



HAL
open science

Mission MOMAlis aux îles Chesterfield, 23 mai - 08 juin 2012 : premiers résultats

Henri Weimerskirch, Christophe E. Menkès, Joelle Lallemand, Philippe Borsa

► To cite this version:

Henri Weimerskirch, Christophe E. Menkès, Joelle Lallemand, Philippe Borsa. Mission MOMAlis aux îles Chesterfield, 23 mai - 08 juin 2012 : premiers résultats. [Rapport de recherche] CNRS; IRD. 2013. ird-01879401v1

HAL Id: ird-01879401

<https://ird.hal.science/ird-01879401v1>

Submitted on 24 Sep 2018 (v1), last revised 1 May 2022 (v2)

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Citation : Weimerskirch H, Menkès C, Lallemand J, Borsa P (2013) Mission MOMAlis aux îles Chesterfield, 23 mai - 08 juin 2012 : premiers résultats. CNRS, Chizé et IRD, Nouméa, 37 p.

Mission MOMAlis aux îles Chesterfield, 23 mai - 08 juin 2012 : premiers résultats

Henri Weimerskirch¹, Christophe Menkès², Joëlle Lallemand¹, Philippe Borsa^{3*}

¹ CNRS-Centre d'études biologiques de Chizé, Beauvoir-sur-Niort, France

² IRD-LOCEAN, Nouméa, New Caledonia

³ IRD-UR 227 Coreus, Montpellier, France et Nouméa, New Caledonia

* correspondance : philippe.borsa@ird.fr ; philippeborsa@gmail.com



Weimerskirch H., Menkès C., Lallemand J., Borsa P. 2013. Mission MOMAlis aux Chesterfield, 23 mai - 08 juin 2012 : premiers résultats. CNRS, Chizé et IRD, Nouméa, 37 p.

Résumé

La densité importante des colonies d'oiseaux marins reproducteurs des îles Chesterfield suggère la présence de ressources océaniques abondantes, qu'il convient de localiser dans une perspective de gestion et de conservation des écosystèmes marins de la mer de Corail. L'objectif de la mission MOMALIS aux Chesterfield était de contribuer à, d'une part, comprendre les mécanismes océanographiques qui aboutissent à la concentration de proies marines (celles recherchées par les grands prédateurs marins) et, d'autre part, déterminer les rayons d'action et les stratégies de prospection des oiseaux marins. Nous avons équipé des frégates (2 *Fregata ariel*, 6 *F. minor*) d'émetteurs Argos et des fous (15 *Sula leucogaster*, 28 *S. sula*) de capteurs GPS afin de suivre leurs déplacements dans la mer de Corail et les régions adjacentes. Nous avons ainsi pu cartographier les zones de production secondaire présumées autour des îles Chesterfield, ceci à partir des patterns de vol signalant les périodes durant lesquelles les oiseaux s'alimentaient. Les proies des oiseaux, échantillonnées à partir de régurgitations spontanées consistaient essentiellement en des calmars et des poissons pélagiques de surface. Parmi ces derniers, ceux ne fréquentant que la proximité des récifs ont été capturés par des fous bruns exclusivement. Les cartes des zones de nourrissage des oiseaux ont été superposées aux structures océanographiques modélisées à partir des données satellitaires (température de surface, chlorophylle, niveau de la mer) en temps réel. Nous avons ainsi pu voir que les zones de nourrissage des oiseaux coïncidaient avec les zones de divergence (upwelling) autour des structures océanographiques tourbillonnaires à mésoéchelle mais pas avec les concentrations de micronecton telles que modélisées par le modèle SEAPODYM.

Abstract

The presence of large colonies of seabirds breeding on the Chesterfield Islands suggests the occurrence of abundant resources at sea in the central Coral Sea. Being able to locate these resource hot spots in a perspective of management and conservation of marine ecosystems in the Coral Sea is a major challenge. The objective of the MOMALIS mission to the Chesterfield Islands was to determine the foraging strategies and feeding ecology of seabirds breeding on the Chesterfield Islands and to understand the oceanographic mechanisms that lead to the concentration of marine prey searched by seabirds. We fitted frigatebirds (2 *Fregata ariel*, 6 *F. minor*) with Argos transmitters and boobies (15 *Sula leucogaster*, 28 *S. sula*) with GPS to track their movements in the Coral Sea and adjacent regions. Our purpose was to relate the feeding zones of seabirds with the local oceanographic conditions. We also examined the prey caught at sea by birds returning on colonies from spontaneous regurgitation, and found that they preyed mainly on squid and surface pelagic fishes. Pelagic fishes from the reef and lagoon were caught exclusively by brown boobies. Maps of seabird feeding areas were superimposed on oceanographic structures modeled from satellite data (surface temperature, chlorophyll, sea level) in real time. We found that the feeding areas of seabirds often correspond with areas of divergence (upwelling) around ocean mesoscale eddy structures, but not with the micronecton densities calculated by the SEAPODYM model.

1 Contexte

Les îles Chesterfield, au centre de la mer de Corail, sont le site de nidification de 13 espèces d'oiseaux marins, dont plusieurs milliers de couples de fous à pieds rouges et plusieurs centaines de couples de frégates (Bourne et al. 2005 ; Borsa et al. 2010), ce qui en fait une zone prioritaire pour leur conservation. La densité importante des colonies d'oiseaux marins reproducteurs sur ces îlots suggère la présence de ressources océaniques elles-mêmes abondantes, qu'il convient de localiser dans une perspective de gestion et de conservation des écosystèmes marins de la mer de Corail. Le présent projet est basé sur le concept de l'utilisation de prédateurs supérieurs comme indicateurs de ressources (Weimerskirch 2007). L'objectif était d'équiper des oiseaux marins à terre à partir d'un site situé au centre de la mer de Corail, et de déterminer les zones de concentration de ces prédateurs supérieurs en mer, afin d'en déduire des zones d'importance écologique et de les caractériser d'un point de vue océanographique.

2 Personnel embarqué

Equipe scientifique de la mission

Julien Baudat-Franceschi : Société calédonienne d'ornithologie, ornithologue / animaux introduits
Jean-Michel Boré : Institut de recherche pour le développement (IRD), réalisateur de documentaires
Philippe Borsa : IRD, chef de mission, biologiste marin
Joëlle Lallemand, Centre national de la recherche scientifique (CNRS), ornithologue
Christophe Menkès : IRD, océanographe
Henri Weimerskirch : CNRS, ornithologue

Equipage de l'Alis

Jonathan Apikaoua, matelot
Julien Boudet, lieutenant
Jean Lamata, matelot
Loic Le Goff, second capitaine
Felise Liufau, bosco
Nicolas N., intendant
Pierrick Prigent, second mécanicien
Raymond Proner, commandant
Jacques Qenenoj, cuisinier
Steve Taalo, aide mécanicien
Xavier Travel, chef mécanicien

3 Chronologie de la mission

Les dates des différentes étapes de la mission et les activités réalisées sont résumées au Tableau 1.

Tableau 1 Chronologie de la mission MOMAlis réalisée avec le navire océanographique *Alis* aux Iles Chesterfield, 24 mai – 08 juin 2012. *JBF* J. Baudat-Franceschi ; *JMB* J.-M. Boré ; *PB* P. Borsa ; *JL* J. Lallemand ; *CM* C. Menkes ; *HW* H. Weimerskirch

Date	Activité en mer	Scientifiques à bord	Activité à terre	Scientifiques à terre
24 mai 2012	départ ; route aller	tous	-	-
nuit	route aller		-	-
25 mai 2012	route aller	tous	-	-
nuit	route aller		-	-
26 mai 2012	route aller	tous	repérage des colonies d'oiseaux, I. Mouillage	tous
nuit	au mouillage, I. Mouillage	tous	-	-
27 mai 2012	traversée du lagon	tous	repérage des colonies d'oiseaux et première pose de capteurs, I. Longue	tous
nuit	au mouillage, I. Longue	PB puis tous	(1) pose d'1 émetteur, I. Longue ; (2) capture de râles, I. Longue	(1) JMB, JL, CM, HW ; (2) JBF
28 mai 2012	calibration de l'échosondeur ER60	CM	pose de capteurs, I. Longue	JBF, JMB, PB, JL, HW
nuit	au mouillage, I. Longue	JMB, PB, JL, HW	capture de râles, I. Longue	JBF, CM
29 mai 2012	-	-	pose de capteurs, I. Longue	tous
nuit	(1) au mouillage, I. Longue ; (2) changement de mouillage, I. Mouillage	(1) JMB, PB, JL, HW ; (2) tous	capture de râles, I. Longue	JBF, CM
30 mai 2012	radiale 1 : N	JBF, PB, CM	pose d'1 émetteur et de capteurs, I. Mouillage	JMB, JL, HW
nuit	au mouillage, I. Mouillage	tous	-	-
31 mai 2012	radiale 2 : S	PB, CM	pose de 2 émetteurs et de capteurs, I. Mouillage	JBF, JMB, JL, HW
nuit	au mouillage, I. Mouillage	tous	-	-
01 juin 2012	(1) traversée du lagon ; (2) radiale 3 : W	(1) tous ; (2) PB, CM	pose de capteurs, I. Longue	JBF, JMB, JL, HW
nuit	au mouillage, I. Longue	tous	-	-
02 juin 2012	radiale 4 : SW	PB, CM	pose de 2 émetteurs et de capteurs et récupération de capteurs, I. Longue	JBF, JMB, JL, HW
nuit	au mouillage, I. Mouillage	tous	-	-
03 juin 2012	radiale 5 : NE	PB, CM	pose de 2 émetteurs et récupération de capteurs, I. Longue	JBF, JMB, JL, HW
nuit	au mouillage, I. Mouillage	tous	-	-
04 juin 2012			récupération de capteurs, I. Longue	JBF, JMB, PB, JL, HW
nuit	au mouillage, I. Longue	tous	-	-
05 juin 2012	traversée du lagon	tous	récupération de capteurs, I. Longue et I. Mouillage	tous
nuit	route retour	tous	-	-
06 juin 2012	route retour	tous	-	-
nuit	route retour	tous	-	-
07 juin 2012	route retour	tous	-	-
nuit	route retour	tous	-	-
08 juin 2012	retour à quai	tous	-	-

4 Déroulement des opérations à terre

La présence de l'*Alis* aux Chesterfield a été courte, du 27 mai au 05 juin 2012, mais nous avons tout de même pu équiper, en tout, 6 frégates du Pacifique, 2 frégates ariel, 15 fous bruns et 28 fous à pieds rouges (Tableau 2). Les déploiements d'instruments ont pu commencer le 27 mai, jusqu'au 03 juin. Les dernières récupérations de GPS ont eu lieu le jour du départ (le 05 juin).

A notre arrivée, la reproduction des fous avait tout juste commencé ; celle des frégates avait débuté, pour quelques individus, environ deux mois plus tôt. Cependant, l'essentiel des oiseaux étaient encore en début de reproduction ou en parade. En raison du stade précoce de reproduction, les déploiements sur les fous ont été réalisés sur les quelques oiseaux disponibles en début d'incubation, ce qui est un choix par défaut car des oiseaux élevant des poussins sont plus faciles à manipuler. Les fous (à pieds rouges et bruns) ont été équipés de GPS et certains d'entre eux, d'enregistreurs de température et de profondeur (TDR), pour mesurer la profondeur de plongée. Les appareils ont été laissés sur les oiseaux pour un à trois trajets successifs avant d'être récupérés en fin de mission. Les informations enregistrées dans les appareils ont ensuite été déchargées sur un ordinateur portable.

Les taux de récupération des capteurs GPS ont été relativement bons pour les fous à pieds rouges (75% ; $N = 28$ GPS posés), bien que ces derniers fussent en incubation. Les fous bruns, très farouches aux Chesterfield, étaient également en tout début d'incubation, une phase sensible pour ces oiseaux. Il a été difficile de recapturer les fous bruns et le taux de récupération des capteurs posés sur ces oiseaux était de seulement 47% ($N = 15$ GPS posés). Malheureusement, pour 3 des GPS récupérés trois jours après avoir été posés, l'oiseau n'avait pas quitté son nid. Les GPS non récupérés, fixés avec de la bande adhésive sur les plumes de la queue, se détachent au bout de quelques semaines.

Les balises Argos ont été laissées sur les 8 frégates qui en étaient équipées : nous avons ainsi pu suivre les trajets successifs des individus entre la colonie et les zones d'alimentation (jusqu'à 44 trajets allers/retours successifs pour un individu). Une balise n'a pas fonctionné ; les 7 autres ont fonctionné durant 2 à 12 mois. Au 15 mai, deux balises fonctionnaient encore : il s'agit des deux oiseaux qui ont quitté le secteur des Chesterfield. Une autre balise émet toujours en fixe sur l'île Longue : celle-ci a dû se détacher et tomber au sol.

Les fous ayant été équipés de GPS, nous avons des informations beaucoup plus précises sur les trajectoires suivies par les oiseaux, puisque les GPS étaient programmés pour estimer une localisation toutes les 20 s à 120 s, contre une localisation par heure pour les balises Argos équipant les frégates, avec des périodes de 24 heures d'arrêt alternant avec 12 heures de marche afin de permettre au panneau solaire de recharger la batterie interne.

5 Mouvements des oiseaux

Trajets et comportement des frégates

Les deux frégates ariel ont montré une séparation remarquable des zones d'alimentation, le mâle prospectant exclusivement au nord et la femelle, au sud (Fig. 1). Ces données sont les premières pour cette espèce, mis à part quelques individus suivis à Europa dans le Canal du Mozambique, mais dont les résultats n'ont pas encore été analysés (H. Weimerskirch, non publié).

Chez les frégates du Pacifique élevant un poussin, on trouve une tendance semblable, quoique moins marquée. Les femelles prospectent vers le nord et le sud avec une préférence pour le sud (Fig. 2). Chez les mâles, tous les trajets sont orientés vers le nord, avec deux trajets parallèles très longs (20 et 23 jours) de deux individus différents dans la mer des Salomon à 1700 km des Chesterfield (Fig. 3). Le départ des deux individus a été quasi-simultané, le retour étant décalé de deux jours. Au retour de leur périple en mer des Salomon, les deux individus ont recommencé à faire des trajets courts à partir des Chesterfield.

La femelle frégate du Pacifique #52460 équipée en incubation a effectué un trajet très long, typique des trajets de cette espèce en incubation, autour de la Nouvelle Calédonie, avant de revenir sur l'île Longue (Fig. 4). Elle a ensuite réalisé des trajets courts, suggérant un échec de reproduction, très fréquent chez cette espèce. L'oiseau est ensuite allé s'installer sur l'île de Talele (Baie de Lassul, au nord de la Nouvelle-Bretagne), d'où elle rayonne depuis le 10 août 2012. Cette frégate est retournée au Chesterfield au début de mars 2013, d'où elle a rayonné pendant plusieurs semaines avant de perdre sa balise.

De la même manière, un des mâles de frégate du Pacifique a arrêté ses allers et retours au nid le 28 septembre 2012 pour remonter au nord et finalement s'installer sur l'île de Madau en Papouasie-Nouvelle Guinée (09.075°S, 152.423°E) d'où il a rayonné (Fig. 5). Il est intéressant de noter que ce mâle avait visité l'île de Madau durant quelques heures lors de son trajet long dans la mer des Salomon en juillet. Ce comportement d'arrêt de la reproduction est typique des frégates, chez qui les mâles cessent progressivement de s'investir dans l'approvisionnement du jeune au nid, pour laisser la femelle assurer seule cette tâche en plein milieu de la période d'élevage. Nos données de tracking permettent ainsi de montrer que le mâle ne reste pas sur la colonie de reproduction mais migre vers un site éloigné où il reste pendant des mois, avant de revenir sur les Chesterfield avant la nouvelle saison de reproduction. Ce mâle est revenu aux Chesterfield le 15 avril 2013, soit quelques semaines avant le début du pic de ponte des frégates aux Chesterfield, avant que sa balise ne s'arrête d'émettre après 11 mois de suivi. Une hypothèse encore jamais démontrée est qu'avec un tel comportement les mâles de frégates pourraient avoir une reproduction annuelle, alors que les femelles, qui nourrissent le poussin pendant encore des mois, se reproduiraient tous les deux ans seulement.

Les deux espèces de frégates ont des comportements relativement proches, mais on peut noter toutefois que chez les frégates du Pacifique, les mâles ont des rayons de prospection plus longs que les femelles, alors qu'il n'y a pas de différence chez la frégate ariel (voir le résultat des analyses Fig. 6 et Tableau 3). A l'inverse, la durée des voyages est semblable d'un sexe à l'autre chez la frégate du Pacifique. Les durées des voyages et les rayons de prospection des frégates du Pacifique (Tableau 3) sont assez proches de ceux étudiés sur d'autres sites pendant l'élevage du poussin (Weimerskirch et al. 2004 ; De Monte et al. 2012). Nos données confirment les tendances observées à Europa, que les mâles font en moyenne des trajets plus longs en distance de la colonie que ceux des femelles. Grâce aux balises Argos posées sur une longue période, nous possédons des informations sur les trajets successifs des individus, jusqu'à 40 pour une femelle frégate du Pacifique. Ces informations permettent de mieux comprendre les stratégies individuelles, et de tester l'hypothèse de fidélité des individus aux sites d'alimentation. La Fig. 7 montre le cap suivi par cette femelle. L'individu alterne des trajets vers le nord (entre 330° et 15°) et des trajets vers le sud-est (110°-150°). Même si les zones d'alimentation ne sont pas les mêmes, c'est-à-dire, avec des rayons de prospection différents, la femelle prend systématiquement une direction soit nord, soit sud-est. Ce résultat, ainsi que celui indiqué par les autres individus, suggèrent que les oiseaux ne retournent pas exactement sur un même site d'alimentation : il n'y pas de fidélité à un site particulier (Weimerskirch 2007). Le fait qu'ils prennent systématiquement la même direction suggère soit un comportement individuel, soit l'influence de facteurs physiques comme le vent.

Trajets des fous

Les deux espèces de fous font en moyenne des trajets plus courts, en temps et en distance, que les frégates (Tableau 3). Comme sur les autres sites étudiés (Weimerskirch et al. 2005 ; H. Weimerskirch et al. non publié) le fou à pieds rouges est une espèce purement océanique (Fig. 8), se déplaçant à de plus grandes distances des colonies que les fous bruns. Les fous bruns fréquentent plutôt les eaux du lagon ou du tombant, mais peuvent également s'aventurer en eaux océaniques (Fig. 8). Il n'y a pas de différence entre les sexes chez les fous à pieds rouges. Un agrandissement de la carte sur la zone du lagon, montre que les fous à pieds rouges de la colonie de l'île Longue partent tous vers l'ouest et ceux de la colonie des îlots du Mouillage, vers l'est, les oiseaux ne survolant jamais le lagon (Fig. 9). Le suivi des quelques fous bruns suggère qu'ils ont des rayons de prospection plus faibles que les fous à pieds rouges (Tableau 3). Les fous bruns fréquentent le lagon ou les abords du récif. Exceptionnellement, un individu a réalisé un

trajet océanique semblable à celui des fous à pieds rouges (Fig. 10). L'échantillon de fous bruns instrumentés est trop faible pour observer un éventuel effet du sexe sur le comportement de prospection.

Le rayon de prospection (*range*) et la durée des séjours en mer (Tableau 3) ne diffèrent pas de façon significative entre les deux espèces, ni entre sexes au sein de chacune d'elles. L'échantillon faible pour les fous bruns, et la présence d'un trajet long pour un individu, pourraient expliquer cette absence de significativité, mais l'examen de la Fig. 11 suggère tout de même une tendance à ce que les fous à pieds rouges fassent des trajets plus longs en distance que les fous bruns.

Zones utilisées par les oiseaux des îles Chesterfield

Les zones où les oiseaux étaient en comportement d'alimentation ont été déterminées à partir des trajectoires individuelles. Les quatre espèces suivies, mais surtout les frégates, se nourrissent généralement en association avec des prédateurs de sub-surface (thons, dauphins, baleines) qui rendent les proies accessibles aux oiseaux en repoussant celles-ci vers la surface (Au & Pitman 1986 ; Weimerskirch et al. 2005). Ces zones d'alimentation représentent donc des secteurs potentiellement importants du point de vue de la biodiversité. Pour les fous suivis avec des GPS, ces zones d'alimentation sont nettement visibles sur la trajectoire. Elles se situent à l'extrémité du trajet ; les oiseaux y réduisent leur vitesse de vol et se posent fréquemment. Le signal GPS est perdu momentanément (indiquant que les oiseaux plongent) et la trajectoire est sinueuse (Weimerskirch et al. 2012 ; Fig. 12).

Pour chaque zone d'alimentation, le centroïde du secteur de chasse a été estimé. Pour les frégates, les localisations étant moins fréquentes, les zones d'alimentation ont été estimées à partir des vitesses de vol. Les vitesses inférieures à 10 km/h le jour ont été considérées comme des zones d'alimentation (les frégates se nourrissent de jour) (Weimerskirch et al. 2004) : cette hypothèse a été validée par des données GPS à haute résolution (p. ex. De Monte et al 2012). La Fig. 13 montre clairement que les zones d'alimentation sont très dispersées autour des Chesterfield. Seules les femelles de frégates du Pacifique et les fous bruns se nourrissent dans le lagon (Fig. 14). Les zones d'alimentation des fous sont situées essentiellement à l'ouest de l'île.

Pour chaque trajectoire, les localisations ont été séparées entre transit / recherche alimentaire / repos en surface la nuit. Les données ayant des périodes de mesure variables (1 localisation toute les 30 s à 140 s pour les GPS de fous, 1 localisation toutes les 0.1 à 1 heure pour les frégates), elles ont été ré-échantillonnées pour obtenir des localisations régulières, à savoir 1 localisation / 12 min pour les fous et 1 localisation par heure pour les frégates. A partir de ces données ré-échantillonnées, les densités de localisation ont été estimées par la méthode des kernels (Figs. 14-17). Chez les fous, les densités pour toutes les localisations sont fortes, principalement autour et à l'ouest de l'île (Fig. 16 gauche). Cette analyse, qui inclut les périodes de transit, donne une indication des densités de présence des individus en mer. L'analyse incluant seulement les périodes de recherche alimentaire active, où les oiseaux sont en interaction avec les prédateurs de sub-surface, montre que les fortes densités sont situées en deux secteurs importants, au sud-ouest, et à l'ouest de l'île.

Tableau 2 Détail des oiseaux équipés de balises Argos (*FP* frégate du Pacifique ; *FA* frégate ariel). Etat des émissions au 15 mai 2013

Espèce	Sexe	Lieu	PTT	Nid	Stade reproducteur	Date et heure de pose	Date d'arrêt
FP	F	Ile Longue	52460	FP2	oeuf	27 mai 2012, 21:00	fonctionne, Talele
FA	M	Ilot du Mouillage	52244	FA1	petit poussin	30 mai 2012, 16:00	28 nov. 2012, en mer
FA	F	Ilot du Mouillage Nord	52462	FA2	grand poussin	30 mai 2012, 16:00	30 jul. 2012, en mer
FP	M	Ilot du Mouillage Nord	52257	FP3	petit poussin	31 mai 2012, 15:00	fonctionne, Madau
FP	F	Ile Longue - pte nord	40870	FP10	moyen poussin	02 juin 2012, 15:00	23 dec. 2012, en mer
FP	M	Ile Longue - sud	52247	FP11	moyen poussin	02 juin 2012, 16:00	10 sep. 2012 en mer
FP	M	Ile Longue - sud	52461	FP12	moyen poussin	03 juin 2012, 15:00	n'a pas fonctionné
FP	F	Ile Longue - sud	52258	FP13	moyen poussin	03 juin 2012, 15:30	fonctionne, Ile Longue

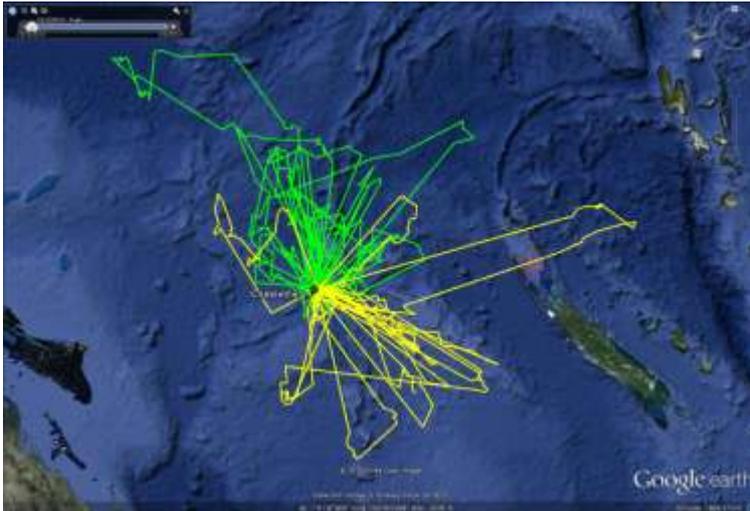


Fig. 1 Trajets en mer d'une frégate ariel mâle (24/6 au 30/11, 24 trajets, en vert) et d'une frégate ariel femelle (3/6 au 30/7, 16 trajets, en jaune).

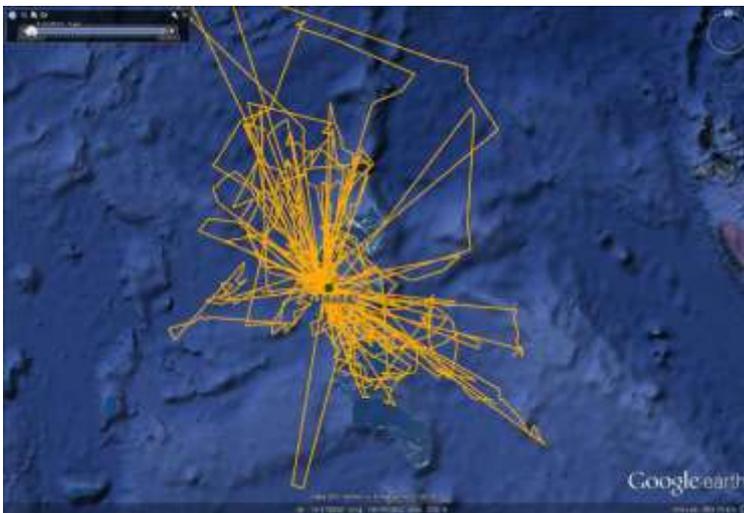


Fig. 2 Trajets des frégates du Pacifique femelles élevant un poussin (du 2 juin 2012 au 23 décembre 2012)



Fig. 3 Trajets des frégates du Pacifique mâles, élevant un poussin (du 31 mai 2012 au 24 septembre 2012)



Fig. 4 Trajets de la frégate du Pacifique #52460 équipée en incubation, avec la route migratoire jusqu'à Talele. (du 27 mai 2012 au 12 août 2012)

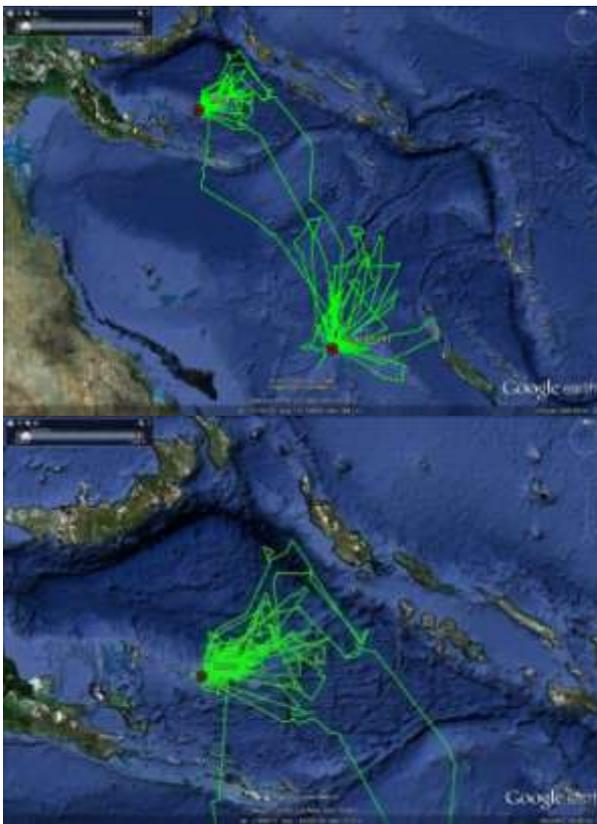


Fig. 5 Haut Trajets du mâle de frégate du Pacifique à partir des Chesterfield puis de Madau Is. (du 31 mai 2012 au 20 janvier 2013). **Bas** agrandissement de la zone de la mer des Salomon montrant les trajets à partir de Madau Is.

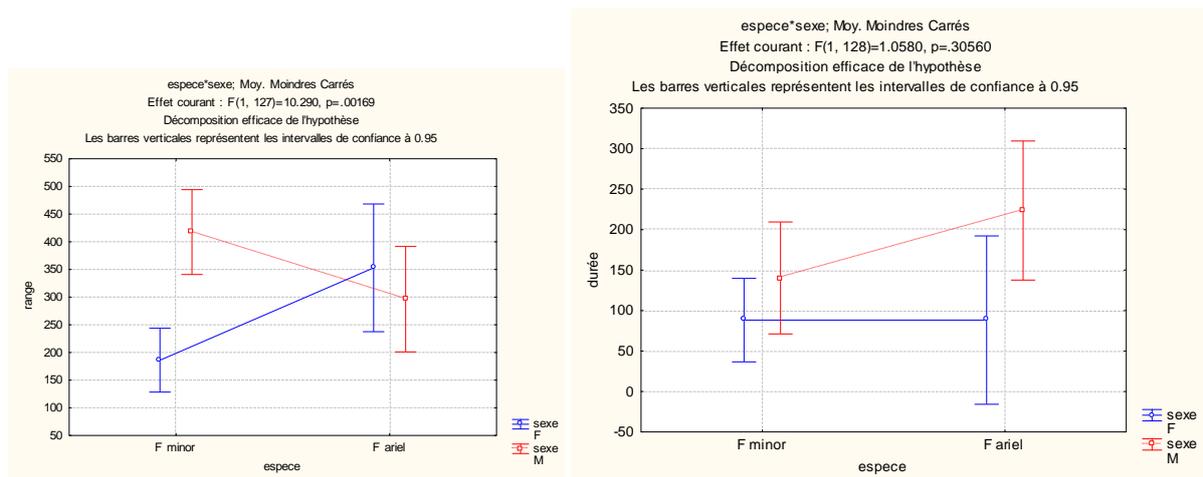


Fig. 6 Comparaison des rayons de prospection (à gauche, en km) et des durées des trajets (à droite, en heures) des deux espèces de frégates en fonction du sexe

Tableau 3 Durée des séjours en mer et rayons de prospection des 4 espèces d'oiseaux de mer suivis par télémétrie aux îles Chesterfield. N, nombre de trajets

	Sexe	Durée des trajets (h)	N	Rayon de prospection (km)	N
Frégate du Pacifique	F	88.2 ± 26.1	61	186.1 ± 29.1	60
	M	140.3 ± 34.9	34	417.5 ± 38.7	34
	M+F	106.8 ± 21.1	95	268.0 ± 25.1	94
Frégate ariel	F	88.2 ± 52.6	15	353.0 ± 58.3	15
	M	223.5 ± 43.4	22	296.4 ± 48.1	22
	M+F	168.7 ± 33.9	37	319.3 ± 40.1	37
Fou à pieds rouges	F	21.6 ± 5.6	11	148.1 ± 17.3	14
	M	21.3 ± 7.0	7	94.2 ± 20.4	10
	M+F	21.5 ± 4.2	18	125.1 ± 13.6	24
Fou brun	F	15.2 ± 9.3	4	70.2 ± 32.3	4
	M	11.6 ± 10.8	3	54.7 ± 37.3	3
	M+F	13.8 ± 6.7	7	63.6 ± 25.3	7

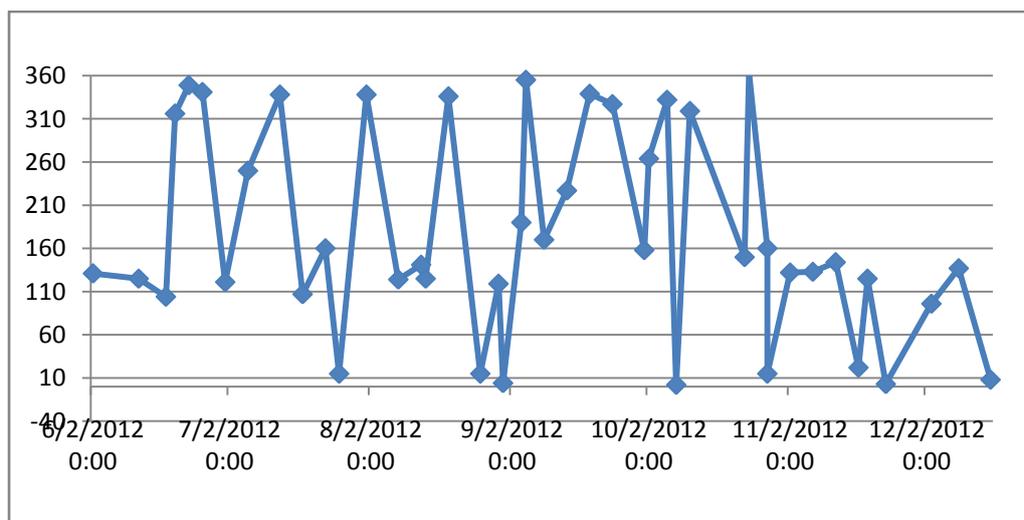


Fig. 7 Caps successifs pris par la frégate du Pacifique #42260 entre le 01 juin 2012 et le 23 décembre 2012.



Fig. 8 Trajectoires des fous à pieds rouges mâles (en bleu) et femelles (en rouge)



Fig. 9 Agrandissement de la zone du lagon sud des Chesterfield avec les trajectoires de fous à pieds rouges, montrant que les oiseaux de l'île Longue partent tous vers l'ouest, et ceux des îlots du Mouillage vers l'est, les oiseaux ne survolant jamais le lagon.



Fig. 10 Trajectoires des fous bruns mâles (vert) et femelles (orange)

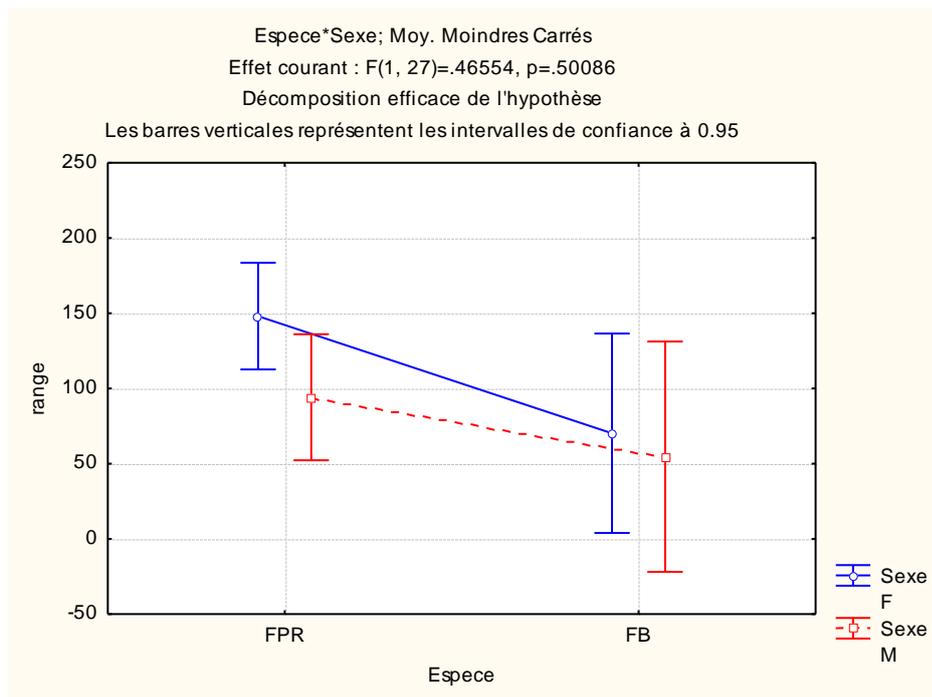


Fig. 11 Rayon de prospection en mer (*range*) des fous a pieds rouges (FPR) et des fous bruns (FB) selon le sexe.

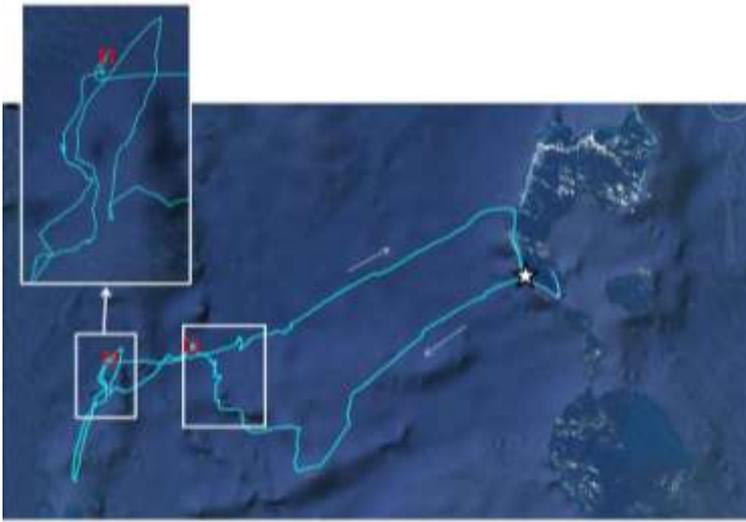


Fig. 12 Trajectoire d'un fou à pieds rouges à partir de l'île Longue (étoile). L'oiseau s'est déplacé rapidement vers le sud-ouest pendant 150 km et après avoir bifurqué au nord, a commencé une période de recherche intensive, puis une seconde (carrés blanc à l'ouest, avec agrandissement de la seconde zone de recherche). Pendant ce trajet, l'oiseau a passé deux nuits en mer (carrés rouges), pendant lesquelles il s'est posé et s'est laissé dériver. Au retour, l'oiseau a eu une trajectoire rectiligne, jusqu'à ce qu'il rencontre le récif des Chesterfield qu'il a longé vers le sud jusqu'à atteindre l'île Longue. Rayon de prospection de l'individu : 298 km ; durée du trajet : 65 heures ; distance parcourue : 989 km.

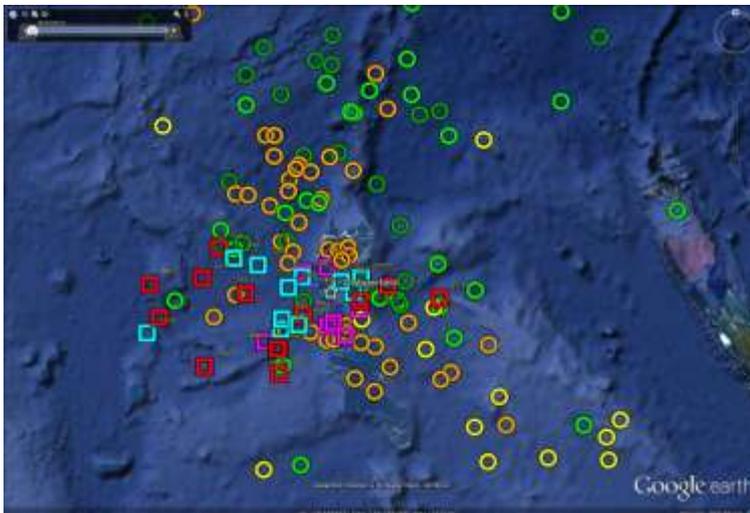


Fig. 13 Zones d'alimentation des frégates ariel (vert foncé : mâles ; jaune : femelles), des frégates du Pacifique (vert clair : mâles ; orange : femelles), des fous à pieds rouges (cyan : mâles ; rouge : femelles) et des fous bruns (mauve). Cercles : frégates (du 27 mai 2012 au 25 décembre 2012); carrés : fous.

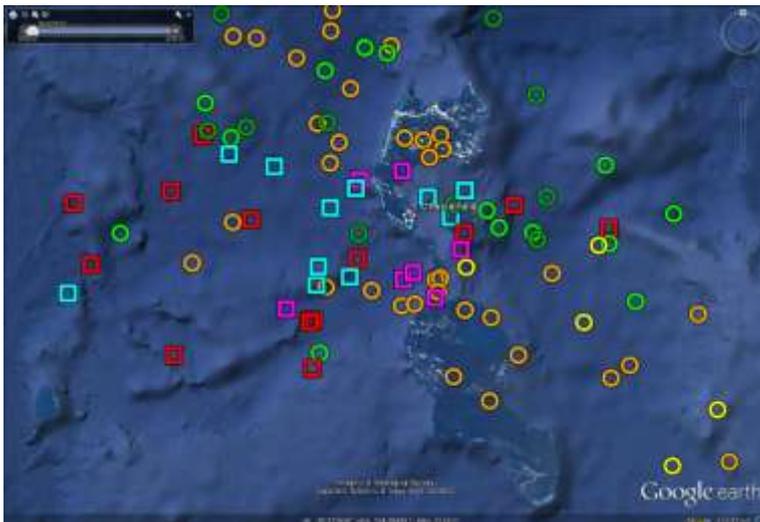


Fig. 14 Agrandissement de la région des Chesterfield montrant les zones d'alimentation des frégates ariel (vert foncé : mâles ; jaune : femelles), des frégates du Pacifique (vert clair : mâles ; orange : femelles), des fous à pieds rouges (cyan : mâles ; rouge : femelles) et des fous bruns (mauve). Cercles : frégates ; carrés : fous.

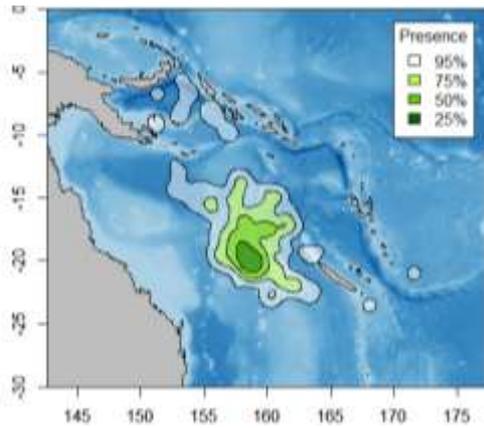


Fig. 15 Densité des zones de recherche alimentaires des deux espèces de frégates lors de la reproduction (du 27 mai 2012 au 25 décembre 2012). Kernels 25-90 %, calculés avec la fonction kernelUD du package adehabitat (sous R) et un facteur de lissage h de 0,5.

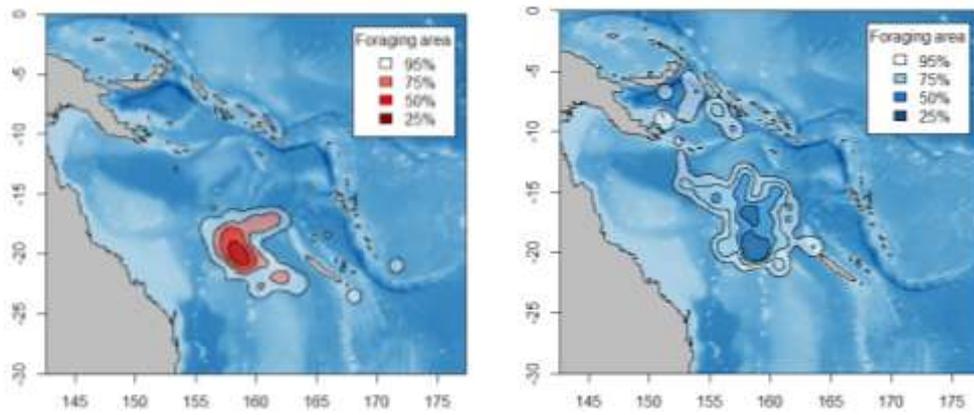


Fig. 16 Densité des zones de recherche alimentaires des deux espèces de frégates, femelles (**gauche**) et mâles (**droite**). Kernels 25-90 %, calculés avec la fonction kernelUD du package adehabitat (sous R) et un facteur de lissage h de 0,5 (du 27 mai 2012 au 25 décembre 2012).

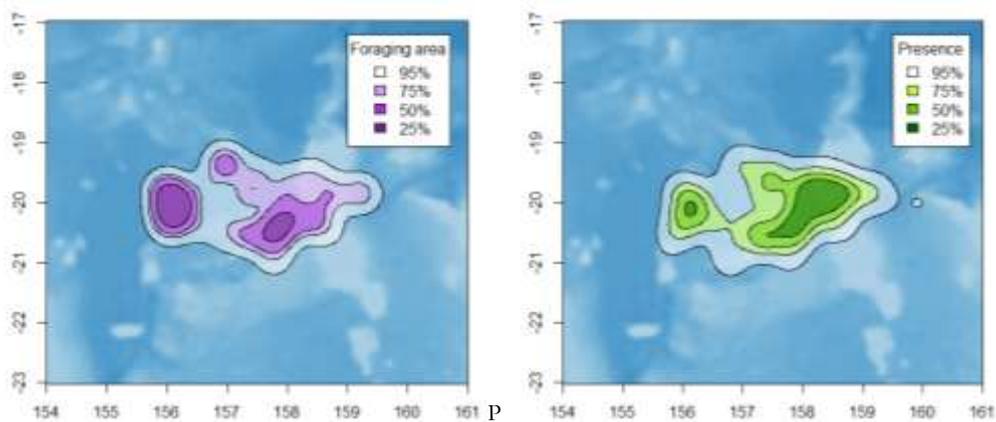


Fig. 17 Densité des zones de recherche alimentaires des fous à pieds rouges et des fous bruns, calculées pour toutes les localisations (**gauche**) et pour les localisations lors des périodes d'alimentation (**droite**). Kernels 25-90 %, calculés avec la fonction kernelUD du package adehabitat (sous R) et un facteur de lissage h de 0.2.

6 Régime alimentaire

Les proies des oiseaux ont été identifiées à partir des régurgitations spontanées advenues lors de leur manipulation pour la pose et la récupération des instruments. Le Tableau 4 détaille les types de proies régurgitées par oiseau. Les proportions de types de proies (en nombre) par espèce sont les suivantes :

- fou brun : calmars 68 % ; Exocoetidae 10 % ; Belonidae 6 % ; Clupeidae 6 % ; Gempylidae 6 % ; Scombridae 3 % (N = 31)
- fou à pieds rouges : calmars 69 % ; Exocoetidae 30 % ; Carangidae 1 % (N = 87)
- frégate du Pacifique : Exocoetidae 100 % (N = 2)

Tous les poissons échantillonnés sauf, peut-être, les Gempylidae, sont des pélagiques de surface. Certains d'entre eux (*Spratelloides gracilis*, *Tylosaurus crocodylus*) ne fréquentent que la proximité des récifs. Ceux-ci ont été capturés par des fous bruns exclusivement.

Tableau 4 Composition des proies régurgitées spontanément par les oiseaux marins des Iles Chesterfield

Espèce, No. individu	Sexe	Colonie	No. photo	Date du prélèvement	Proies régurgitées
Inconnue – noddi ?					
-	-	Ile Longue	P5273923	28 mai 2012	1 Myctophidae intact
Fou brun					
FB Piège	F	Ile Longue	P5294057 ; P6010678	29 mai 2012	1 <i>Tylosaurus crocodylus</i>
FB13	F	Mouillage	P5310615	31 mai 2012	1 Gempylidae ; 2 calmars
FB14	M	Mouillage	P5310609	31 mai 2012	1 <i>Tylosaurus crocodylus</i>
FB20	F	Ile Longue	P6010660	01 juin 2012	restes de poisson non identifiés
FB21	M	Ile Longue	P6010657	01 juin 2012	1 Exocoetidae ; 2 <i>Spratelloides gracilis</i>
FB23	F	Ile Longue	P6070967	04 juin 2012	1 Exocoetidae ; 4 calmars
FB26	F	Ile Longue	P6010663	01 juin 2012	1 Scombridae ; 1 Gempylidae ; 3 calmars
FB27	F	Ile Longue	P6030786	02 juin 2012	6 calmars
Fou à pieds rouges					
FPR1	M	Ile Longue	P5280490	27 mai 2012	1 Exocoetidae
FPR2	F	Ile Longue	P5280489	27 mai 2012	1 Exocoetidae
FPR3	F	Ile Longue	P6010656	01 juin 2012	1 Exocoetidae ; 7 calmars
FPR4	F	Ile Longue	P5280489	27 mai 2012	1 calmar
FPR6	M	Ile Longue	P5280485	28 mai 2012	1 Exocoetidae
FPR7	M	Ile Longue	P6070968	02 juin 2012	1 Exocoetidae ; 4 calmars
FPR9	M	Ile Longue	P6010662	29 mai 2012	1 Exocoetidae ; 3 calmars
FPR10	M	Ile Longue	P5280486	28 mai 2012	1 Exocoetidae ; 5 calmars
FPR12	F	Ile Longue	P6030781 ; P6030782 ; P6030785	03 juin 2012	1 <i>Decapterus macarellus</i>
FPR13	M	Ile Longue	P6010672 ; IMG_1600	28 mai 2012	1 calmar
FPR15	F	Ile Longue	P6010674 ; IMG_1606	28 mai 2012	1 Exocoetidae
FPR15	F	Ile Longue	P6070972	02 juin 2012	1 calmar
FPR17	M	Ile Longue	P6070970	04 juin 2012	1 Exocoetidae ; 6 calmars
FPR18	M	Ile Longue	P6070962	04 juin 2012	1 Exocoetidae ; 5 calmars
FPR20	M	Ile Longue	P6030790	02 juin 2012	4 calmars
FPR21	F	Ile Longue	P6070973	03 juin 2012	3 calmars
FPR22	F	Ile Longue	P6070965	02 juin 2012	1 Exocoetidae ; 2 calmars
FPR23	M	Ile Longue	P6070967	05 juin 2012	1 Exocoetidae ; 4 calmars
FPR24	F	Mouillage	P5310621	30 mai 2012	7 Exocoetidae
FPR24	F	Mouillage	P6070963	05 juin 2012	3 Exocoetidae ; 2 calmars
FPR25	M	Mouillage	P6010679	30 mai 2012	1 Exocoetidae
FPR25	M	Mouillage	P6070964	01 juin 2012	2 Exocoetidae
FPR26	F	Mouillage	P6010670	31 mai 2012	1 Exocoetidae ; 4 calmars
FPR28	F	Ile Longue	P6010677	01 juin 2012	10 calmars
FPR28	F	Ile Longue	P6030789	03 juin 2012	1 Exocoetidae ; 4 calmars
Frégate du Pacifique					
FP11	M	Ile Longue	P6030779	03 juin 2012	1 Exocoetidae
FP13	F	Ile Longue	P6030780	03 juin 2012	1 Exocoetidae

7 Océanographie et relations avec les zones d'alimentation

Le transit de Nouméa aux Chesterfield (2 jours et 2 nuits) ainsi que cinq radiales ont permis d'échantillonner en continu la salinité et la température en surface (-2 m sous la surface) à l'aide du thermosalinographe embarqué, ainsi que la structure des courants sur les 150 premiers mètres à l'aide du sondeur S-ADCP à 153 kHz.

D'autre part, le sondeur acoustique multi-fréquences (ER60, 4 fréquences) était en marche. Les mesures prises par ce sondeur étaient censées nous donner un équivalent de la biomasse micronectonique dans les ~700 premiers mètres de la colonne d'eau. Toutefois, le mauvais temps durant la campagne a introduit trop de bruit dans les données du sondeur acoustique ER60 pour que celles-ci soient exploitables. Le déploiement d'un filet à necton n'a pas été possible en raison du mauvais état de la mer. La configuration mixte de la mission, avec une partie océanographique et, simultanément, une équipe isolée à terre, limitait nécessairement les opérations en mer à moins de quatre heures de la terre, afin, pour le navire, d'être en mesure d'intervenir en cas d'urgence. Cette contrainte a réduit la longueur de chaque radiale à 40 milles des Chesterfield au maximum.

Au final, la seule donnée de biomasse micronectonique exploitable est celle, indirecte, donnée par l'ADCP. On se sert de l'écho réfléchi (backscatter) pour estimer une biomasse équivalente appelée scattering volume (SV). On sait que ce backscatter peut donner une indication sur la biomasse zooplanctonique à micronectonique en général (p. ex., Menkès et al. 2002 ; Radenac et al. 2010) mais on a pu montrer sur les campagnes NECTALis 1 et 2 que ce SV était fortement corrélé ($r^2 = 0.97$) avec les données de biomasse estimées par l'échosondeur ER60 (Menkès et al. 2013). C'est donc essentiellement du micronecton que le sondeur ADCP détecte. C'est ce SV moyenné sur les 50 premiers mètres que nous présentons ici, sachant que le faible rayon des radiales ne nous a permis d'échantillonner qu'une petite partie de la zone d'alimentation des fous et frégates. L'unité du SV est le décibel (dB) ; il s'agit d'un rapport du signal envoyé sur l'écho réfléchi [$SV = -10 \log_{10} (I/I_{ref})$]. Pour avoir un équivalent en biomasse, ou en biovolume, il faut inverser ce signal en utilisant les SV spécifiques des organismes détectés, qu'en général on ne connaît pas.

Situation générale de la campagne MOMALis

La campagne s'est déroulée dans des conditions dites neutres, c'est à dire non ENSO. La carte générale des températures de surface (SST) et celle de la chlorophylle de surface (0 m – ~20 m) sont présentées Fig. 18. On voit qu'au moment de la campagne, la zone en surface entre la Grande Terre et les Chesterfield était oligotrophe (~0.1 mg chlorophylle/m³ ; Fig. 18 bas) et les Chesterfield se situaient sur le front séparant les eaux chaudes de la warm pool au nord des eaux plus tropicales au sud. NB : la chlorophylle est donnée en mg/m³ ; il s'agit d'une concentration moyenne dans les 20-30 premiers mètres de la colonne d'eau, que satellite « voit ».

Données in situ des radiales

Les données in situ (Figs. 19 et 20) montrent une situation contrastée, en termes de salinité, entre les trajets aller et retour du bateau : le navire a traversé des eaux chaudes mais salées au sud (aller) et chaudes et dessalées au nord (retour). Ces trajets ont longé un des méandres du front tropical (Fig. 18 haut). Notre hypothèse est que lors du trajet retour, le bateau a croisé une structure venant du nord plutôt que ce qu'une modification du régime de pluie ait eu lieu entre l'aller et le retour.

La biomasse estimée le long des trajets montre une grande variabilité qui n'est pas directement liée aux conditions hydrodynamiques de surface. On voit que les courants de surface sont eux-mêmes très variables, ce qui correspond à la situation générale de la région dominée par des tourbillons nombreux

(Marchesiello et al. 2010). Une analyse plus poussée déterminera les possibles relations entre ces variations de SV et les paramètres disponibles.

Au niveau de la distribution verticale, la Fig. 21 montre une relative homogénéité des structures sur les 150 premiers mètres de la colonne d'eau, que ce soit en biomasse ou en courants. Les biomasses indiquent aussi une alternance de concentrations plus fortes et moins fortes au cours du temps, ce qui reflète leur variabilité nyctémérale : la biomasse est ainsi plus forte de nuit et moins forte de jour, traduisant alors le mouvement du micronecton vers les couches de profondeur.

Situation détaillée autour des Chesterfield

La situation détaillée indique clairement une augmentation de la biomasse de surface autour des Chesterfield avec des eaux plutôt salées et des températures plutôt froides. L'hydrodynamique de la zone échantillonnée reflète donc l'influence des eaux du sud plutôt que du nord (Fig. 18 haut) et on constate à nouveau la grande variabilité des courants de surface à proximité des îles (Fig. 20c). A cette échelle, on voit nettement une corrélation entre les fronts en biomasse et les fronts thermohalins, notamment pour la transition côte-large.

Satellites et modèles

Les conditions hydrodynamiques ainsi qu'un modèle de micronecton (SEAPODYM) permettent de replacer les zones d'alimentation des oiseaux par rapport aux structures observées et modélisées.

Les données utilisées sont ainsi labellisées :

- GRHSST : température de surface (SST), comme auparavant pour la Fig. 18.
- MODIS : chlorophylle, comme pour la Fig. 18.
- OSCAR : Combinaison de courants géostrophiques déduits à partir de la hauteur de la mer mesurée par satellite, de courants d'Ekman calculés à partir du vent mesuré par satellite et de courants de surface totaux mesurés par bouées dérivantes ainsi que les produits dérivés (http://www.esr.org/oscar_index.html). Les courants d'OSCAR sont donnés à 15 m de profondeur et représentent les courants totaux. A partir des courants, on peut dériver la convergence et la divergence du fluide calculées par divergence des courants (la divergence étant une opération mathématique). Lorsque la divergence des courants est négative, le fluide converge et des vitesses verticales vers les profondeurs (insondables) se mettent en place – on a alors un downwelling. Au contraire, si la divergence est positive, cela correspond à un upwelling. Le paramètre d'Okubo-Weiss (okw) est ainsi calculé : $okw = \text{straining}^2 - \text{curl}^2$, straining étant le terme établi pour le taux de déformation calculé à partir des dérivées de vitesses et curl = la partie rotationnelle du fluide calculée à partir de dérivées de vitesse. Le critère d' okw est ainsi défini : si $okw < 0$ alors c'est le rotationnel qui domine et dans ce cas, on considère que l'on est dans la partie du fluide qui recircule par rapport à celle qui se déforme ($okw > 0$). L'application du critère d'Okubo-Weiss permet de déterminer les structures tourbillonnaires, c'est à dire les zones où $okw < 0$.
- Niveau de la mer (SLA) mesuré par satellite et produits dérivés (http://oceanwatch.pifsc.noaa.gov/las-FDS/LAS/Altimetry_Merged_Weekly/ssh-Altimetry_Merged_Weekly_ssh_and_vectors). Les produits dérivés sont les courants géostrophiques de surface qui sont proportionnels aux gradients de SLA et qui ne représentent qu'une portion des courants précédents mais qui sont plus précis. La convergence et le critère d'Okubo-Weiss sont utilisés, comme précédemment.

- Production primaire nette (PP) dérivée des satellites mesurant la couleur de l'eau (<http://www.science.oregonstate.edu/ocean.productivity/>) et qui n'est donc pas une mesure directe.
- Les sorties du sous-modèle de micronecton du modèle de thons SEAPODYM (Lehodey et al. 2011) issues d'une simulation NEMO-GLORYS (configuration océanique) contemporaine à notre campagne. Nous n'avons ici, dans ce travail préliminaire, considéré que la couche épipélagique (0 m - ~100 m).

Caractérisation des zones d'alimentation

Nous avons extrait, aux points d'alimentation des fous et frégates, les données concernant les variables listées dans la section qui précède. Une analyse multivariée devrait nous permettre de déterminer quelles sont les combinaisons de facteurs structurantes.

Les fous s'alimentent clairement dans les zones les plus froides, au sud des eaux chaudes de la warm pool (Fig. 22). Ces eaux sont aussi plus riches en chlorophylle qu'au nord, dans les eaux chaudes (Fig. 23), même si la zone reste globalement très pauvre. Les fous à pieds rouges ne vont pas s'alimenter dans la zone la plus riche du sud qui, à cette époque de l'année, se situe autour des Bellona. La Fig. 24 indique que les fous s'alimentent préférentiellement dans les zones d'upwelling (divergence positive et températures les plus froides) et sur la marge des structures tourbillonnaires. Ceci est en accord avec le fait que c'est souvent au niveau des zones d'upwelling que les écosystèmes sont le plus productifs. Les divergences modélisées à partir des données SLA (Fig. 24) sont sensiblement les mêmes qu'à partir des données OSCAR (Fig. 25) mais dans le détail, les deux champs de courants diffèrent. Ceci illustre la difficulté de comprendre, sur la base de données exogènes, les relations entre environnement et prédateurs supérieurs à une échelle fine. On pense que le jeu SLA est meilleur à échelle fine mais on sait aussi qu'il ne présente qu'une partie de la variabilité géostrophique. Dans le futur, nous tenterons de déterminer avec quel jeu de données les zones de nourrissage sont le plus corrélées, via la construction d'un modèle statistique multivarié (GLM, SVM ou autre). Comme avec la carte de la chlorophylle, la Fig. 26 gauche indique une alimentation plutôt en bordure d'une zone plus riche (que vers le nord) mais pas directement dans la zone la plus riche située aux Bellona. La carte de micronecton correspondante (Fig. 26 droite) indique la même chose et n'est pas spécialement plus informative que la carte de PP à fine échelle. D'où la nécessité de réaliser des simulations de micronecton dédiées et à très haute résolution.

La Fig. 27 présente les zones frontales au jour, avec les positions des fous. Les couleurs représentent le temps mis par les eaux pour converger (en jours). Lorsque ce temps est faible (couleur rouge sur la figure), on observe un front. Il semble que les fous se nourrissent davantage sur les fronts que sur les divergences (en bleu) mais cela est visible seulement certains jours ; l'inverse pourrait être vrai d'autres jours. Une analyse statistique approfondie et sur une période étendue permettrait éventuellement de tester cette hypothèse.

Comme les positions des frégates sont distribuées sur une longue période (juin 2012 à janvier 2103), nous avons choisi de représenter les conditions moyennes mensuelles en superposant les positions des zones d'alimentation correspondantes. Les Figs. 28, 29 et 30 nous montrent des structures d'alimentation indépendantes de la structure des champs à l'échelle mensuelle. Par contre, les Figs. 31 et 32 (les divergences calculées dans les deux sources de données oceanwatch et OSCAR) indiquent une préférence pour des habitats avec divergence (comme pour les fous), c'est à dire là où le fluide subit un upwelling et préférentiellement dans les zones où l'activité tourbillonnaire est importante (Figs. 33, 34). Ceci semble être en accord avec les études réalisées sur les frégates dans l'océan indien (Tew-Kai et al. 2009). La Fig. 33 semble aussi indiquer que la production primaire n'est pas discriminante. Ceci est compréhensible dans les écosystèmes à longue chaîne trophique de zone oligotrophe (car les oiseaux ne se nourrissent pas de phytoplancton) mais aussi parce que la structure de surface de la production ne reflète pas nécessairement

la richesse de l'écosystème dans ces zones pauvres. La Fig. 36 de micronecton ne semble pas indiquer de structure particulière, ce qui montre à nouveau la nécessité d'effectuer une modélisation de la chaîne trophique spécifique à la zone étudiée.

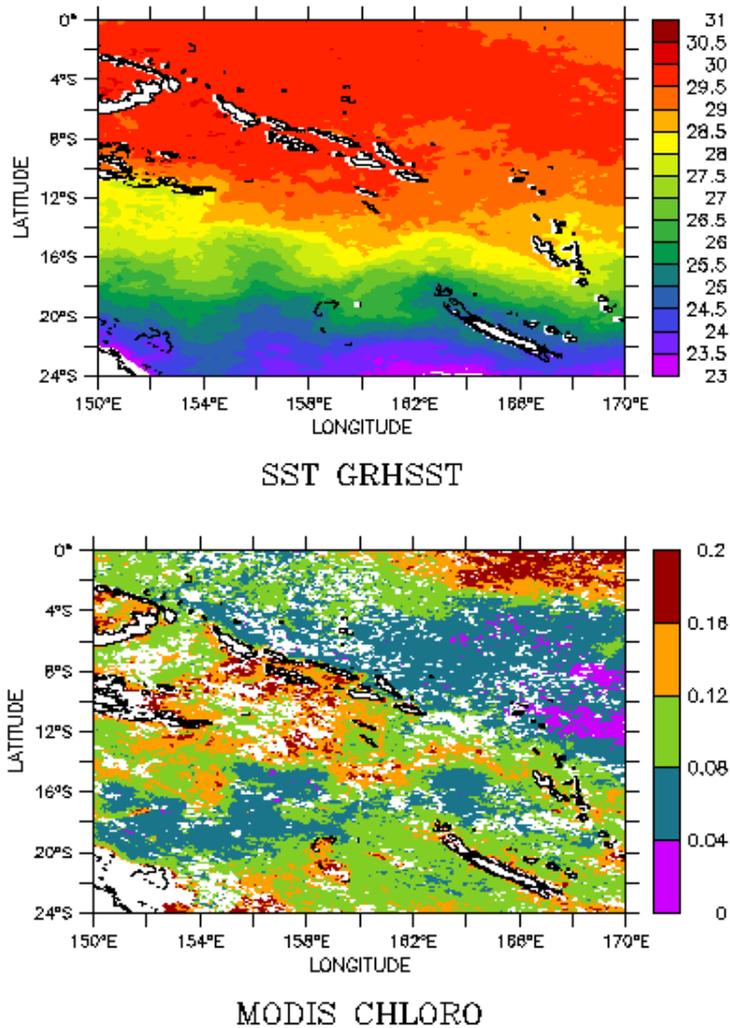


Fig. 18 Haut : température de surface (SST) tirée des données GRHSST (BOM) au 1/12° de longitude et de latitude durant la période de la campagne MOMALIS. **Bas** : données de concentration en chlorophylle (en mg.m⁻³) du satellite MODIS pour la même période .

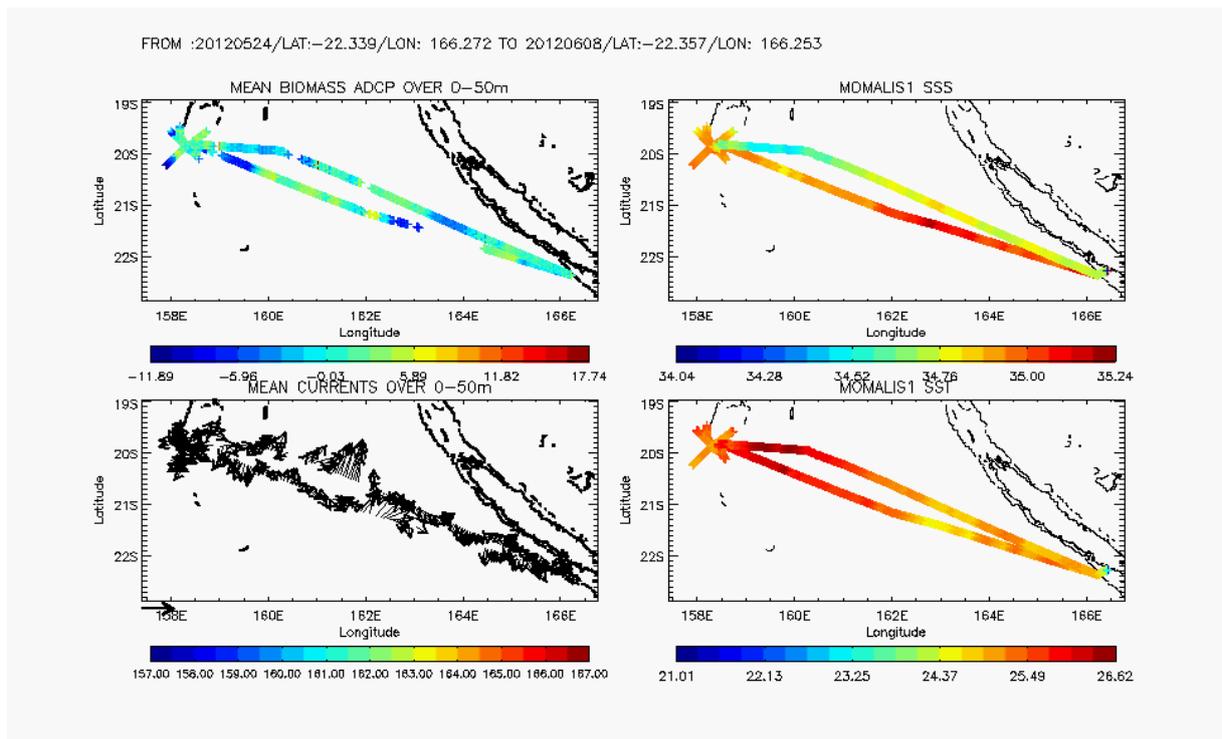


Fig. 19 Résumé des données in situ collectées durant les trajets de l'*Alis* ; la route au sud est l'aller. **Haut, gauche** scattering volume (SV, en dB) en anomalie sur toute la période (on retire la moyenne sur toute la période) ; les valeurs les plus fortes sont positives et les moins fortes sont négatives. **Haut, droite** : données de salinité de surface. **Bas, gauche** : courants moyens sur 50 m ; la longueur de la flèche en mage de la figure indique 0.5 m/s. **Bas, droite** : température de surface

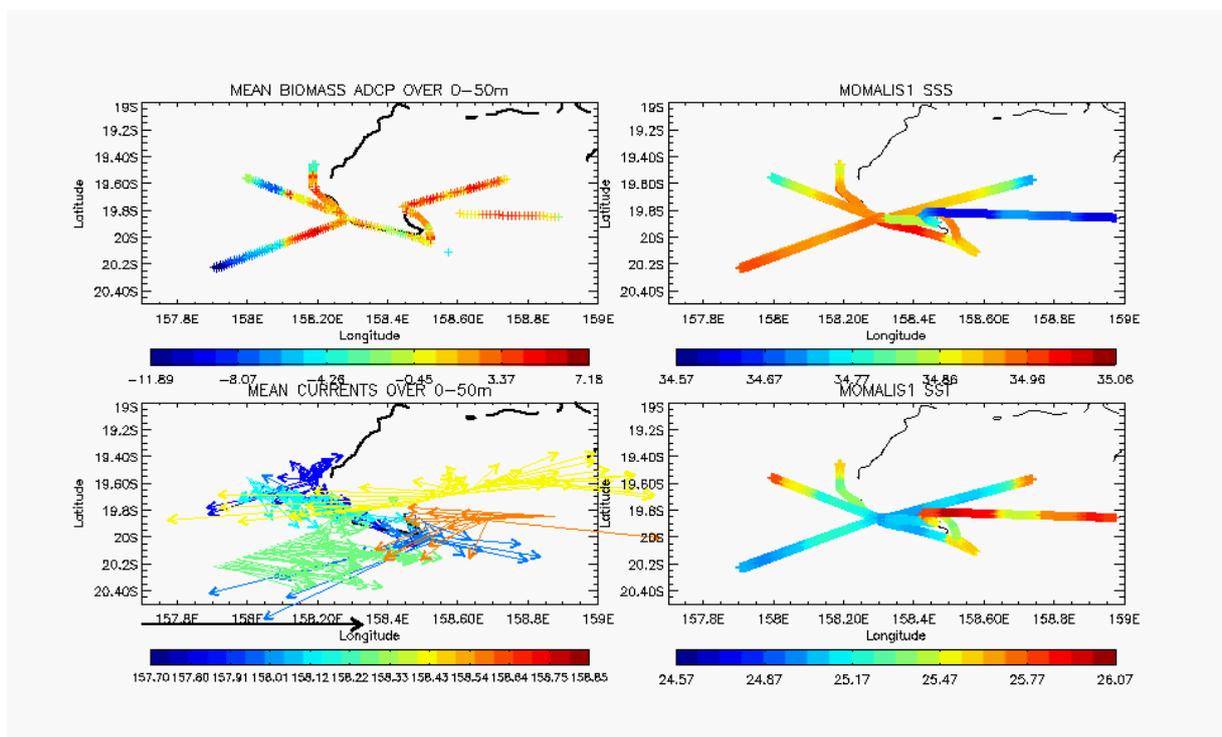


Fig. 20 Détail de la Fig. 19 : zoom sur la zone des Chesterfield . La carte des courants distingue chaque radiale par une couleur.

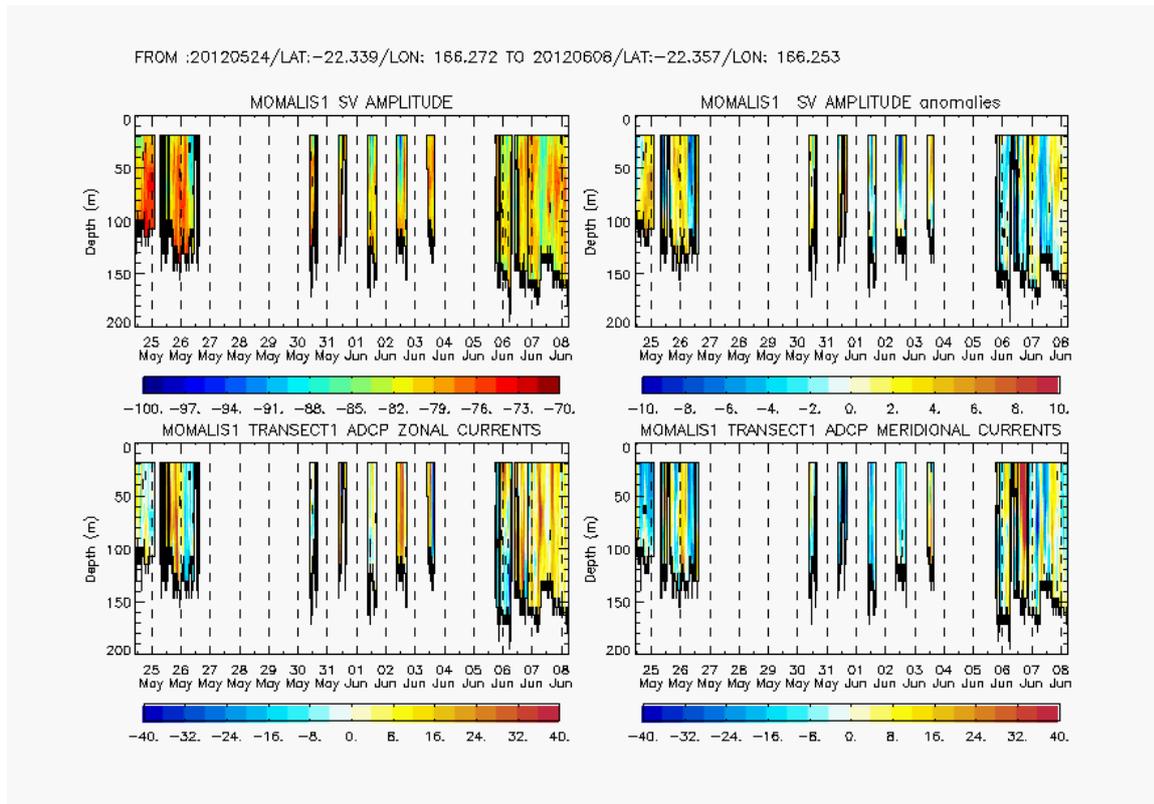


Fig. 21 Coupes verticales de SV et de courant avec, en **haut droite** amplitude du SV (dB) ; **gauche** idem, mais en anomalies par rapport à toute la campagne. **Bas**, courants zonaux (**gauche**) et méridiens (**droite**) en cm/s

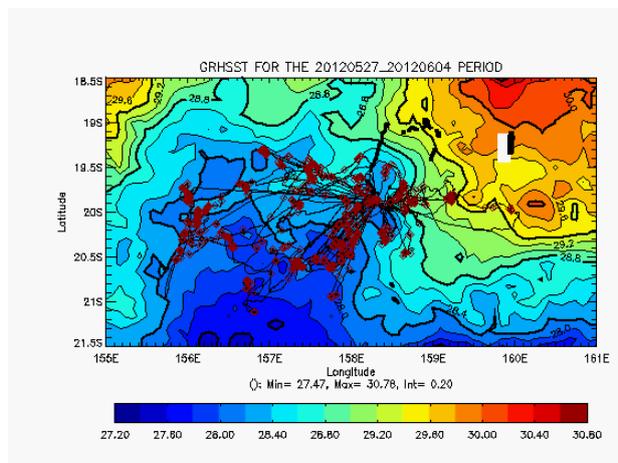


Fig. 22 Carte de SST GRHSST durant la période du 27 mai au 04 juin 2012, à laquelle nous avons superposé les zones d'alimentation des fous, définies pour des vitesses de vol < 1 m/s (losanges rouges)

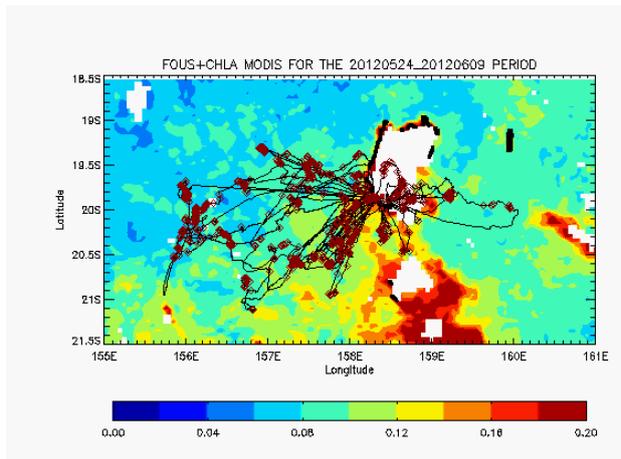


Fig. 23 Carte de chlorophylle durant la période du 24 mai au 09 juin 2012, à laquelle nous avons superposé les zones d'alimentation des fous, définies pour des vitesses de vol < 1 m/s (losanges rouges)

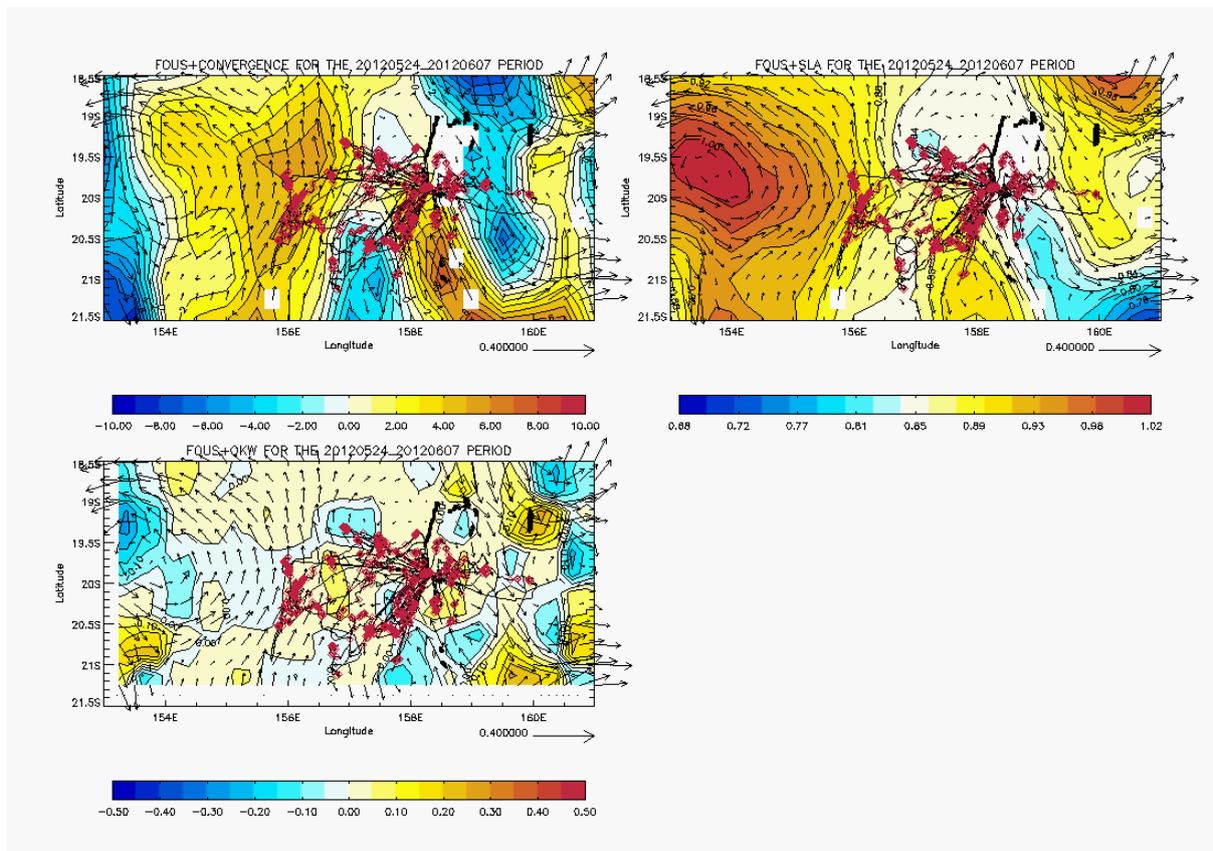


Fig. 24 Positions d'alimentation des fous (losanges) superposées aux cartes océanographiques. **Haut gauche** convergence du fluide (downwelling) en bleu et divergence (rouge, upwelling) en 10^6 s^{-1} ; **droite** niveau de la mer (SLA) (en m) avec courants. **Bas**, okw en jour⁻². Les courants sont les courants géostrophiques de surface : leurs sens et intensités sont symbolisés par des flèches (échelle au bas de chaque sous figure : 0.5 m/s). Période concernée : du 24 mai au 07 juin 2012.

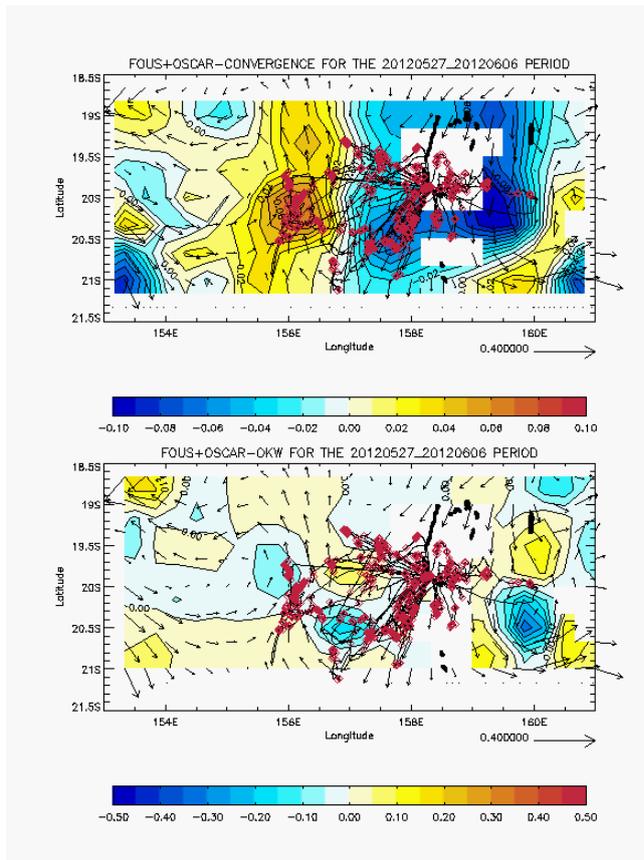


Fig. 25 Même chose que pour la figure 24 mais à partir de la base de données OSCAR (convergence en haut et okw en bas). Les sens et intensités des courants sont indiqués par des flèches (échelle au bas de chaque sous figure : 0.5 m/s). Les mois sont indiqués dans les titres.

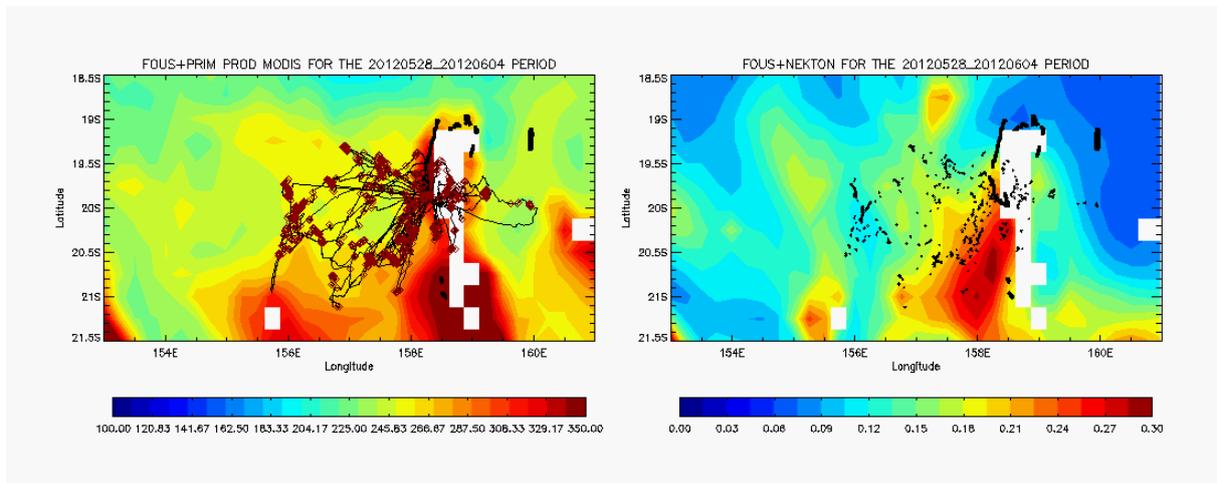


Fig. 26 Positions d'alimentation des fous (points) superposées aux cartes océanographiques. **Gauche** : biomasse intégrée sur la couche épipelagique du micronecton de SEAPODYM (g C). **Droite** : production primaire (pp) en mg C/m²/j.

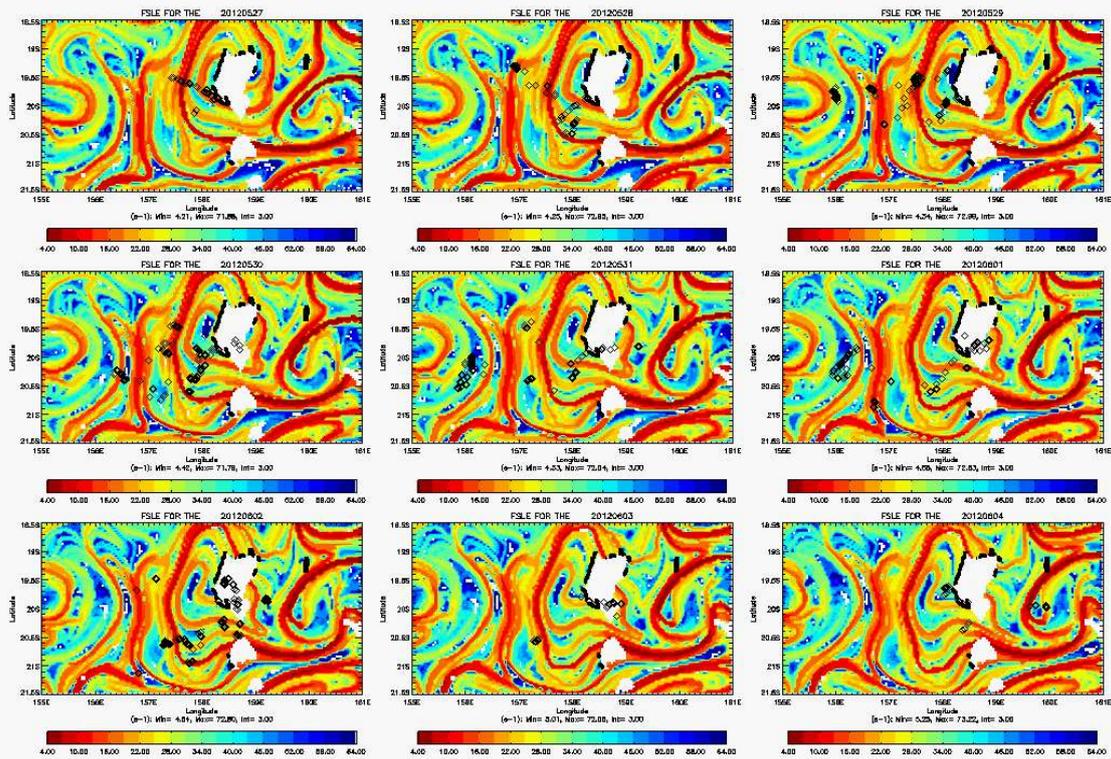


Fig. 27 Positions d'alimentation des fous (losanges) durant la période de l'étude (27 mai – 04 juin 2012) superposées aux cartes journalières du temps de concentration des eaux (en jours), à partir de point de fluide distants de 60 km (F. d'Ovidio et F. Deboissieu, comm. pers.). Par exemple, lorsqu'on lit 30, le temps de convergence des eaux est 30 jours en ce point si elles étaient distantes de 60 km 30 jours avant. Ainsi, les faibles valeurs en rouge indiquent les zones où les eaux convergent rapidement, c'est à dire les zones frontales. Les cartes ont été obtenues à partir des données satellitaires traitées selon les algorithmes présentés dans Tew-Kai et al. (2009).

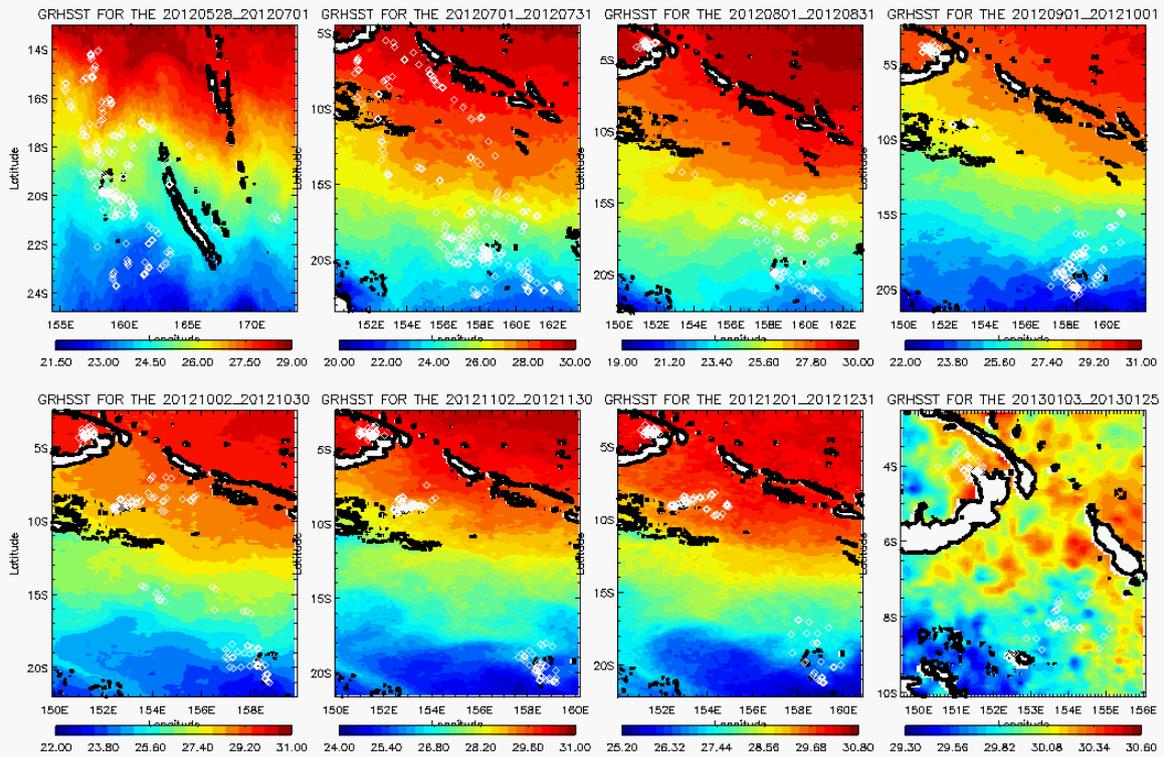


Fig. 28 Zones d'alimentation des frégates (losanges blancs) superposées à la carte des températures de surface, pour la période de juin 2012 à janvier 2013. Les dates sont précisées dans la légende de chaque sous-figure

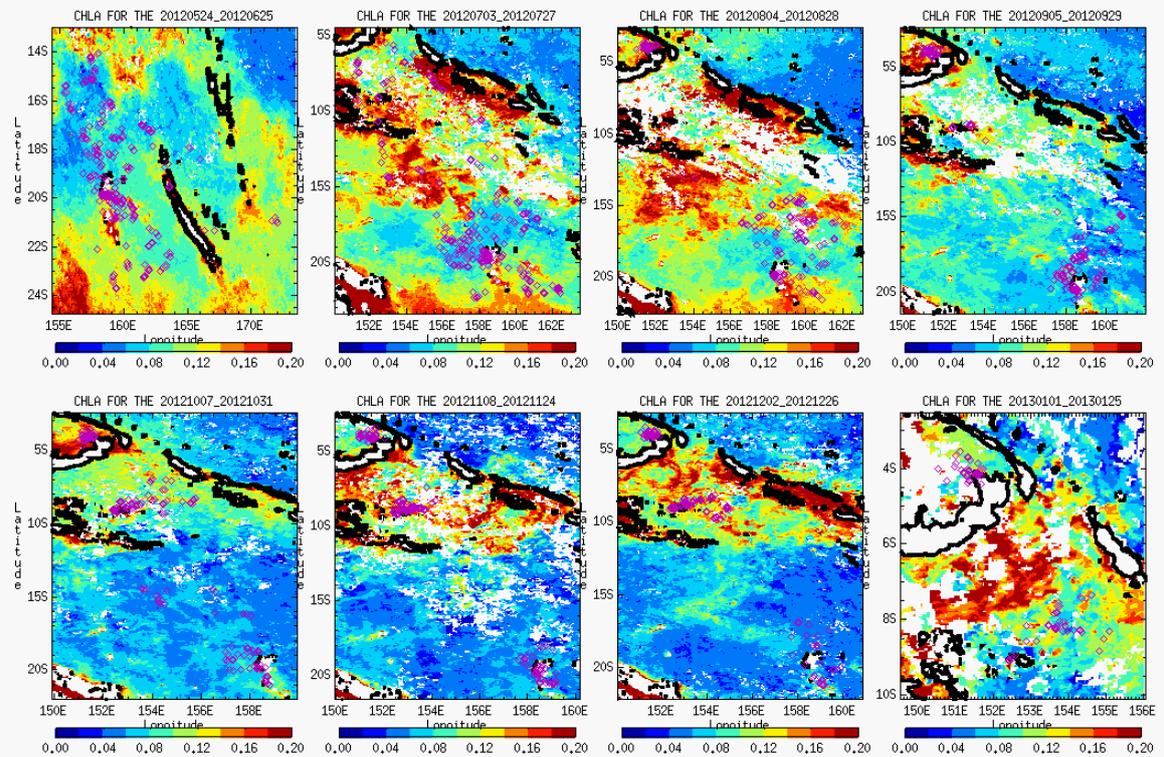


Fig. 29 Positions d'alimentation des frégates (losanges mauves) pour la période de juin 2012 à janvier 2013, superposées aux cartes de chlorophylle. Les mois sont indiqués dans les titres.

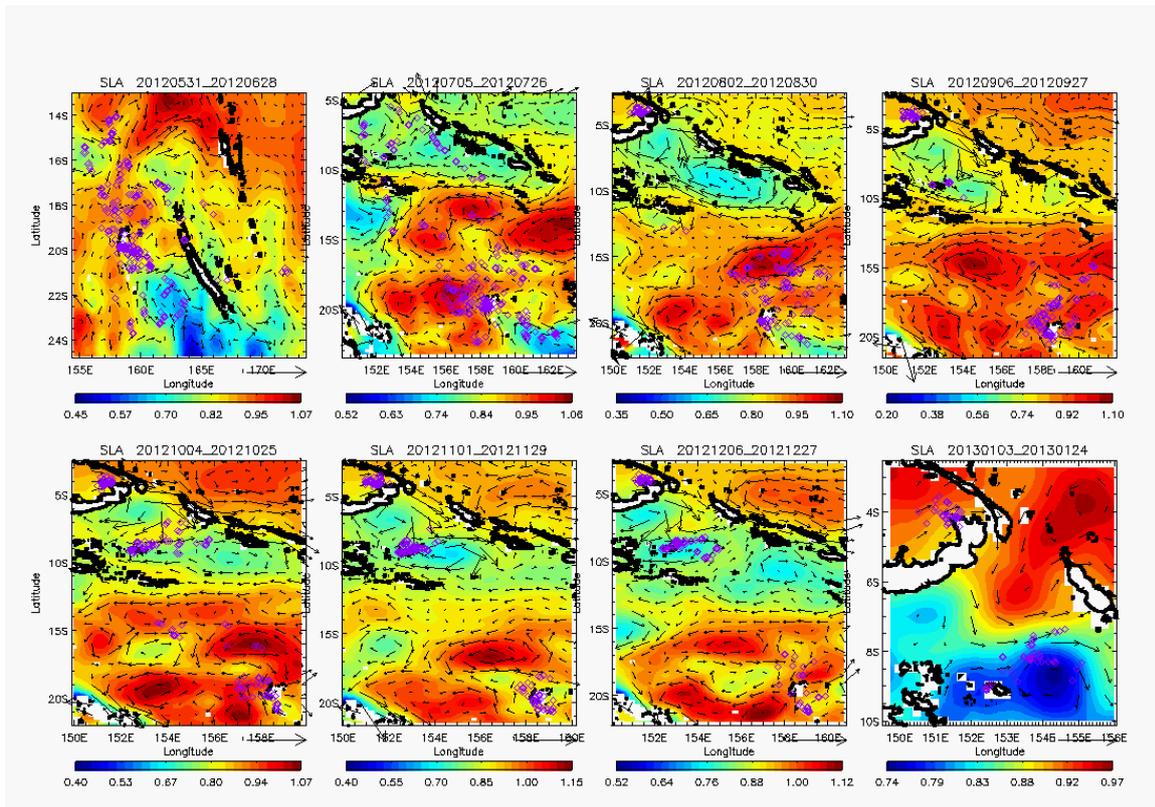


Fig. 30 Positions d'alimentation des frégates (losanges mauves) pour la période de juin 2012 à janvier 2013, superposées aux cartes du niveau de la mer (SLA, en m). Les sens et intensités des courants sont indiqués par des flèches (échelle au bas de chaque sous figure : 0.5 m/s). Les mois sont indiqués dans les titres.

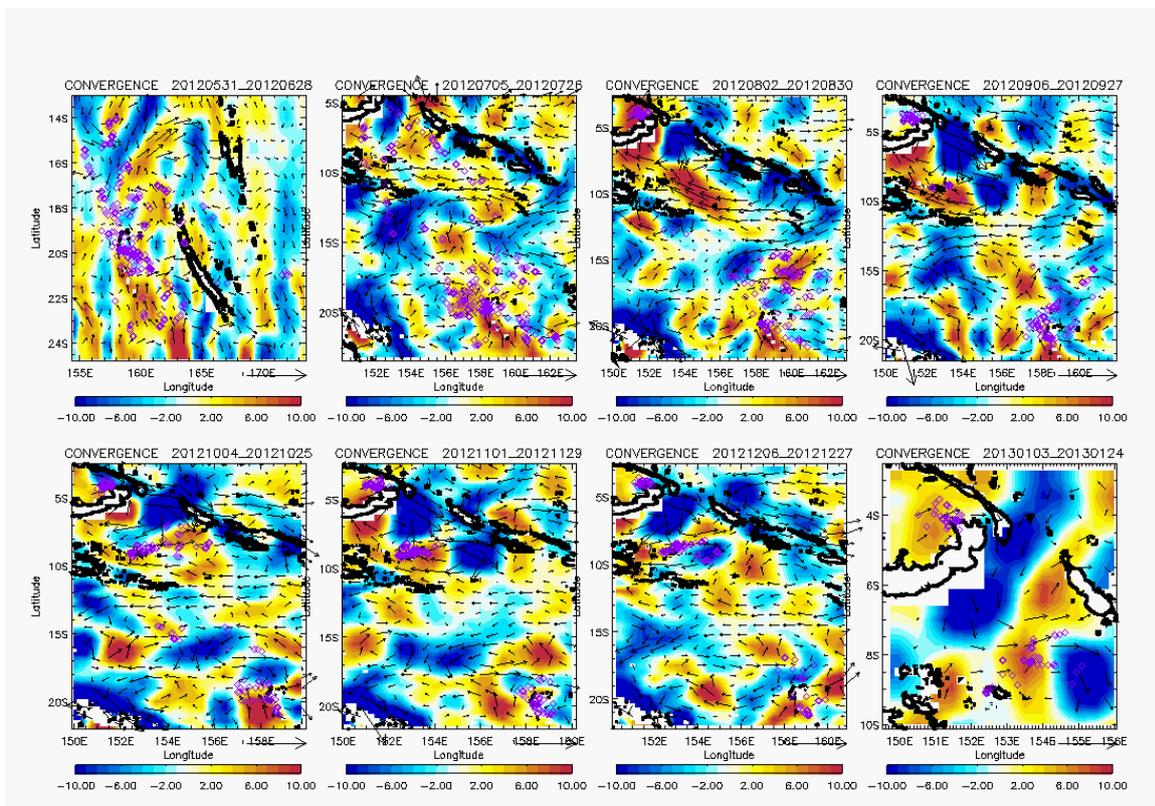


Fig. 31 Positions d'alimentation des frégates (losanges mauves) pour la période de juin 2012 à janvier 2013, superposées aux cartes de divergence des eaux d'après les données oceanwatch. Les sens et intensités des courants sont indiqués par des flèches (échelle au bas de chaque sous figure : 0.5 m/s). Les mois sont indiqués dans les titres des sous-figures.

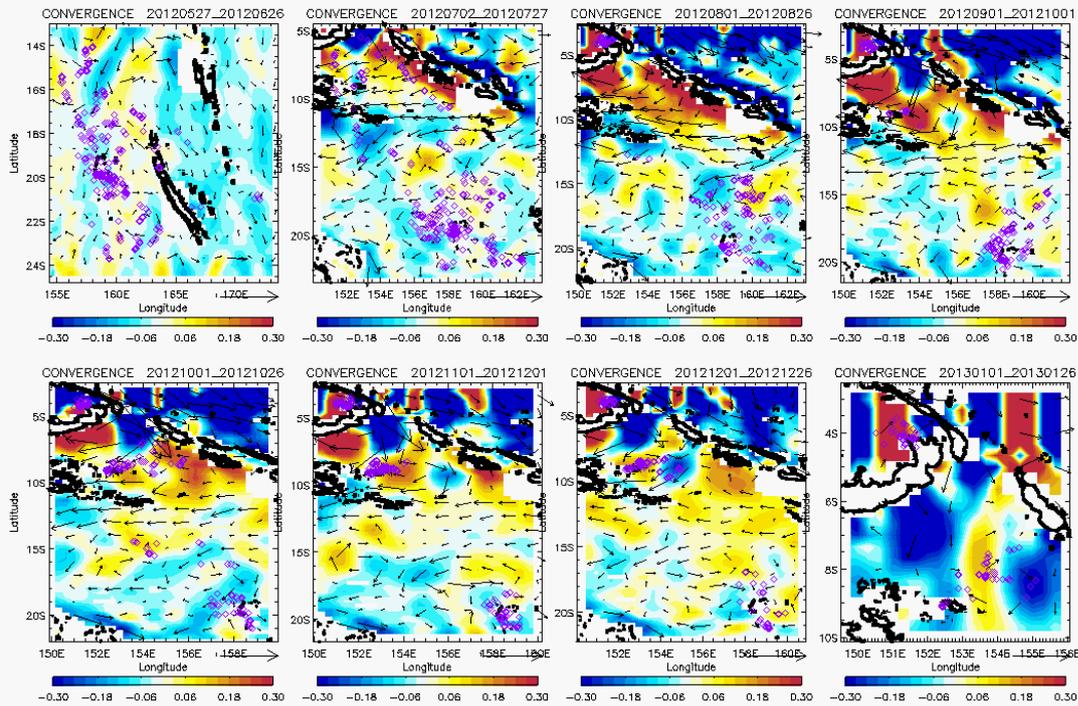


Fig. 32 Positions d'alimentation des frégates (losanges mauves) pour la période de juin 2012 à janvier 2013, superposées aux cartes de divergence des eaux d'après les données OSCAR. Les sens et intensités des courants sont indiqués par des flèches (échelle au bas de chaque sous figure : 0.5 m/s). Les mois sont indiqués dans les titres.

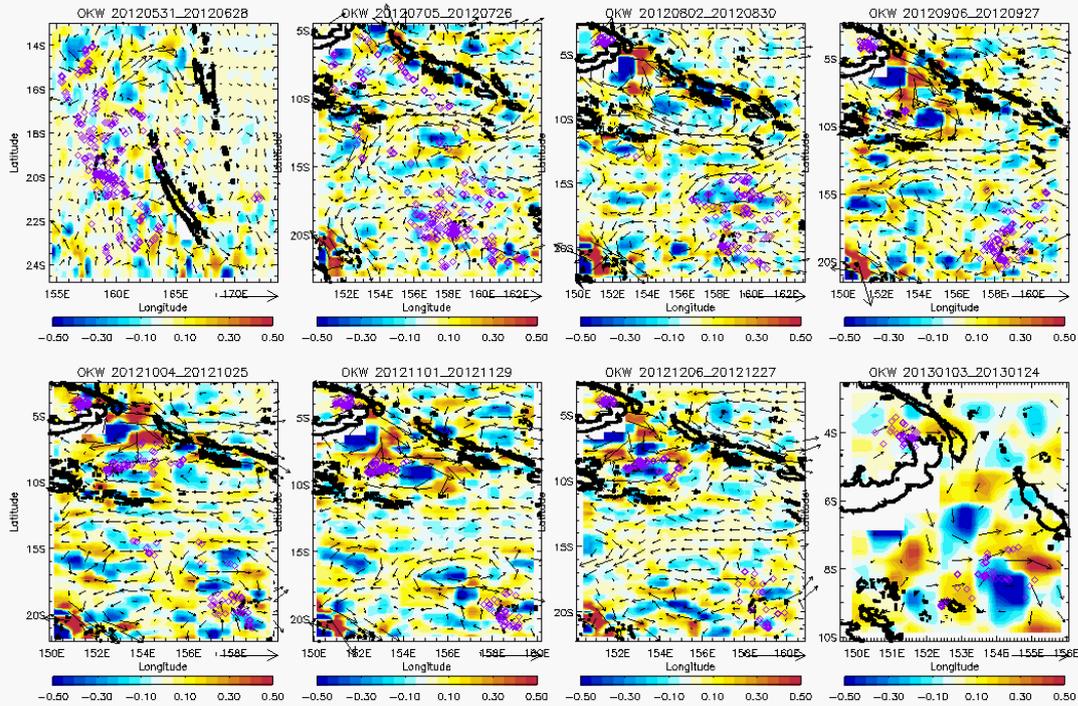


Fig. 33 Positions d'alimentation des frégates (losanges mauves) superposées aux okw (jour⁻²) d'après les données du satellite oceanwatch, pour la période de juin 2012 à janvier 2013. Les sens et intensités des courants sont indiqués par des flèches (échelle au bas de chaque sous figure : 0.5 m/s). Les mois sont indiqués dans les titres.

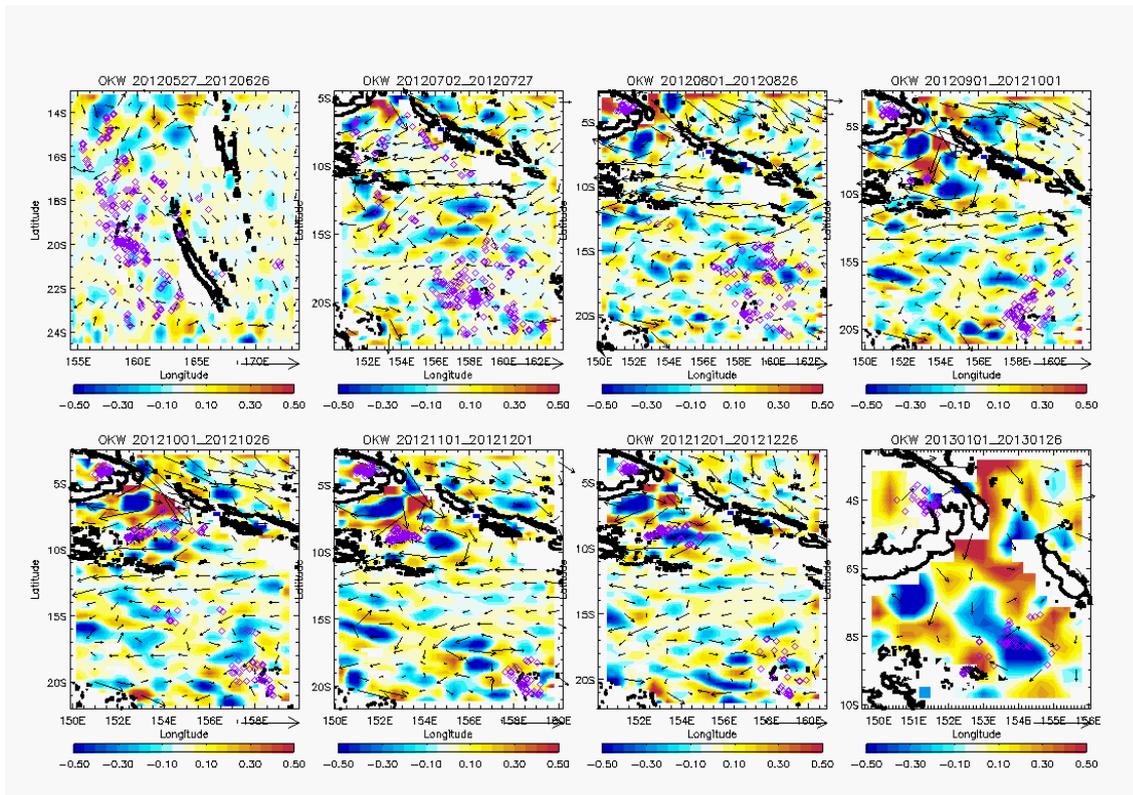


Fig. 34 Positions d'alimentation des frégates (losanges mauves) pour la période de juin 2012 à janvier 2013, superposées aux cartes de distribution des okw. Les sens et intensités des courants sont indiqués par des flèches (échelle au bas de chaque sous figure : 0.5 m/s). Les mois sont indiqués dans les titres.

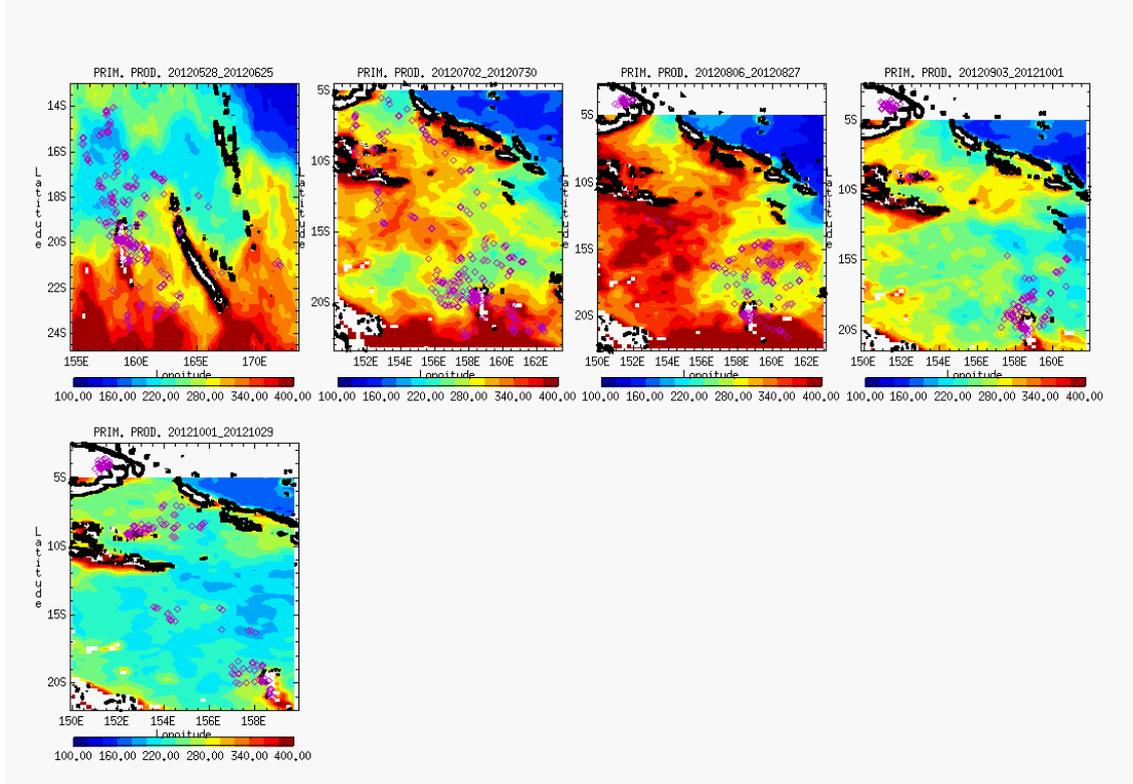


Fig. 35 Positions d'alimentation des frégates (losanges mauves) pour la période de juin à octobre 2012, superposées aux cartes de distribution de PP obtenues à partir d'une simulation SEAPODYM. Les mois sont indiqués dans les titres. La simulation SEAPODYM s'arrêtant en octobre 2012, nous n'avons pas les mois suivants.

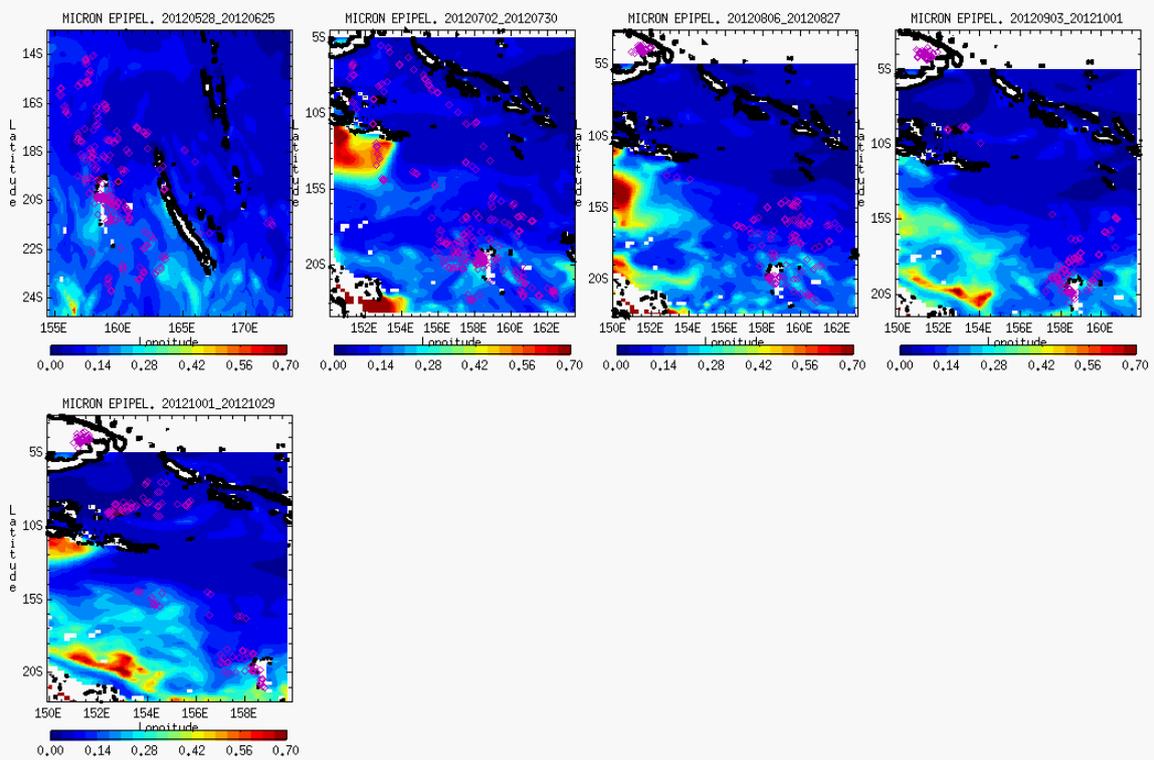


Fig. 36 Positions d'alimentation des frégates (losanges mauves) pour la période de juin à octobre 2012, superposées aux cartes de distribution du micronecton épipelagique. Les mois sont indiqués dans les titres. La simulation SEAPODYM s'arrêtant en octobre, nous n'avons pas les données pour les mois suivants.

8 Discussion générale et conclusions

L'objectif de la mission aux Chesterfield était de contribuer à comprendre, d'une part, les mécanismes océanographiques qui aboutissent à la concentration de proies marines (celles recherchées par les grands prédateurs marins) et, d'autre part, déterminer les rayons d'action et les stratégies de prospection des oiseaux marins (Weimerskirch et al. 2003 ; Weimerskirch 2007). Ces recherches, inédites dans la zone, permettent d'ores et déjà d'améliorer notre connaissance et notre compréhension de l'écosystème océanique de la mer de Corail.

Nous avons ainsi pu cartographier les zones d'alimentation autour des îles Chesterfield en équipant les oiseaux marins de récepteurs GPS et de balises Argos. Ces zones d'alimentation, présumées correspondre à des foyers de production secondaire ont été superposées aux structures océanographiques modélisées à partir des données satellitaires (température de surface, chlorophylle, niveau de la mer) en temps réel, en utilisant une approche semblable à celle de Tew-Kai et al. (2009). Nous avons ainsi pu voir que les zones de nourrissage des oiseaux semblaient coïncider avec des structures d'upwelling tourbillonnaires, mais pas avec les structures produites à l'aide d'un modèle de micronecton. Il conviendra d'analyser statistiquement ces aspects pour conclure sur la robustesse de ces assertions.

Conjointement à ces analyses satellitaires et de modélisation, il semble important d'aller échantillonner in situ, avec un navire océanographique, la nature de ces relations, en particulier dans les zones où les animaux se nourrissent. S'il est certain que la nourriture contraint le comportement des oiseaux, à l'heure actuelle, nous n'avons qu'un modèle (SEAPODYM) pour comprendre le micronecton. Or, ce modèle n'a pas encore été validé dans la zone. A partir des données acquises lors de la mission MOMAlis, les prédictions de ce modèle ne semblent pas montrer de relation avec les zones d'alimentation des oiseaux. Par conséquent, le modèle SEAPODYM reste certainement à affiner pour la zone concernée.

Remerciements

Nous remercions Patrick Lehodey (CLS Toulouse) pour son aide avec le modèle SEAPODYM 'Micronecton', ainsi que Francesco d'Ovidio (LOCEAN, Paris) et Florian Deboissieu (LOCEAN, Paris) pour leur aide dans les analyses des zones frontales et des filaments. La mission MOMAlis a été financée par la Commission de la flotte côtière, l'Agence des aires marines protégées, l'IRD et le CNRS.

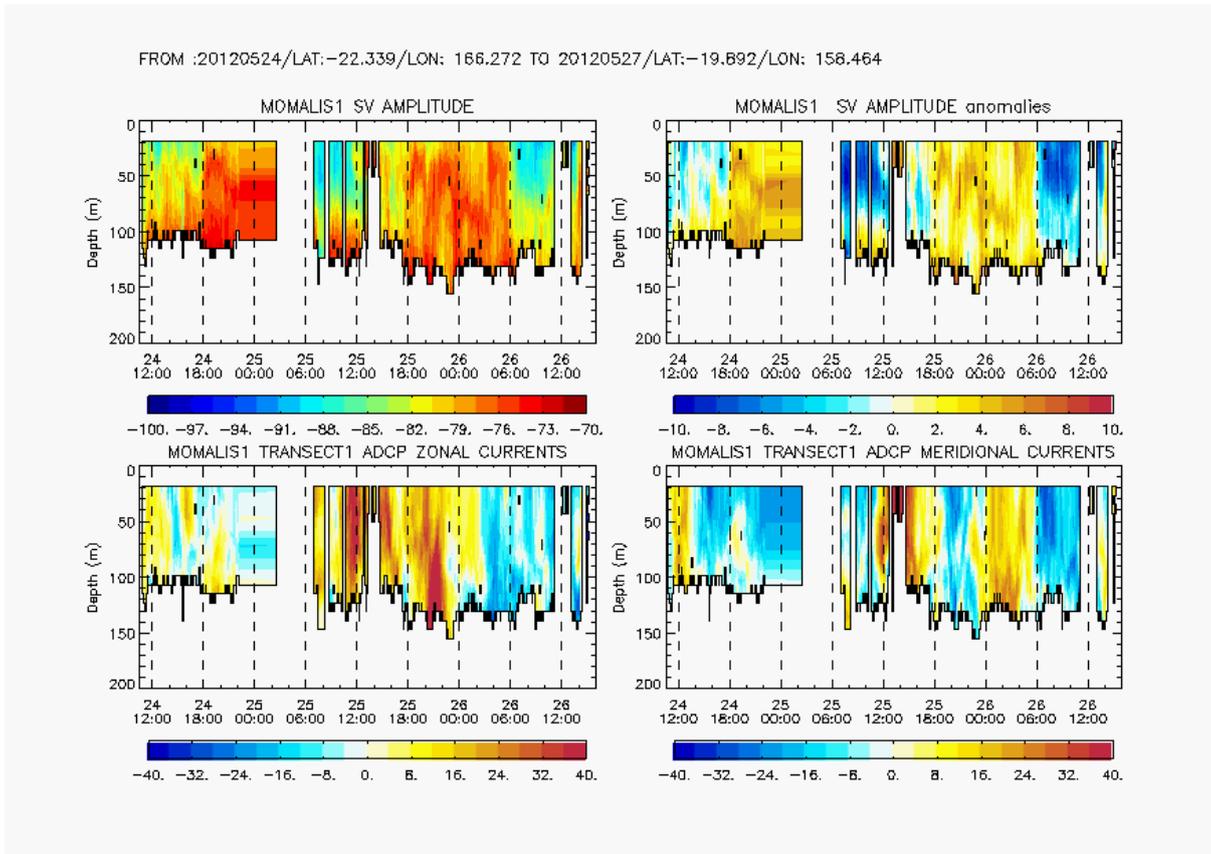
Références

- Au DWK, Pitman RL. 1986. Seabird interactions with tuna and dolphins in the eastern tropical Pacific. *Condor* 88, 304-317.
- Borsa P, Pandolfi M, Andréfouët S, Bretagnolle V. 2010. The breeding avifauna of the Chesterfield islands, Coral Sea: current population sizes, trends, and threats. *Pacific Science* 64, 297-314.
- Bourne WRP, David ACF, McAllan IAW. 2005. The birds of the southern Coral Sea including observations by HMS *Herald* in 1858–60. *Atoll Research Bulletin* 541, 239–264.
- De Monte S, Cotté C, d'Ovidio F, Lévy M, Le Corre M, Weimerskirch H. 2012. Frigatebird behaviour at the ocean-atmosphere interface: integrating animal behaviour with multisatellite data. *Journal of the Royal Society Interface* 7, 3351-3358
- Lehodey P, Hampton J, Brill RW, Nicol S, Senina I, Calmettes B, Pörtner H, Bopp L, Ilyina T, Bell JD, Sibert J. 2011. Vulnerability of oceanic fisheries in the tropical Pacific to climate change. Pages 433 – 492 in JD Bell, JE Johnson and Aj Hobday (eds). *Vulnerability of tropical Pacific fisheries and aquaculture to climate change*. Secretariat of the Pacific Community. Available from www.spc.int.

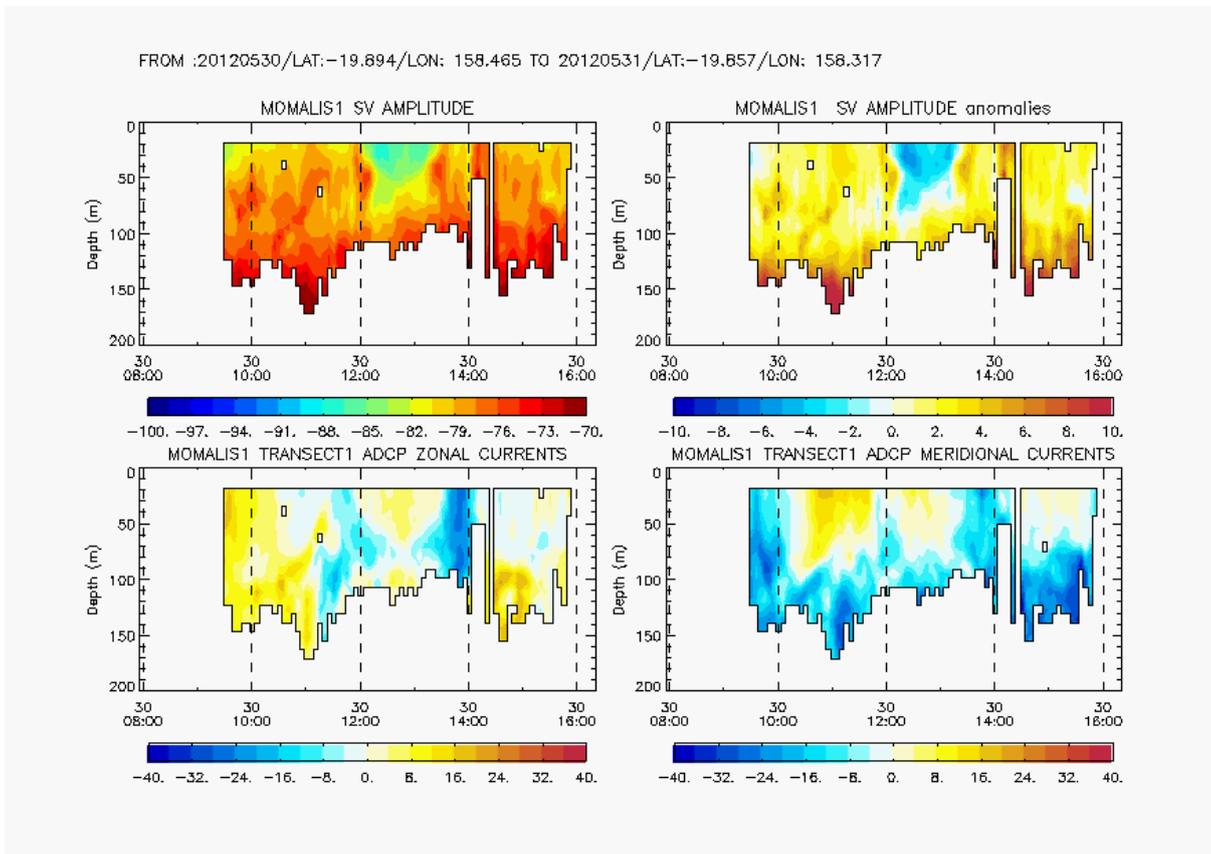
- Marchesiello P, Lefèvre J, Vega A, Couvelard X, Menkes C. 2010. Coastal upwelling, circulation and heat balance around New Caledonia's barrier reef. *Mar Poll Bull* 61, 432-448
- Menkes C., Kennan SC, Flament P, Dandonneau Y, Marchal E, Biessy B, Eldin G, Masson S, Lebourges A, Moulin C, Champalbert G, Grelet J, Montel Y, Herbland A, Morlière A. 2002. A whirling ecosystem in the Equatorial Atlantic. *Geophys. Res. Lett.* 29, 10.1029/2001GL014576.
- Menkes C et al. 2013. The Nectalis cruises: understanding albacore tuna and its environment in the New Caledonia EEZ. *Deep Sea Res, CLIOTOP special issue*, in prep.
- Radenac H, Plimpton PE, Lebourges-Dhaussy A, et al. 2010. Impact of environmental forcing on the acoustic backscattering strength in the equatorial Pacific: diurnal, lunar, and interannual variability. *DSRI* 57, 1314-1328.
- Tew-Kai E, Rossi V, Sudre J, Weimerskirch H, Lopez C, Hernandez-Garcia E, Marsac F, Garçon V 2009, Top marine predators track Lagrangian coherent structures, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* 106, 8245-8250
- Weimerskirch H. 2007. Are seabirds foraging for unpredictable resources? *Deep Sea Research II* 54, 211–223.
- Weimerskirch H, Bertrand S, Silva J, Bost CA, Peraltilla S. 2012. Foraging in Guanay cormorant and Peruvian booby, the two major guano-producing species in the Humboldt Current System. *Marine Ecology Progress Series* 458: 231–245.
- Weimerskirch H, Chastel O, Barbraud C, Tostain O., 2003. Frigatebirds ride high on thermals. *Nature* 421, 333–334.
- Weimerskirch H, Le Corre M, Jaquemet S, Marsac F. 2005. Foraging strategy of a tropical seabird, the red-footed booby, in a dynamic marine environment. *Marine Ecology Progress Series* 288, 251-261
- Weimerskirch H, Le Corre M, Jacquemet S, Potier M, Marsac F. 2004. Foraging strategy of a top predator in tropical waters: great frigatebirds in the Mozambique Channel. *Marine Ecology Progress Series* 275, 297-308
- Weimerskirch H, Le Corre M, Tew-Kai E, Marsac F. 2010. Foraging movements of great frigatebirds from Aldabra Island: relationship with environmental variable and interactions with fisheries. *Progress in Oceanography* 86, 204-213

Annexe 1

Coupes verticales séparées obtenues à l'aide du sondeur ADCP lors des trajets aller-retour de l'Alis et lors des radiales

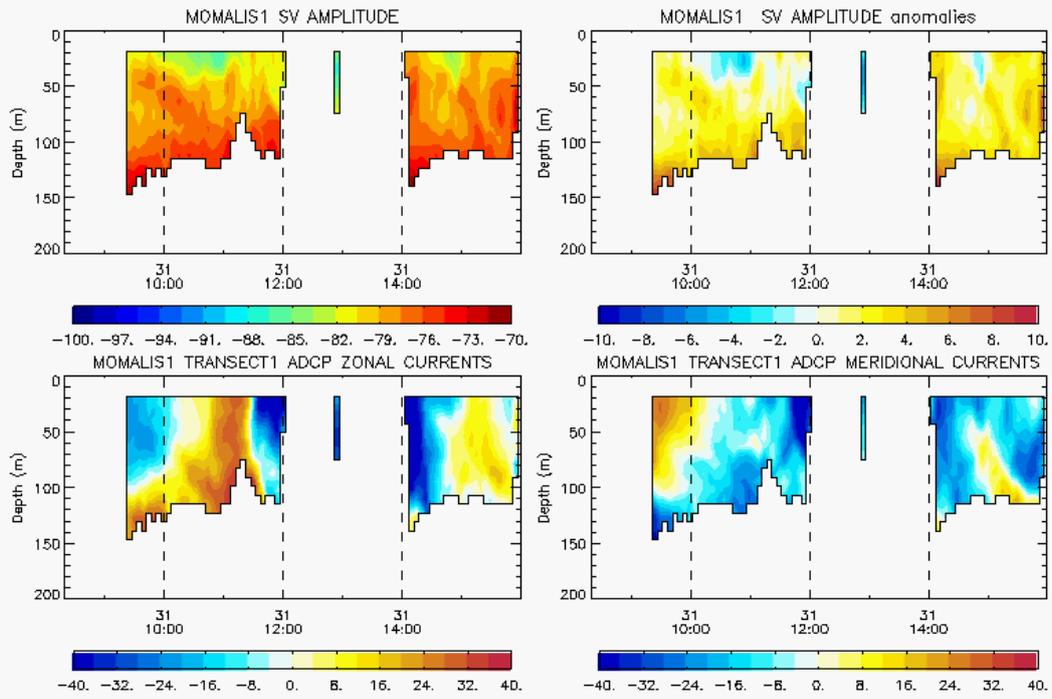


Aller vers les Chesterfield



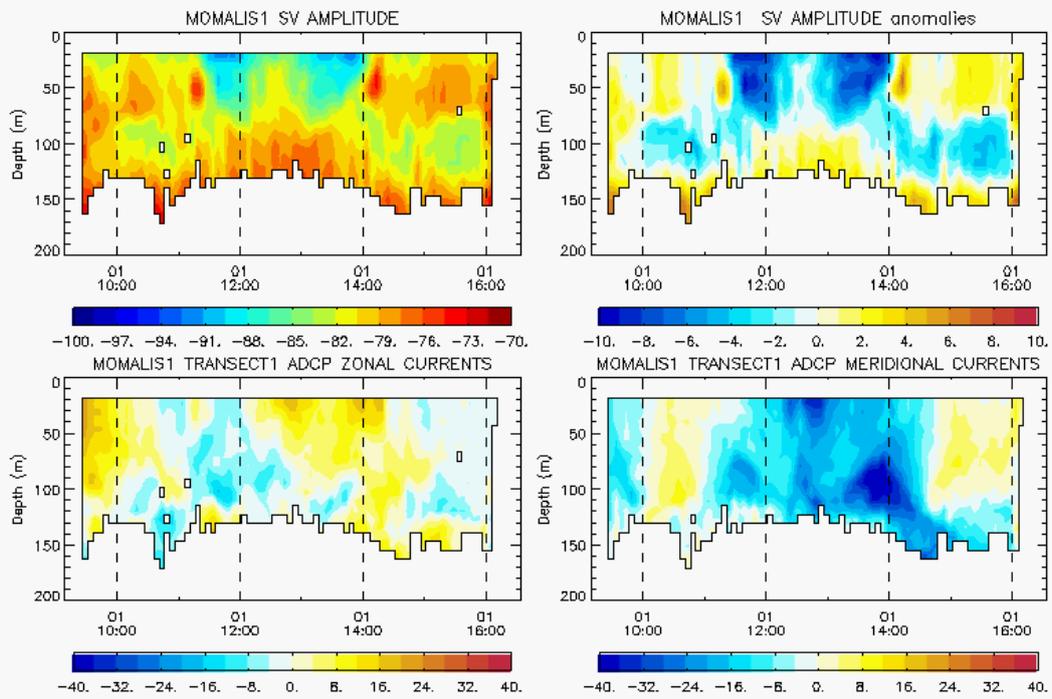
Radiale 1

FROM :20120531/LAT:-19.870/LON: 158.421 TO 20120601/LAT:-19.815/LON: 158.443



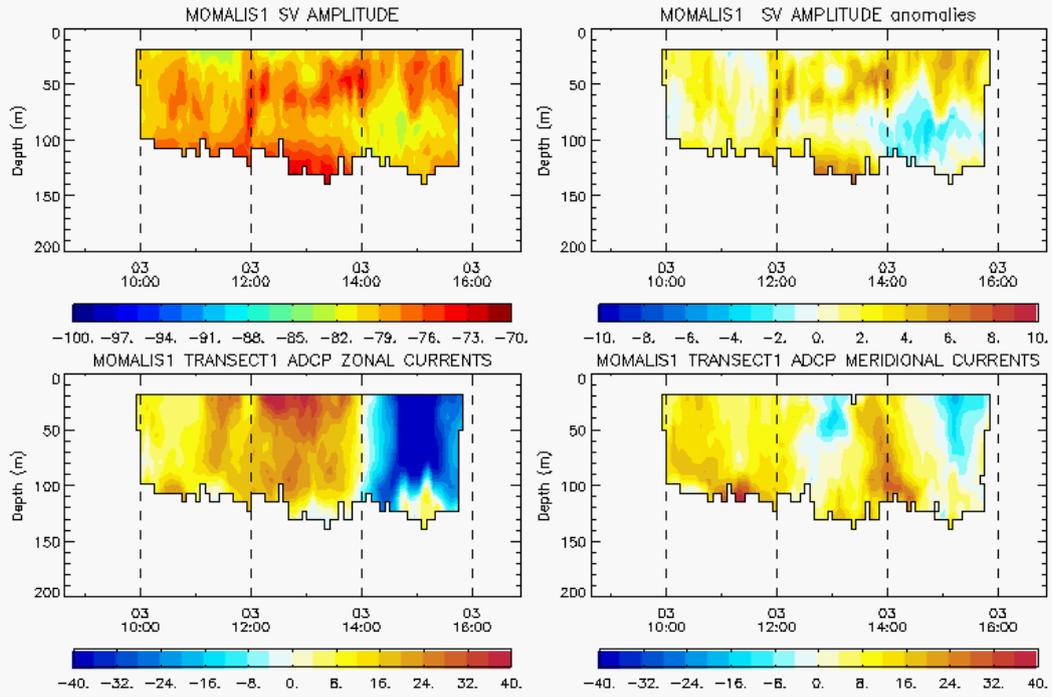
Radiale 2

FROM :20120601/LAT:-19.854/LON: 158.310 TO 20120602/LAT:-19.854/LON: 158.295



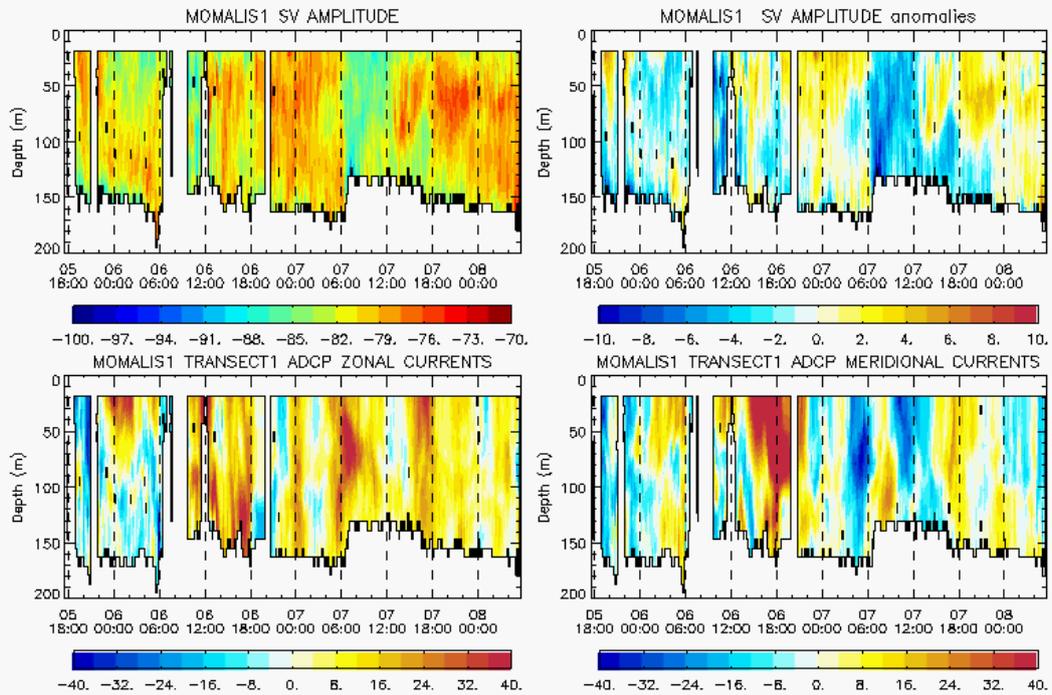
Radiale 3

FROM :20120603/LAT:-19.856/LON: 158.332 TO 20120604/LAT:-19.855/LON: 158.331



Radiale 5

FROM :20120606/LAT:-19.825/LON: 158.428 TO 20120608/LAT:-22.357/LON: 166.253



Retour