimum d’oxygène ($< 160\mu\text{mol/l}$) est observé entre 100 et 400m. Sa position par rapport à la côte diffère selon

les sections allant de 100 à 250km. Cette masse d'eau correspond à la *South Pacific Tropical Water (SPTW)*. Le minimum entre 600 et 800m de profondeur (isopycne 27,1) à une distance de 100-200km de la côte est identifiée à l'*Antarctic Intermediate Water (AAIW)*.

South Pacific Tropical Water (SPTW) : Le fort maximum de salinité près de l'isopycne 25 caractérise la SPTW. La SPTW, également appelée *Subtropical Lower Water* par Wyrтки (1962b), est une masse d'eau présente à travers toute la région du Pacifique sud-ouest caractérisée par un cœur de forte salinité situé entre 0 et 200m. Nous en observons la composante Nord (au nord de 25°S) qui est définie par une densité comprise entre 24,4 et 24,8, une température entre 21 et 25°C et une salinité de 35,7. Cette composante chaude et salée est formée au centre de la gyre du Pacifique sud près de la Polynésie Française, région à faible bilan hydrique (où l'évaporation domine). Cette eau de surface chaude et très salée (> 36, 8°C) se déplace vers l'ouest par la branche nord de la gyre subtropicale (Qu et Lindstrom 2002). Les travaux de Donguy (1994) et Weare *et al.* (1981) montrent que ce maximum de salinité en subsurface résulte de l'interaction de cette eau de surface très salée avec une eau de salinité plus faible créée par un excès de précipitation dans l'ouest du Pacifique tropical. De part le mélange et la consommation d'oxygène liée à la reminéralisation, la salinité et l'oxygène décroissent de l'Est vers l'ouest de 36,5 à 35,8 et de 224 μ mol/l à 168 μ mol/l respectivement.

Antarctic Intermediate Water (AAIW) : La plus importante composante des eaux intermédiaires du Pacifique sud-ouest est l'AAIW. Caractérisée par un important minimum de salinité et une forte concentration en oxygène entre 700 et 1000m de profondeur, ces eaux résultent en partie de la convergence des eaux formées dans l'océan Antarctique avec des eaux du sud-est du Pacifique (Reid 1997; Sokolov et Rintoul 2000; Qu et Lindstrom 2002). Ces couches sont caractérisées par un minimum de salinité autour de 34,4 sur la surface isopycnale 27,2 selon la définition standard de l'AAIW dans la région du Pacific sud-ouest (Qu et Lindstrom 2002). Dans cette région, les eaux alimentant le jet Nord Calédonien (NCJ) proviennent de la convergence et du mélange des eaux de la branche nord de la gyre subtropicale (le *North Vanuatu Jet, NVJ*) avec des eaux du sud-est de la région calédonienne (le *South Fiji Jet, SFJ*) [Fig. 1] (Maes *et al.* 2007). Au niveau de l'isopycne 27, la concentration d'oxygène présente un maximum dont la structure horizontale varie à nouveau. Elle diminue de la côte au large, 180 à 150 μ mol/l. Une cellule de faible salinité est également visible [Fig 17].

4.2 Diagrammes Température-Salinité (TS) / Oxygène-Salinité (O₂S)

Pour effectuer des comparaisons entre les différentes campagnes en s'affranchissant d'une partie des déplacements transitoires des isopycnes, nous utilisons des diagrammes Température-Salinité (TS) et Oxygène-Salinité (O₂S).

Sur la figure 19, toutes les sections ont été représentées avec une couleur spécifique, hormis *SECALIS-2 LSouth* qui est beaucoup plus au sud que les autres sections. Le diagramme TS met clairement en évidence une signature des masses d'eaux commune avec un minimum de température/salinité près de l'isopycne 27 et un maximum au niveau de l'isopycne 25. Pour chaque station, nous avons caractérisé ce minimum de la façon suivante : sur toutes les sections [Fig. 6], l'analyse du minimum donne globalement une densité entre 27,10 et 27,15, une température entre 5,6 et 5,7 °C et une salinité entre 34,39 et 34,43. Ces caractéristiques correspondent à la définition standard de l'AAIW utilisée par Sokolov et Rintoul (2000).

Pour caractériser les variations horizontales de ce minimum, nous avons dissocié les stations près de la côte de celles plus éloignées en fonction de leur salinité [Annexe F]. Les minima de

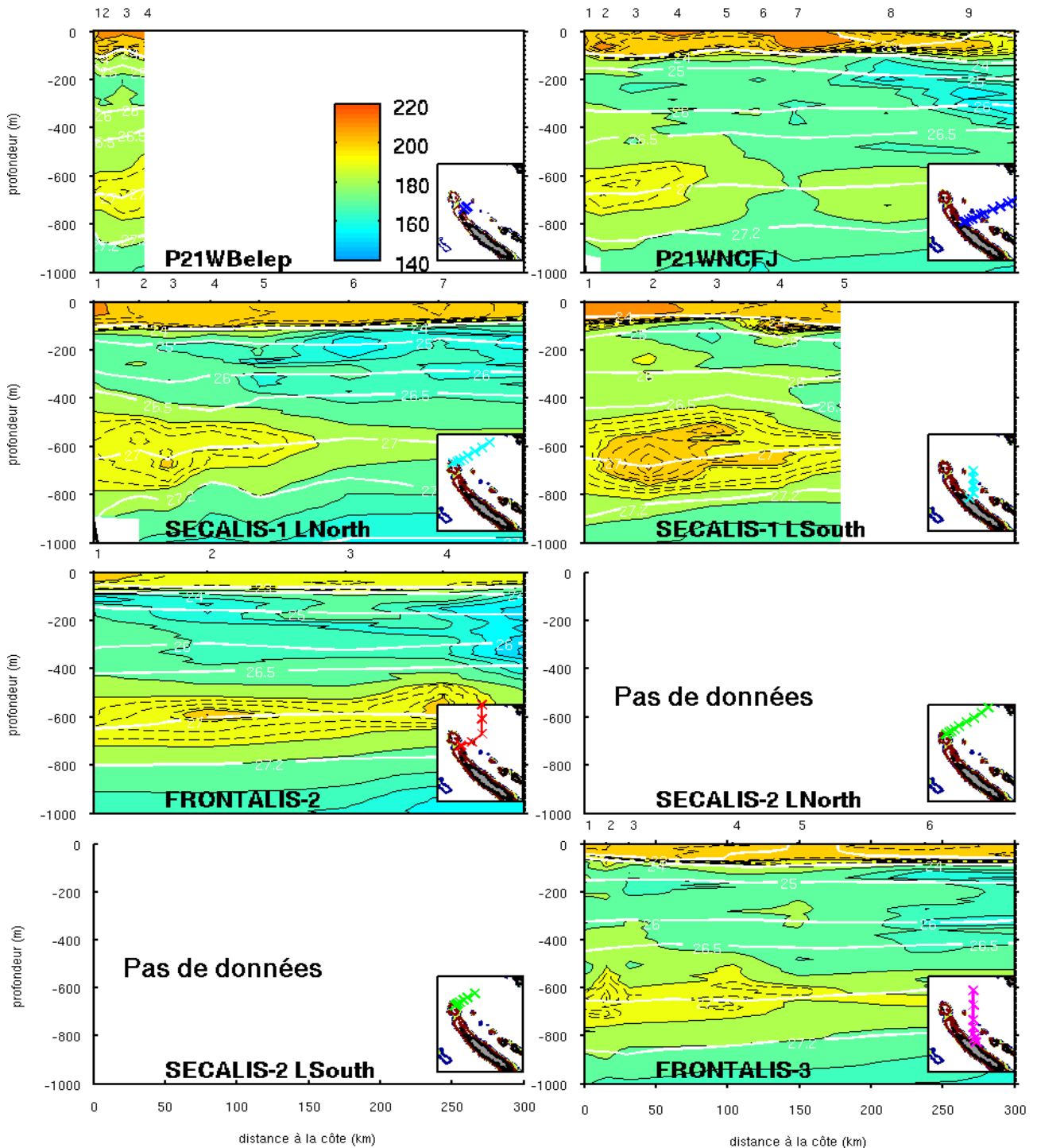


FIG. 18 – Sections d'oxygène. Les concentrations sont exprimées en $\mu\text{mol.l}^{-1}$. Les fortes concentrations (faibles) sont en jaune (bleu) comme illustré sur la section *SECALIS-1 LNorth*

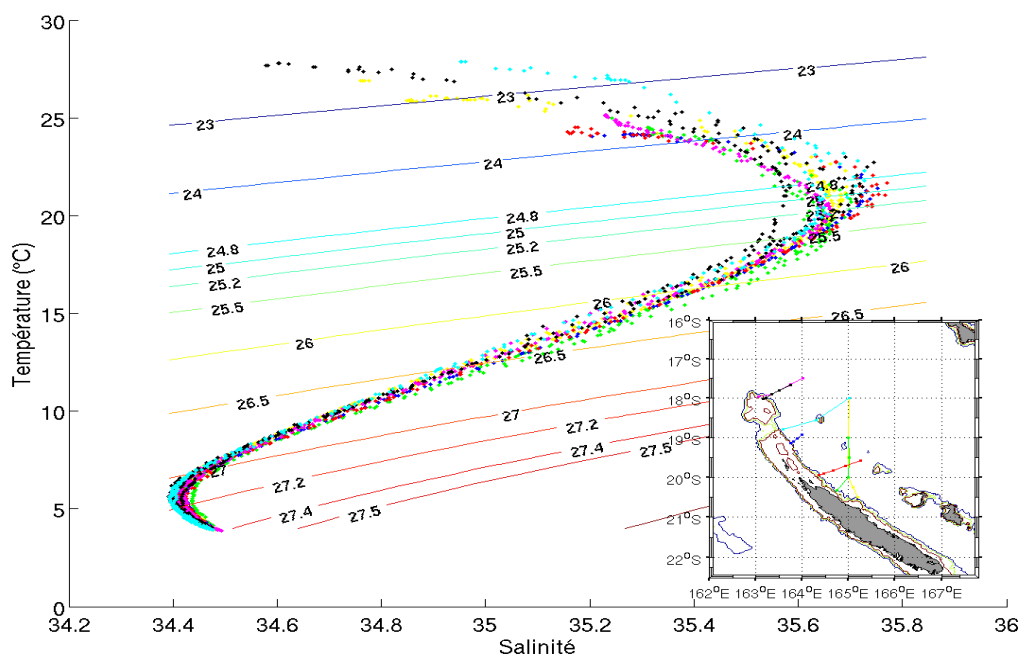


FIG. 19 – Diagramme Température-Salinité (TS) de l'ensemble des sections. Les points d'une même couleur appartiennent à la même section. Les points représentent les échantillons déterminés par leur salinité et leur température potentielle. Les courbes inclinées correspondent aux lignes isopycnas.

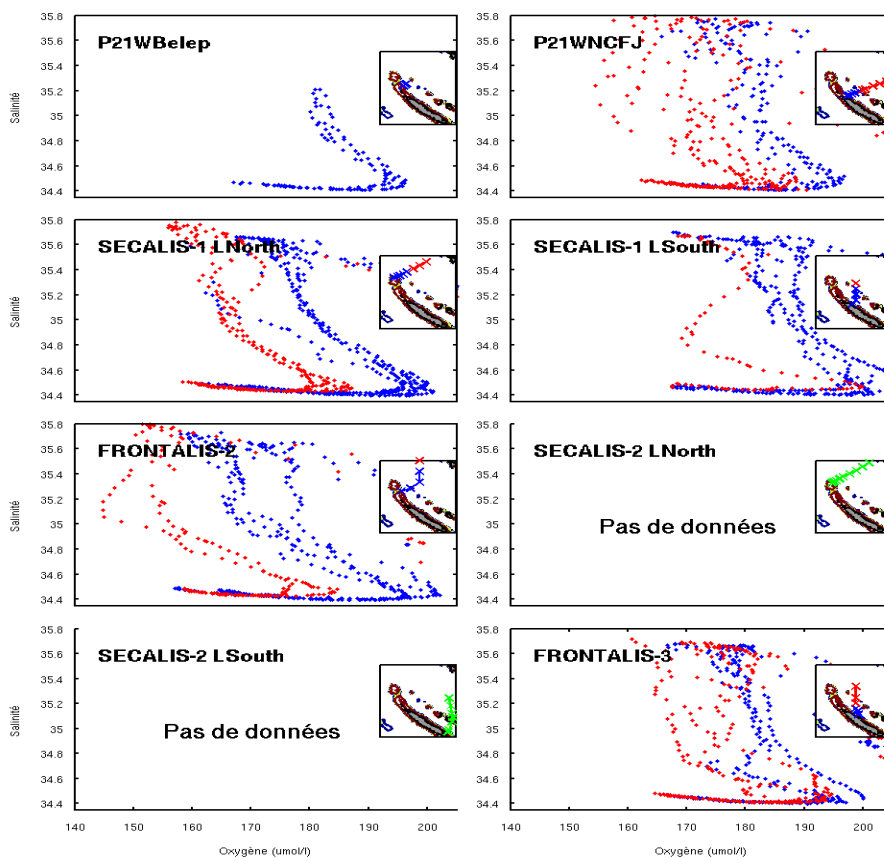


FIG. 20 – Diagrammes Oxygène-Salinité (O_2S). Les points bleus représentent les stations près de la côte tandis que les rouges, celles plus éloignées, repérables sur les mini-cartes.

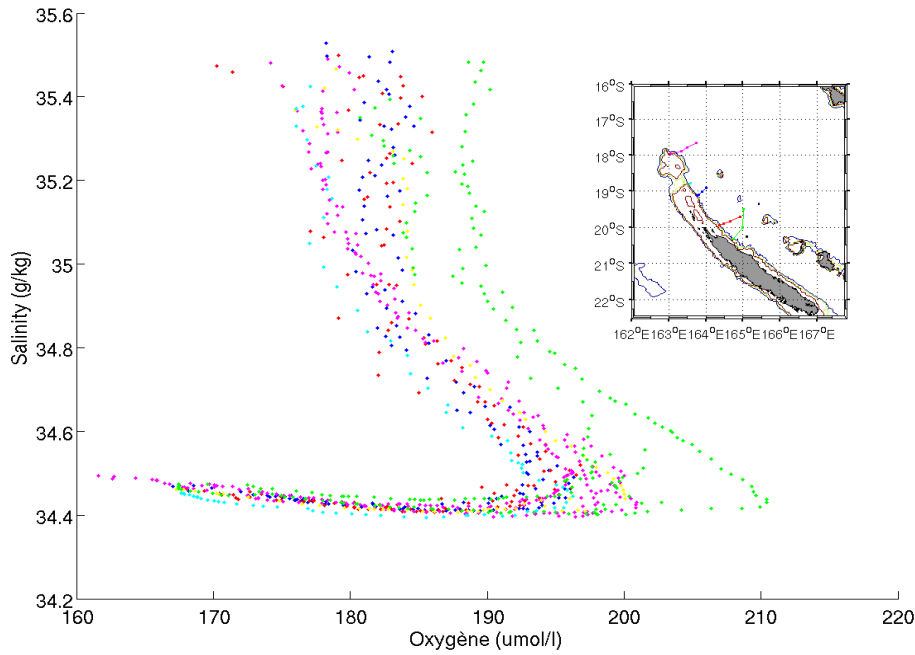


FIG. 21 – Diagramme Oxygène-Salinité (O_2S). Les stations appartenant à la même section sont représentées par la même couleur. Les points verts correspondent aux stations de la section *SECALIS-1 LSouth*.

salinité près de la côte sont systématiquement plus forts. La différence de salinité côte-large se situe autour des 0,04-0,05. Cette tendance systématique corrobore l'existence d'un noyau de plus faible salinité situé près de la côte qui avoisine 34,4. La distinction entre les stations bleues et rouges s'effectue à distance relativement stable, entre 200 et 300km de la côte.

Le cœur de l'AAIW (maximum d'oxygène, minimum de salinité) est aussi caractérisé dans un diagramme O_2S par le "coude" dans la partie inférieure droite [Fig. 20]. Pour des stations proches de la côte, la concentration en oxygène est plus élevée d'environ $20\mu\text{mol/l}$ [Fig. 20]. La section *P21WBelep* est une section regroupant 4 stations toutes très proches de la côte qui fournissent clairement une signature de masses d'eaux similaire. Les sections *SECALIS-1 LNorth*, *SECALIS-1 LSouth*, *FRONTALIS-2*, *P21WNCFJ* et *FRONTALIS-3* présentent deux extrema, avec une transition graduelle pour *P21WNCFJ* et *FRONTALIS-3*, et abrupte pour les autres.

Nous avons recherché des stations dont le diagramme O_2S était similaire à celui de la section *P21WBelep*. Cette mission a été prise comme référence pour sa position géographique (au centre de la zone d'étude) et pour sa signature similaire à de nombreuses stations. Nous avons trouvé que sur l'ensemble des sections quelques stations fournissaient en effet des caractéristiques sur les masses d'eau très proches de *P21WBelep*. En sélectionnant les stations dont la signature nous semblait similaire, il apparaît une zone proche de la côte pouvant marquer la présence du courant recherché caractérisé par leurs valeurs de salinité et d'oxygène similaires entre 0 et 1000m [Fig. 21].

Les données issues de *SECALIS-1 LSouth* présentent un décalage de $+10\mu\text{mol/l}$ [Fig. 21] en comparaison avec les autres : la structure O_2S reste identique, seule l'intensité semble anormalement forte. Plusieurs raisons sont susceptibles d'expliquer cette différence : la donnée

peut être erronée liée à une erreur lors de l'étalonnage de l'appareil ou du traitement des données, un décalage lié à la position géographique ou encore l'existence d'une variabilité des courants. Une vérification de l'étalonnage et des données sur plusieurs stations laisse à penser qu'elles ne comportent pas d'erreur incohérente. Les relevés de *SECALIS-1 LSouth* étant effectués dans la même région que *FRONTALIS-3* et *P21WNCFJ*, l'hypothèse de la position géographique peut être rejetée. Nous avons examiné les données des campagnes *SECALIS-3* et *SECALIS-4* (Gourdeau *et al.* 2006, 2008] sur le même diagramme O₂S, celles-ci étant en amont et en aval de notre zone d'étude. Ces données sont relativement élevées tout comme *SECALIS-1 LSouth*. Ceci nous suggèrent l'existence d'une variabilité au sein de ce courant, source de perspectives intéressantes. L'utilisation de données de la climatologie CARS (Ridgway et Dunn 2003) regroupant toutes les données existantes du Pacifique sud-ouest nous a montré que la zone au nord de la Nouvelle-Calédonie possédait une concentration en oxygène plus faible que l'ensemble des sections étudiées. La zone à l'Est des îles Loyauté indique une concentration plus importante que l'ensemble des sections. Cela permet de localiser l'amont (au sud) et l'aval (au nord) du courant étudié.

4.3 Observations sur une isopycne

Une analyse le long des lignes isopycnes permet de révéler des structures spatiales plus précises. Pour chacun des paramètres, nous avons tracé la courbe de valeur au cœur de l'AAIW ($\sigma=27$). Nous avons choisi cette isopycne pour ses fortes concentrations en oxygène qui constituent un excellent traceur. Pour limiter le bruit, nous effectuons une moyenne entre $\sigma=27$ et $\sigma=27,16$ [Fig. 22]. Nous avons également travaillé au niveau de la SPTW ($\sigma=25$) fournit en annexe G.

La salinité et la température subissent les mêmes variations. Au niveau des isopycnes, nous observons des courbes similaires. Nous ne montrons que les courbes de salinité.

4.3.1 Variabilité spatiale

Pour s'affranchir de l'effet de la variabilité temporelle, nous étudions en premier lieu les sections issues de la même mission. Trois couples de sections sont à notre disposition : *P21WBelep/P21WNCFJ*, *SECALIS-1 LNorth/SECALIS-1 LSouth* et *SECALIS-2 LNorth/SECALIS-2 LSouth*.

Campagne P21 *P21WBelep/P21WNCFJ* (juin 1994) : Les lignes vertes [Fig. 22] respectivement continue et discontinue de la salinité possèdent le même "gradient négatif" (diminution de la salinité en s'éloignant de la côte) qui s'inverse aux alentours de 34,42 à une distance avoisinant les 40km. Un second gradient cette fois positif s'observe clairement aux alentours de 50-100km. L'oxygène présente un gradient positif qui s'inverse plus rapidement pour *P21WNCFJ* mais globalement un gradient négatif important est visible entre 50-100km. Les données de *P21WBelep* étant limitées à 50km de la côte, l'analyse reste limitée.

Campagne SECALIS-1 *SECALIS-1 LNorth/SECALIS-1 LSouth* (juillet 2003) : Les lignes bleues respectivement continue et discontinue ont des allures très similaires sur les deux graphiques. Comme pour la campagne P21, de forts gradients négatifs puis positifs existent sur la courbe de salinité. Le minimum est positionné au niveau de 34,41. La structure en "U" s'étend plus loin que pour P21, jusqu'à 150-200km. Seul un décalage en salinité près de la côte existe entre les deux sections, respectivement de 0.1°C et de 0.02. Les courbes d'oxygène,

de même allure, sont similaires sur les 50 premiers kilomètres puis “s'éloignent” lorsque l'on s'éloigne de la côte avec une valeur de $+10\mu\text{mol/l}$ pour *SECALIS-1 LSouth*.

Campagne SECALIS-2 *SECALIS-2 LNorth/SECALIS-2 LSouth* (décembre 2004) : La section *SECALIS-2 LNorth*, est matérialisée par la ligne discontinue rouge. La section *SECALIS-2 LSouth*, ligne rouge continue, est positionnée au sud de la bifurcation et correspond à des masses d'eaux allant plutôt vers le sud. Néanmoins, nous remarquons un maximum de salinité aux alentours de 100km pour les deux sections et un minimum aux alentours de 150km. Il n'y a pas de données d'oxygène.

4.3.2 Variabilité temporelle

Nous allons maintenant observer les données co-localisées afin d'évaluer la part des variabilités spatiale et temporelle sur le signal mesuré. Nous utilisons à nouveau la figure 22.

Région Nord *SECALIS-1 LNorth / SECALIS-2 LNorth* ont un positionnement identique. Elles possèdent sur les 150 premiers kilomètres de forts gradients de salinité et de température. La forme paraît analogue mise à part un déplacement de *SECALIS-2 LNorth*, de 100km vers le large. La comparaison avec la géostrophie ne permet pas d'expliquer ce décalage mais le L_ADCP de *SECALIS-1 LNorth* [Fig 10] montre que le courant maximal est à la même distance que les minima de salinité et de température. *SECALIS-2 LNorth* semble montrer deux importants minima de salinité et de température correspondant à deux cœurs distincts. Or, la géostrophie présente deux cellules susceptibles d'expliquer de telles variations.

Région entre 20-21°S *P21WNCFJ / FRONTALIS-3 / SECALIS-1 LSouth* Ces trois stations sont situées dans une même région. Les variations de salinité et de température de *P21WNCFJ* et de *FRONTALIS-3* ne dégagent pas de forts signaux tels ceux observés dans la partie Nord. *SECALIS-1 LSouth* se différencie par sa structure bien plus marquée qui avec un signal plus fort, correspond exactement à celle de *SECALIS-1 LNorth*. Le diagramme $\text{O}_2\text{-S}$ [Fig 21] met en évidence le fort signal de *SECALIS-1 LSouth*.

Même si de nombreuses ressemblances existent entre des sections issues de missions différentes, il apparaît clairement que les sections issues des mêmes missions sont les plus similaires. Ceci permet de mettre en évidence l'effet de la variabilité temporelle sur les caractéristiques des masses d'eaux. Les extrema observés sont biaisés par l'échantillonnage spatial, c'est à dire que le vrai extrémum peut être situé entre deux stations. La valeur observée sera donc moins forte que la valeur réelle. Nous pouvons tout de même quantifier la variabilité issue de notre jeu de données. Le minimum de salinité varie entre 34,40 et 34,42, le maximum d'oxygène varie entre 190 et $200\mu\text{mol/l}$ et le minimum de température se situe entre 5,87 et 6,05°C. L'extension du cœur du courant semble varier suivant les missions. Pour P21 et *SECALIS-1*, le cœur semble s'étendre jusqu'à 150-200km. Pour les *SECALIS-2*, il semble que la section débute sur un cœur qui finit à 100km de la côte. Un second semble être localisé entre 100 et 250km.

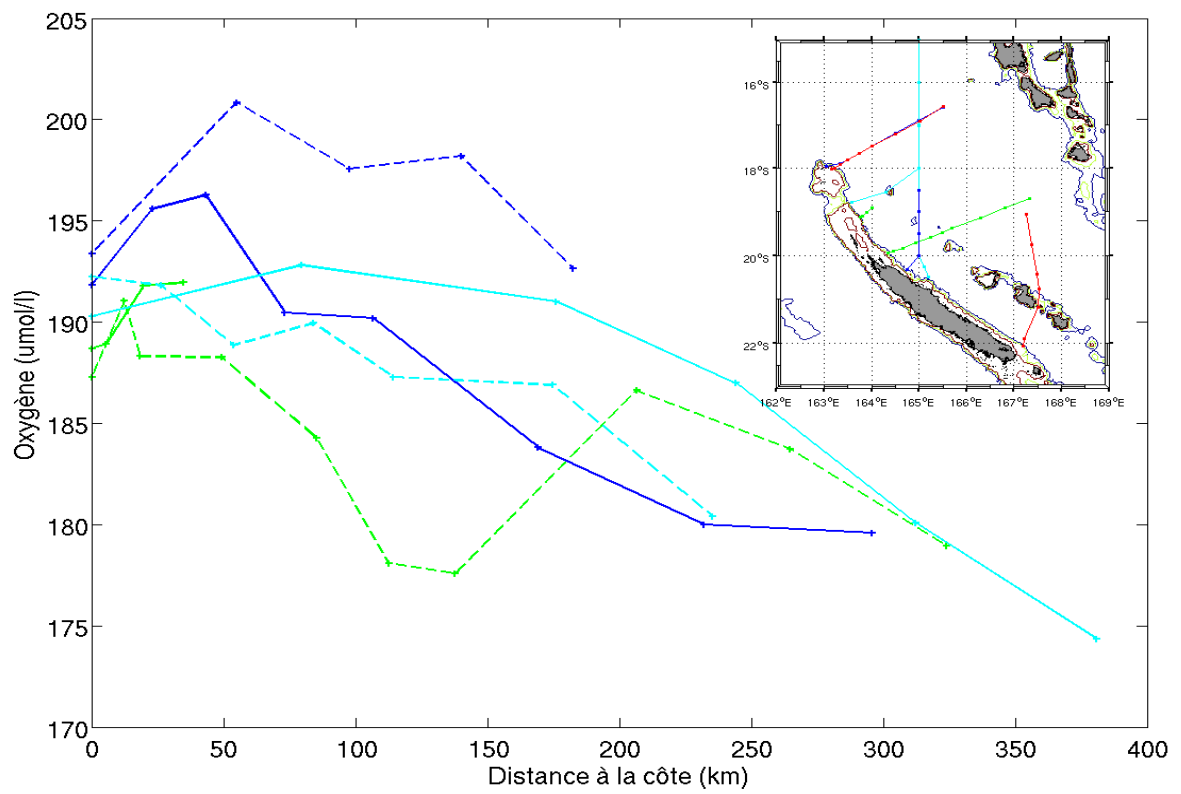
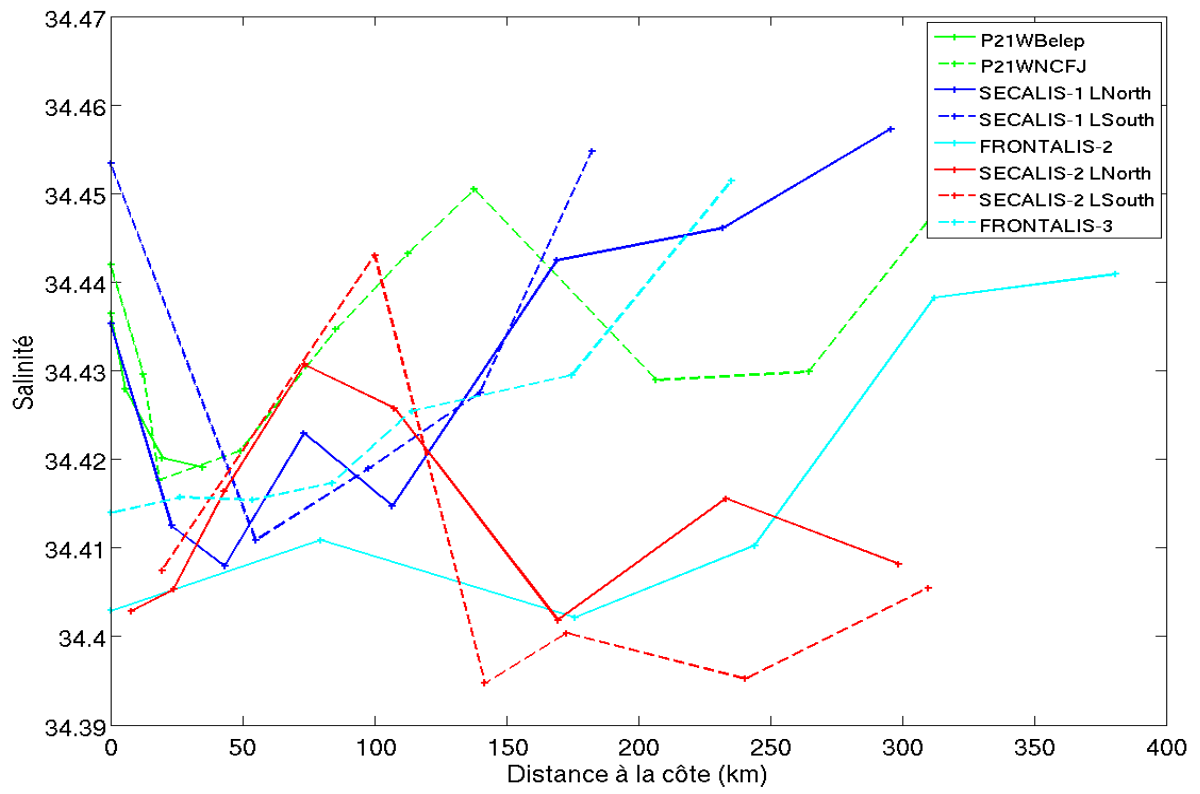


FIG. 22 – Courbes de salinité (en haut) et d'oxygène (en bas) le long de la gamme d'isopycne 27-27,16.

5 Discussion

Les différents outils utilisés ont permis l'étude de la circulation et des caractéristiques des masses d'eaux le long de la côte Est calédonienne. Nous nous sommes intéressés à la circulation de l'océan en utilisant des données *in situ* issues de campagnes océanographiques étudiant le Pacifique sud-ouest. Pour comparer les différentes sections dont les trajectoires ne sont ni rectilignes ni perpendiculaires à la côte, nous avons utilisé une abscisse commune en distance à la côte. Nous avons d'abord calculé les vitesses géostrophiques. Cette estimation de la vitesse nécessitant différents ajustements, les données ADCP et les données profondes ont servi à affiner nos estimations. L'étude des masses d'eaux et notamment au niveau de la SPTW et de l'AAIW ont aussi permis de caractériser leur variabilité temporelle.

Influence de l'ajustement Les vitesses ont d'abord été calculées en prenant le niveau de référence à 1000m, profondeur commune à toutes les sections. Le jet est déjà présent mais en raison de sections L_ADCP mettant en évidence un courant s'étendant au moins jusqu'à 1000m, nous avons ajusté nos estimations. Un premier ajustement a été effectué au niveau des sections possédant des données L_ADCP. Ces estimations ont été effectuées seulement lorsque la vitesse à 1000m était évidente. Un ordre de grandeur de l'erreur liée à nos choix a été déterminé à $\pm 5\text{cm/s}$. Toutes les sections ne disposant pas de données L_ADCP possédaient en revanche des données profondes. SECALIS-2 et P21 ont alors été référencées à 2000m. Ce choix du changement du niveau de référence intervient suite aux récentes études de la région montrant un cisaillement important jusqu'à une profondeur de 1500m. Aucune section ne disposait à la fois des L_ADCP et de données jusqu'à 2000m. Une section dans la région disposant de ces deux types de données aurait fourni de nombreuses informations sur la méthode (prévu lors projet Pandora). Cependant, même s'il n'a pas été possible de comparer ces ajustements, les structures semblent être cohérentes et fournissent des résultats similaires. Un courant systématique dirigé vers le nord a pu être mis en évidence près de la côte ainsi qu'une structure plus fine dirigée vers le sud collée à la côte. Cette dernière n'a pu être observée sur toutes les sections. Différentes raisons sont susceptibles d'expliquer cet état de fait. En effet, la structure très mince (10-20km) peut avoir été masquée par la résolution trop faible des sections où les mesures intégreraient les deux courants simultanément. Des sections comme *FRONTALIS-2* et *FRONTALIS-3* peuvent avoir lissé des structures plus fines. De faibles valeurs en lien avec une variabilité temporelle pourrait être responsables de ces observations.

Transports géostrophiques Les transports géostrophiques du courant dirigé vers le nord ont été estimés à partir des stations situées dans le courant. L'incertitude moyenne de 5cm/s donnée par les L_ADCP correspond à une incertitude de $\pm 2\text{Sv}$. Ces estimations sont majoritairement comprises entre 6,5 et 11,2Sv. *FRONTALIS-3* constitue une exception avec un transport de 2,9Sv. Une résolution trop faible entraînant une intégration à la fois du courant et du contre-courant serait susceptible d'expliquer qu'il n'y ait pas de structure apparente sur cette section. La seconde hypothèse est qu'une variabilité soit responsable de ce faible transport. Cependant, sur les 6 transports compris entre 6,5 et 11,2Sv, 4 d'entre eux avoisinent les 7Sv (en moyenne 7,5Sv avec un écart-type de 0,5). La circulation du Pacifique sud-ouest a été décrite par l'intermédiaire de modèles, de climatologies et de données *in situ*. Le flux passant entre le Vanuatu et la Nouvelle-Calédonie observé durant la mission SECALIS-2 par Ganachaud *et al.* (2008) a été estimé pour la couche 0-2000m à $20 \pm 4\text{Sv}$ par un modèle inverse : 14Sv longe la côte nord-est calédonienne pour venir alimenter le *Nord Caledonian Jet*. Le transport de ce courant calculé sur la couche 0-1000m représente donc la moitié de ce transport. Un calcul par la règle de l'île révèle que le courant transporterait 10 à 12Sv. Ce

courant de quelques dizaines de kilomètres représente ainsi une composante importante du flux alimentant le NCJ.

Positionnement du courant A l'aide des analyses de la circulation et des observations des extrema au niveau des isopycnes, une fluctuation de la position du courant par rapport à la côte est apparente. Par une analyse au niveau des deux masses d'eaux, nous avons pu établir une gamme de variation des extrema. La géostrophie et les masses d'eaux concordent. Le centre du courant est situé entre 10 et 100km de la côte. Un contre-courant, étroit et dirigé vers le sud, a pu être identifié sur 4 sections : *P21WBelep*, *SECALIS-1 LNorth* et *SECALIS-2 LNorth* également sur *FRONTALIS-3* avec les LADCP. Bryden *et al.* (2007) ont récemment observé une variabilité du Courant des Aiguilles longeant la côte sud-est de l'Afrique. Ce dernier semble se déplacer par rapport à la côte et laisser place, une fois éloigné de la côte, à un contre-courant. Cette anticorrélation apparente de l'intensité entre le courant et le contre courant semble se retrouver dans notre étude. Sokolov et Rintoul (2000), au niveau de la mer de Corail, avaient également noté la présence d'un contre-courant très étroit longeant la Papouasie Nouvelle-Guinée. Ce point devra être confirmé par de futures études *in situ* avec un échantillonnage adapté.

Bifurcation Une analyse du transport issue de modèles numériques (Webb 2000, Couvelard *et al.* 2008) et de données *in situ* décrit la région située près de 20°-21°S comme une zone de bifurcation. Le SEC, après avoir bifurqué une première fois contre les îles Fidji, à 180°E, rencontre la Nouvelle-Calédonie et les îles Loyauté [Fig 1]. Les sections situées dans cette zone, *P21WNCFJ*, *SECALIS-1 LSouth* et *FRONTALIS-3* possèdent des particularités qui pourraient s'expliquer par cette configuration. A l'aide de diagrammes O₂S, nous avons distingué les signatures selon les stations. Pour ces sections, les signatures marquent une transition entre les différentes masses d'eaux beaucoup moins abrupte [Fig 20]. Cette particularité peut s'expliquer par une zone de mélange importante et de la recirculation.

Variabilité La section *SECALIS-1 LSouth* possède des concentrations en oxygène, et un transport géostrophique important. Son intensité, son extension horizontale et verticale en fait le signal le plus fort de tous. L'analyse des sections hydrologiques et notamment de l'oxygène montre un cœur à 210μmol/l alors que les autres se situent entre 190 et 200μmol/l. A l'aide des missions SECALIS-3 et SECALIS-4, nous avons sélectionné les données situées dans une région très proche de la zone d'étude. Elles ont montré de fortes valeurs et peuvent confirmer la variabilité temporelle soulevée par la section *SECALIS-1 LSouth*. La section *SECALIS-1 LNorth*, appartenant à la même mission, ne se différencie pas des autres au niveau l'intensité mais au niveau du fort déplacement vers le large laissant place à un contre-courant dirigé vers le sud. Cette observation montre l'existence d'une variabilité dans l'intensité du courant mais ces seules données ne permettent pas, pour l'instant, une explication de cette variabilité. L'analyse de la salinité sur l'isopycne 25 au niveau de la SPTW révèle une intensité spécifique pour la mission P21. Celle-ci s'étant déroulée 10 ans avant les autres peut marquer une variabilité d'échelle décennale (Kessler 1989) et fera l'objet d'études plus approfondies.

6 Conclusion / Perspectives

L'étude du Pacifique sud-ouest est un élément important dans la compréhension de la variabilité climatique décennale et interannuelle à l'échelle globale. Les masses d'eaux de cette région transportées par les courants se dirigent vers l'équateur et influenceraient par leurs caractéristiques le phénomène ENSO. Par l'étude des variations des courants et des caractéristiques de l'AAIW et de la SPTW, nous avons caractérisé un courant de petite échelle proche de la côte est de la Nouvelle-Calédonie.

L'ensemble des sections que nous avons considérées fournit une panoplie de prises instantanées de la circulation, du transport et des caractéristiques des masses d'eaux au niveau de la côte Est calédonienne. Une analyse de la circulation permet l'identification d'un courant allant alimenter le *North Caledonian Jet*. 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 a été estimé à 7Sv et varie entre 6,5 et 11,2Sv avec une incertitude d'environ ± 2 Sv liée aux erreurs sur la vitesse géostrophique sur 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 NCJ (Ganachaud *et al.* 2008).

En nous intéressant aux extrema des paramètres physico-chimiques à l'aide de sections hydrologiques, nous avons étudié deux des principales masses d'eaux du Pacifique sud ouest : la *South Pacific Tropical Water* et l'*Antarctic Intermediate Water*. Ces deux masses d'eaux connues pour leur effet sur la redistribution de chaleur (AAIW) et sur la variabilité des caractéristiques des eaux de thermocline (SPTW) ont pu être étudiées finement. En se plaçant au niveau des isopycnes 25 (SPTW) et 27 (AAIW), de grandes similarités ont permis de réunir les analyses liées à la circulation de celles des masses d'eaux. Ce fort courant longeant la Nouvelle-Calédonie en direction du nord-est caractérisé au niveau de la SPTW par une maximum en salinité et un minimum en oxygène, ces extrema étant inversés pour l'AAIW.

La circulation a montré une variation dans la position du courant dont le cœur évolue entre 10 et 100km par rapport à la côte. Ces variations ont pu être corroborées par l'analyse des masses d'eaux. Alors que la variabilité pouvait être quantifiée dans une gamme restreinte de paramètres, certaines sections ont montré de fortes valeurs à caractère d'anomalie. Certaines ont pu être interprétées comme étant liées aux conditions d'échantillonnage, mais d'autres doivent correspondre à des anomalies climatiques. Pour cette raison, la climatologie CARS et des données *in situ* de SECALIS-3 et SECALIS-4 ont été utilisés afin de replacer nos données dans des conditions "moyennes". Ce travail devra être finalisé ultérieurement. La présence sporadique d'un contre-courant dirigé vers le sud collé à la côte laisse à penser qu'il serait en lien avec la dynamique du courant de bord. Son intensité semble en effet couplée à celle du courant étudié.

L'étude des caractéristiques des masses d'eaux, du transport de masse et de la variabilité de la circulation océanique de cette région s'insère dans un large contexte de la compréhension des modulations à basse fréquence de la variabilité d'ENSO. Les différents transports ont été comparés par rapport aux saisons et aux phases d'ENSO, mais le jeu de données limité ne révèle pas une liaison directe. Une analyse plus fine de la dynamique sera nécessaire lors d'études ultérieures. L'étude par les différents indices du phénomène ENSO, leur compréhension et leur application nécessitent une maîtrise plus importante des concepts liés à cette variabilité climatique et constituent de larges perspectives intéressantes à venir. L'explication de la variabilité observée demeure une question ouverte pour des études futures. Le Pacifique sud-ouest reste une vaste région océanique qui demeure difficile à observer et donc à comprendre et modéliser.

Références

- Bryden, H.L. *et al.* (2005) : Structure and Transport of the Agulhas Current and its Temporal Variability. *J. Phys. Oceanogr.*, **61**, 479-492.
- Couvelard *et al.*, 2008 : Barotropic zonal jets induced by islands in the south-west Pacific. *J. Phys. Oceanogr.*, **38**, 2185-2204.
- Davis, R.E., 2005 : Intermediate-depth circulation of the Indian and South Pacific Oceans measured by autonomous floats. *J. Phys. Oceanogr.*, **35**, 683-707.
- Donguy, J.R., 1994 : Surface and subsurface salinity in the tropical Pacific Ocean : Relation with climate; *Prog. Oceanogr.*, **34**, 45-78.
- Ganachaud, A., *et al.*, 2006 : Rapport de la mission FRONTALIS 2 à bord du N.O. Alis du 2 avril au 30 avril 2004, 22°S-1°-40N/163°E-176°E, 185pp., *Rapp. Missions Océanogr. Phys.* 20, IRD, Nouméa, New Caledonia, France.
- 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.Cravette, 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.,*et al.*, 2006, Rapport de la campagne SECALIS-2 du 4 au 18 décembre 2004, Rapports de Missions Sciences de la Mer No 19, 77pp, Centre IRD de Nouméa, BP A5, Nouvelle-Calédonie.
- Ganachaud, A., and Gourdeau, L., 2008 : Bifurcation of the Subtropical South Equatorial Current against New Caledonia in December 2004 from Hydrographic Inverse Box Model. *J. Phys. Oceanogr.*, **38**, 2072-2084.
- Godfrey, J.S., 1989 : A Sverdrup model of the depth-integrated flow for the world ocean allowing for island circulations. *Geophys. Astrophys. Fluid Dyn.*, **45**, 89-112.
- Gourdeau, L., W.S Kessler, R. E. Davis, J. Sherman, C. Maes, and E. Kestenare, 2008 : Zonal jets entering in the Coral Sea. *J. Phys. Oceanogr.*, **38**, 715-725..
- Kessler, W.S, 2002 : Is ENSO a cycle or a series of events?, *Geophys. Res. Lett.*, **29** NO. 23, 2125, doi :10.1029/2002GL015924.
- Kessler, W.S., and L. Gourdeau, 2006 : Wind-driven zonal jets in the South Pacific Ocean. *Geophys. Res. Lett.*, **33**, L03608, doi : 10.1029/2005GL025084.
- , and —, 2007 : The annual cycle of circulation of the south-west subtropical Pacific, analysed in an ocean GCM *J. Phys. Res. Oceanogr.*, **37**, 1610-1627.
- Luo, J-J and T. Yamataga, 2004 : Long-term El Niño-Southern Oscillation (ENSO)-like variation with special emphasis on the South Pacific, *J. Geophys. Res.*, **106-22**, 211-22,227.
- Maes, C., *et al.*, 2006 : Rapport de la mission FRONTALIS 3 à bord du N.O. Alis du 22 avril au 19 mai 2005, 22°S-2°N/161°E- 172°E, 167pp., *Rapp. Missions Océanogr. Phys.* 20, IRD, Nouméa, New Caledonia, France.
- , *et al.*, 2007 : What are the origins of the Antarctic Intermediate Waters transported by the North Caledonian Jet? *Geophys. Res. Lett.*, **34** L21608, doi :10.1029/2007GL031546.
- McPhaden, M and D. Zhang, 2002 : Slowdown of the meridional overturning circulation in the upper Pacific Ocean, *Nature*, **415**, 603-608.
- Pierce, D., T. Barnett and M. Latif, 2000 : Connections between the Pacific ocean tropics and midlatitudes on decadalM., 1981 : The origin timescales, *J. Clim.*, **13**, 1173-1194.
- Qu, T., and E. J. Lindstrom, 2002 : A climatological interpretation of the circulation in the western South Pacific. *J. Phys. Oceanogr.*, **37**, 2492-2508.
- Reid, 1997 : On the total geostrophic circulation of the Pacific Ocean : Flow patterns, traces and transports. *Progress in Oceanography*, **39**, Pergamon, 263-325.
- Ridgway, K.R., and J.R. Dunn, 2003 : Mesoscale structure of the mean East Australian Current system and its relationship with topography. *Prog. Oceanogr.*, **56**, 189-222.
- Schneider, N., 2004 : The Response of Tropical Climate to the Equatorial Emergence of Spiciness Anomalies, *Journal of Climate*, **17**, 1083-1095.
- Sokolov, S., and S. Rintoul, 2000 : Circulation and water masses of the southwest Pacific WOCE section P11, Papua New Guinea to Tasmania *J. Mar. Res.* **58**, 223-268.
- Timmermann, A., 2003 : Decadal ENSO amplitude modulations : a nonlinear paradigm *J. Global and Planetary Change*, **770**, 1-22.
- Tsimplis, M.N., *et al.*, 1998 : The circulation of the subtropical South Pacific derived from hydrographic data, *J. Geophys. Res.*, **103-10**, 21.443-21.468.
- Tsuchiya, M., 1989 : Source Waters of the Pacific Equatorial Undercurrent *Prog. Oceanog.* , **23**, pp. 104-147, 3989.
- Weare, B. C., P. T. Strub and M. D. Samuel, 1981 : Annual mean surface heat fluxes in the tropical Pacific Ocean. *J. Phys. Oceanogr.*, **11**, 705-717.
- Webb, D.J., 2000 : Evidence for shallow zonal jets in the South Equatorial Current region of the southwest Pacific. *J. Phys. Oceanogr.*, **30**, 706-720.
- Wyrtki, K, 1962b : The subsurface water masses in the western South Pacific Ocean. *Aust. J. Mar. Freshwater Res.*, **13**, 18-47.

A. HYPOTHESES

Nombre de Rossby

$$Ro = \frac{\text{termes_non_linéaires}}{\text{termes_de_Coriolis}} = \frac{U^2}{L} \cdot \frac{1}{fU} = \frac{U}{fL}$$

où U est la vitesse caractéristique du courant = 10^{-1} m/s (10cm/s),

L est la longueur caractéristique = 10^{-5} m (100km)

f est le paramètre de Coriolis = 10^{-4} s $^{-1}$.

Le nombre de Rossby est donc de 10^{-2} . Ce qui signifie que les termes non linéaires sont de deux ordre de grandeurs plus faibles que le termes de Coriolis et de pression.

Couche d'Ekman La couche d'Ekman est la couche de surface où les effets des forces de friction dues au vent sont importants. Ils participent à l'équilibre avec la force de Coriolis et la force du gradient de pression. La théorie d'Ekman décrit la distribution de vitesse dans cette couche sous forme d'une spirale. Cette théorie fournit une estimation de la profondeur où les effets du vent se font ressentir, la couche d'Ekman. Nous cherchons à sortir de cette couche pour pouvoir appliquer l'hypothèse géostrophique. Le nombre d'Ekman permet de quantifier cette approximation.

Nombre d'Ekman

$$Ek = \frac{\text{termes_de_friction}}{\text{termes_de_Coriolis}} = \frac{A_z U}{L^2} \cdot \frac{1}{fU} = \frac{A_z}{fL^2}$$

où A_z est le terme de viscosité tourbillonnaire vertical

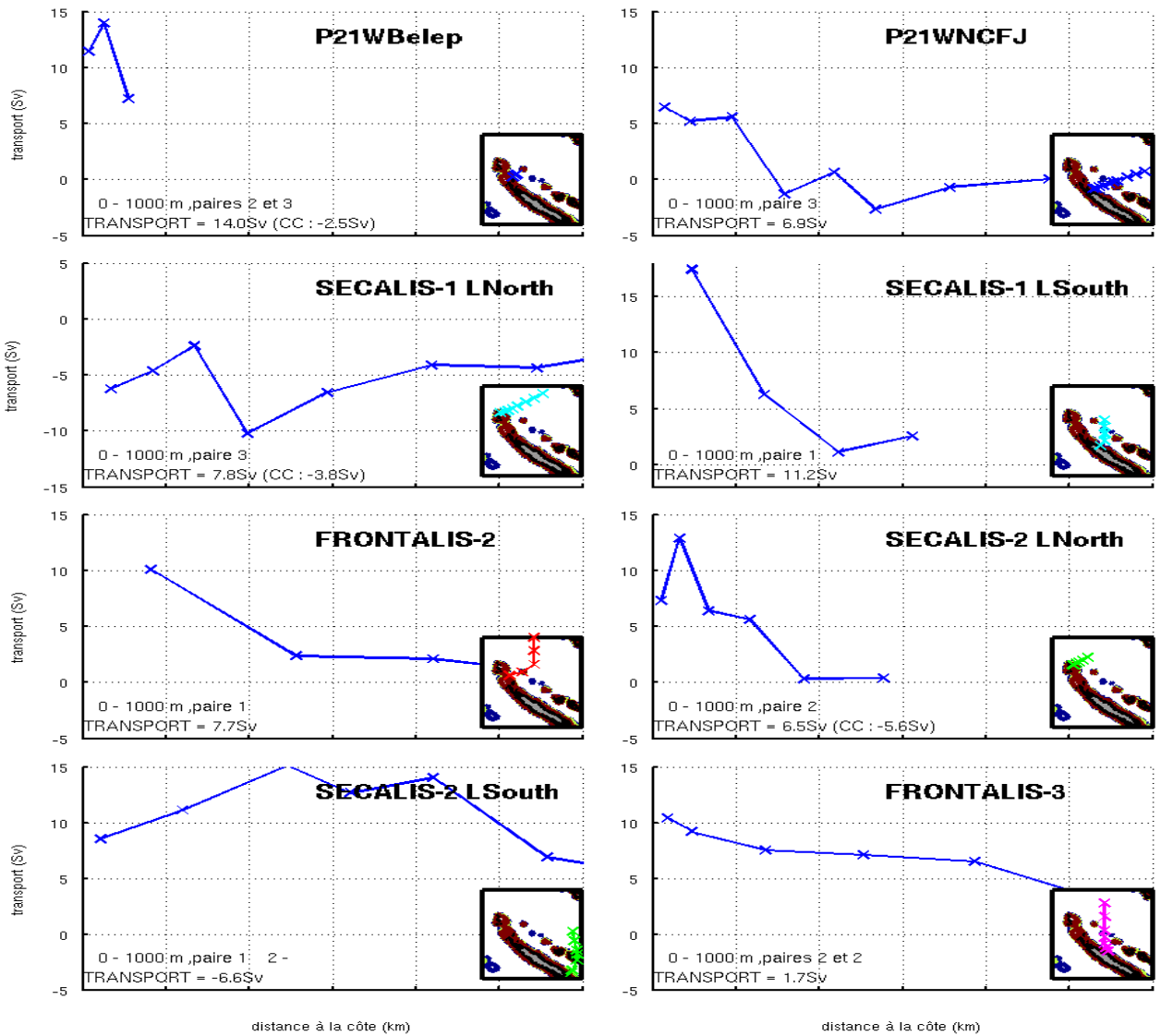
U est la vitesse caractéristique,

f est le paramètre de Coriolis,

L est la longueur caractéristique.

Le terme A_z est un terme très complexe à déterminer. Nous regardons des phénomènes et des caractéristiques de courant suffisamment loin de la surface. Le nombre d'Ekman y est considéré comme très faible.

B. TRANSPORT CUMULE



Transports cumulés en partant de l'Est sur la couche 0-1000m. Ceux-ci s'évaluent graphiquement par la différence du transport cumulé entre la paire considérée et la suivante. Le transport cumulé permet d'observer les contributions de chaque paire; deux paires successives peuvent se compenser et entraîner un transport nul. Cette situation est ainsi plus visible en utilisant cette formulation.

C. PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES

Température

La température est mesurée grâce à un capteur placé sur la sonde CTD. Pour corriger les effets dus à la variation adiabatique de la température avec la pression, on utilise la notion de température potentielle. La température est ramenée par un calcul adiabatique à un niveau de pression de référence, la pression atmosphérique sauf indication inverse.

Salinité

La salinité d'un échantillon est définie comme étant rapport de masse de matière dissoute dans l'eau de mer sur la masse de l'eau de mer contenue dans l'échantillon. Elle est exprimée en psu, practical salinity unit représentant 1g de sel pour 1kg d'eau de mer. La salinité est déterminée à partir des sondes CTD par un rapport de conductivité. Les données de conductivité sont calibrées avec des échantillons 'tests',

Densité

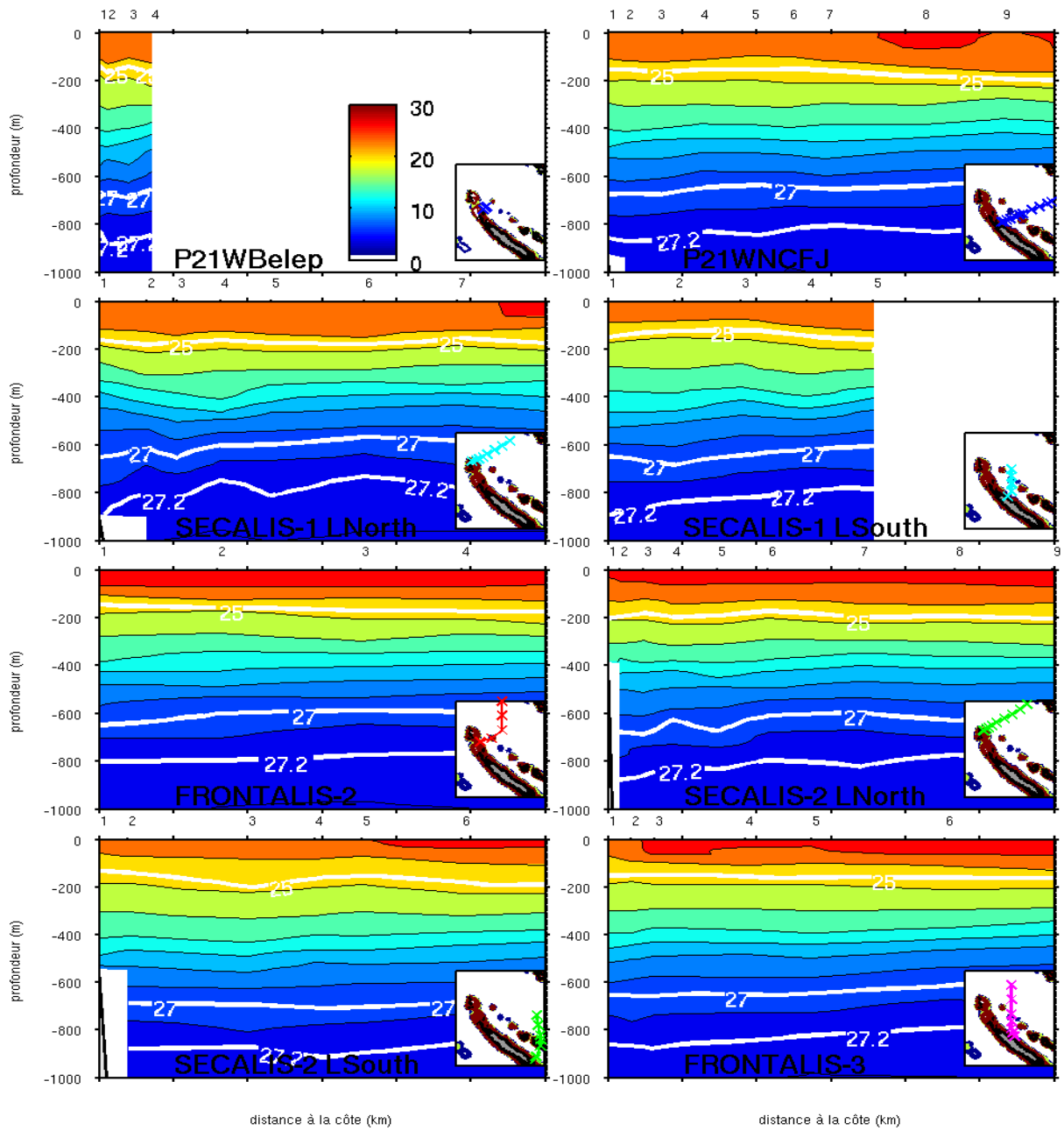
La densité est un paramètre déduit des mesures de température, de salinité et de pression. Comme la température, la comparaison de densités n'a de sens que si l'on considère les masses d'eau à la même profondeur pour palier aux effets de la pression sur la densité. On utilise la notion de densité potentielle qui est la densité initiale ramenée à la pression de référence. Nous utiliserons pour la suite les termes de température et de densité pour désigner la température potentielle et la densité potentielle. Les valeurs de densité citées dans ce rapport seront des densité neutres, exprimées en kg/m^3

Concentration en oxygène

La détermination de la concentration d'oxygène des échantillons est la première manipulation effectuée lors de la remontée de la rosette, ceci pour limiter la dissolution dans l'air. Une manipulation en laboratoire à l'aide de réactifs qui fixent l'oxygène est effectuée, déterminant en grande partie la qualité des résultats. Leur précision est principalement appréciée par la répétitivité des mesures effectuées sur des séries d'échantillons identiques. Cette manipulation permet de calibrer les profils fournis par le capteur d'oxygène moté sur le CTD

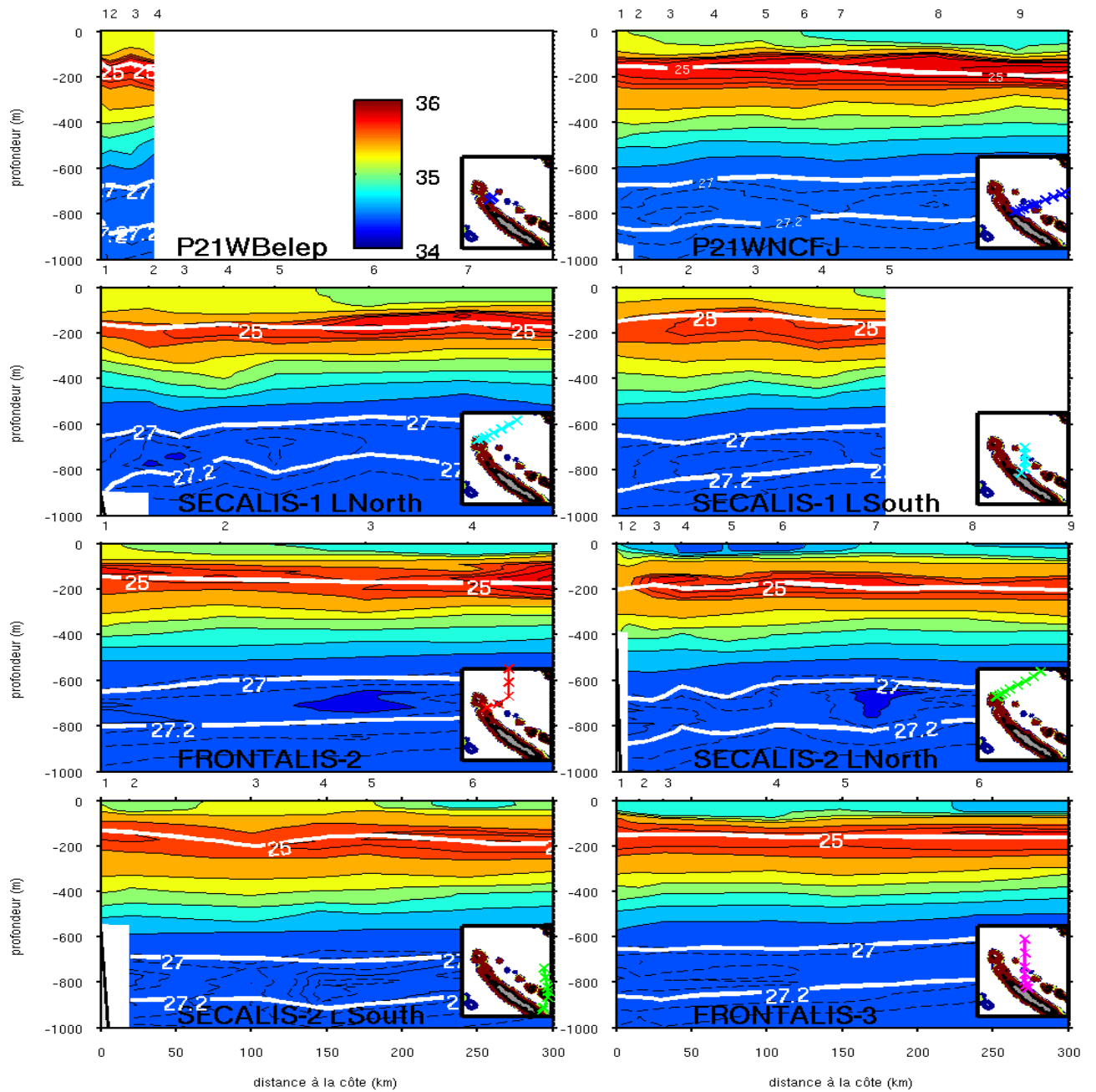
Les rapports de missions disponibles (SECALIS2-/FRONTALIS-2/FRONTALIS-3) ainsi que l'article de Tsimplis-*etal* qui renseigne sur la mission P21 fournissent globalement une estimation de la précision de la température à $0,005^\circ\text{C}$ près et de l'oxygène à $1\mu\text{mol}/\text{l}$.

D. SECTIONS DE TEMPERATURE



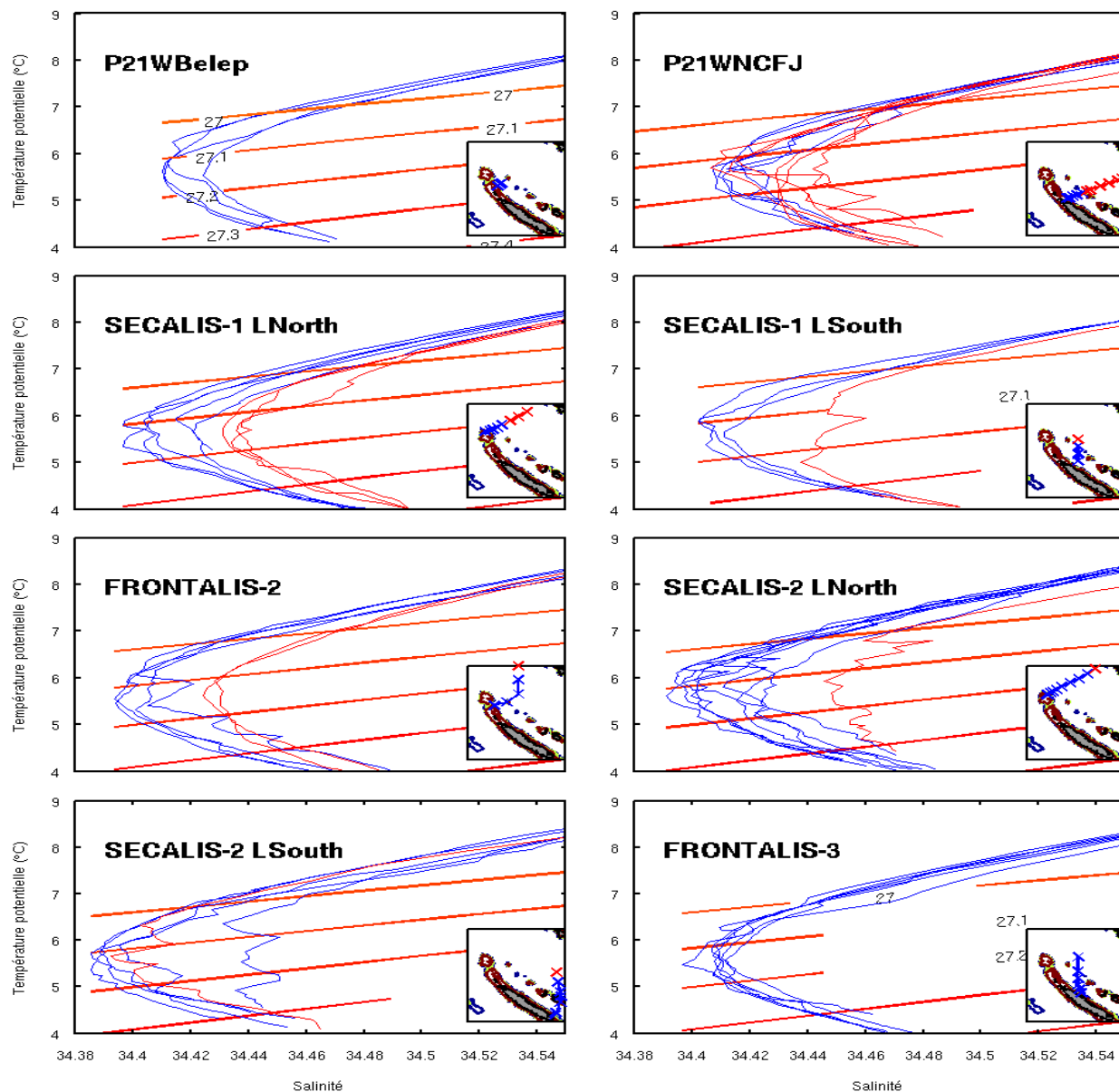
Sections de température. La température est exprimée °C. Les fortes (faibles) valeurs sont en rouge (bleu).

E. SECTIONS DE SALINITE



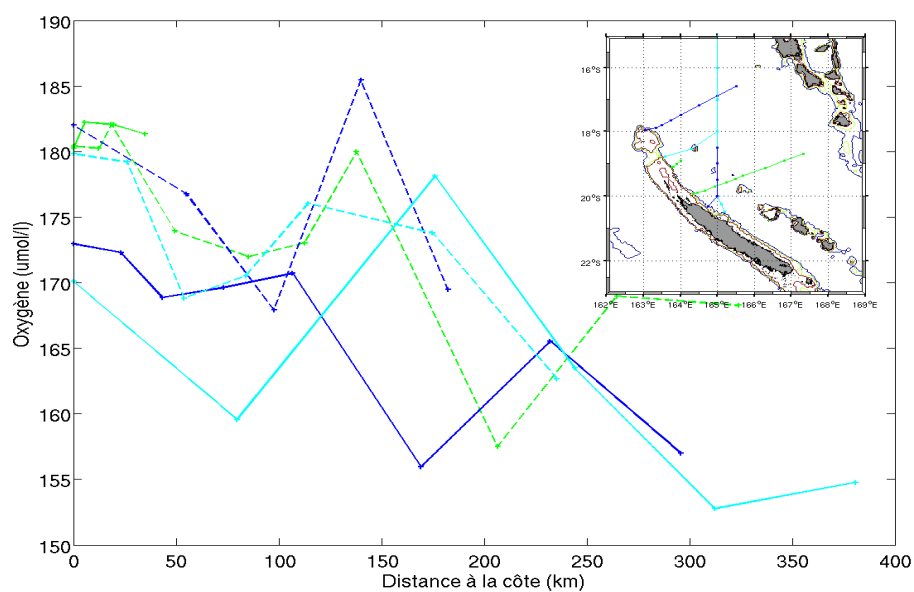
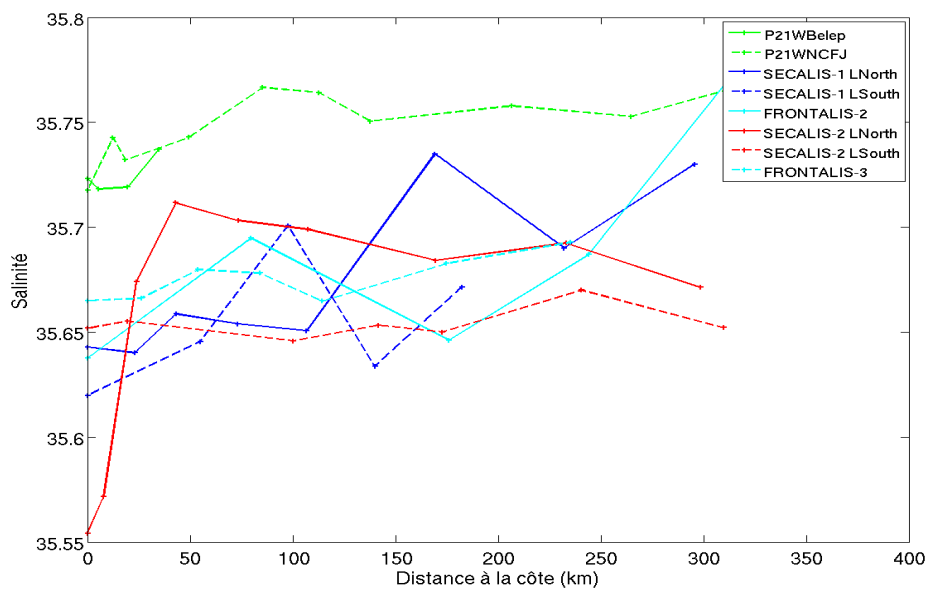
Sections de salinité. La salinité est exprimée sans unité. Les fortes concentrations en sel (faibles) sont en rouge (bleu).

F. ZOOM SUR LE CŒUR DU COURANT AU NIVEAU DE L'AAIW



Zoom sur le minimum identifié comme le cœur au niveau de l'isopycne 27. Les courbes bleues représentent les stations situées près de la côte ($< 200km$) tandis que les rouges celles plus éloignées ($> 200km$), voir les mini-cartes.

G. OBSERVATIONS AU NIVEAU DE LA SPTW ($\sigma=25$ à 25,16)



Courbes de salinité (en haut) et d'oxygène (en bas) le long de la gamme d'isopycne 25-25,16.