

Groupe Mission MERCATOR / CORIOLIS

CNES, CNRS/INSU, IFREMER, IPEV, IRD, Météo-France, SHOM
Correspondant du projet : Loïc Petit de la Villéon

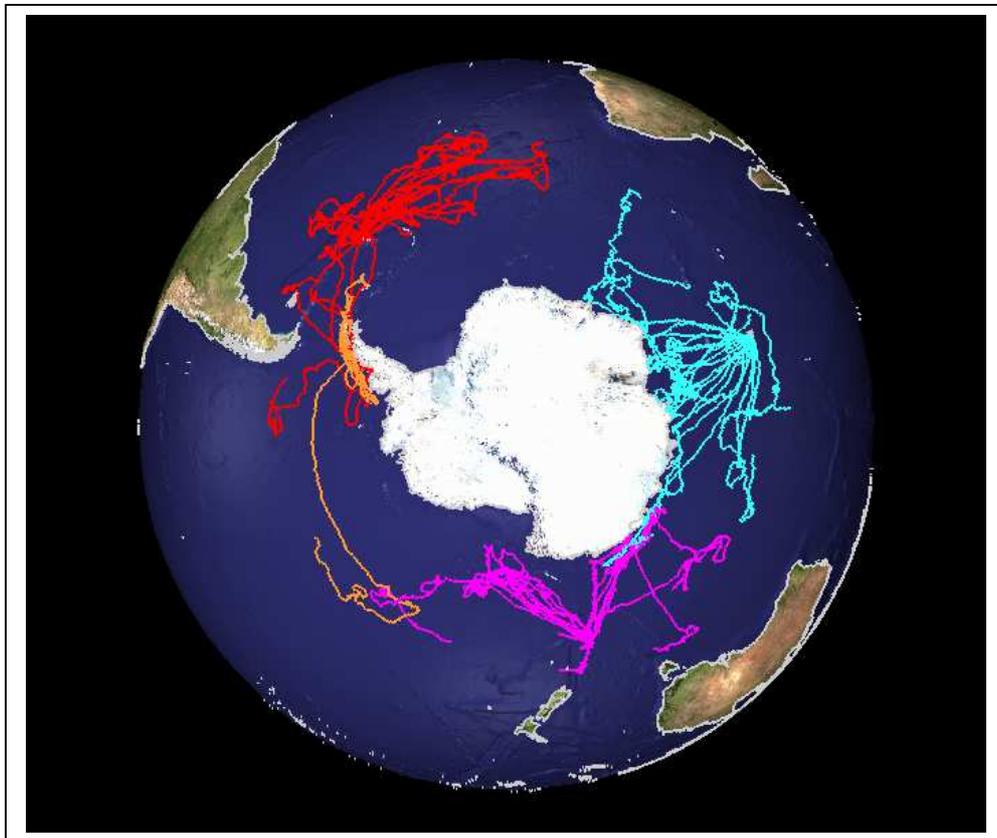
Eléphants de mer bio-échantillonneurs de profils de température et de salinité dans l'Océan Austral



Eléphant de mer équipé d'une balise Argos CTD, Janvier 2004.
Photo. M. Fedak

Contribution à CORIOLIS

**Compte rendu final d'activité pour l'année 2005-2006
Et sur l'ensemble de la période 2003-2006
Christophe Guinet-CEBC-CNRS**



Trajets effectués entre le Décembre 2003 et Mai 2006 par des éléphants de mer équipés de balise Argos-CTD en Géorgie de Sud (Rouge, UK), à Kerguelen (Bleu, France) et sur l'île Macquarie (Rose, Australie) et en péninsule antarctique (orange, USA)

Remerciements

Nous tenons à remercier ici chaleureusement et très sincèrement toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation et à la réussite de ce programme au cours des quatre dernières années

CORIOLIS, Loic Petit de la Villéon, Christine Coatnoan pour avoir assuré l'interface avec Coriolis et leur soutien permanent à la réalisation de ce programme

Le SHOM, Marc Le Menn et toute son équipe pour l'aide apporté lors du travail d'étalonnage conduit au SHOM,

D. Tailliez et D. Antoine (responsable de Boussole-LOV), L. Coppola (Dyfamed-LOV) pour nous avoir permis de réaliser les tests avec la CTD du Téthys II

S. Blain (responsable de KEOPS-COM), N. MetzI (responsable de OISO-LOCEAN), et B. Ollivier (IPEV) et P. Sangiardi (IPEV) pour leur collaboration et l'aide apporté pour les CTD à bord du Marion-Dufresne en 2004 et 2005,

Enfin le personnel de l'IPEV et Tout particulièrement A. Lamalle, R. Pany, H. Perau pour le soutien à la réalisation des travaux sur le terrain travail sur le terrain. Nous tenons aussi à remercier l'ensemble des personnes et organismes qui ont cru en cette approche et nous ont soutenu pour la conception et la réalisation de ce programme.

Enfin ce programme n'aurait pas pu voir le jour sans le soutien financier apporté par le programme CNES-TOSCA , Le groupe de Mission Mercator Coriolis et l'Institut Polaire Français.

Sans oublier toutes les personnes, hivernants, campagnards d'étés qui nous ont aidé à capturer, poser et récupérer les balises Argos CTD déployées.

ELEPHANTS DE MER BIO-ECHANTILLONNEURS DE PROFILS DE TEMPERATURE ET DE SALINITE DANS L'OCEAN AUSTRAL

Compte rendu final d'activité pour l'année 2005-2006

Résumé :

Nous utilisons les **éléphants de mer comme plates-formes opérationnelles d'observation pour obtenir au moyen de balises Argos-CTD et en temps quasi-réel des données océanographiques référencées dans le temps et l'espace**. Nous obtenons ainsi à l'échelle de l'Océan Austral des informations sur les principales structures frontales de cet océan, et sur la zone de glace péri-antarctique, là où nous manquons habituellement d'informations. L'éléphant de mer a été choisi car il plonge continuellement à de très grandes profondeurs (jusqu'à 1850 m). Ces travaux fournissent aussi aux biologistes des informations vitales sur les caractéristiques océanographiques associées aux zones de pêche de ce prédateur. Cette méthode innovante permet de compléter les campagnes océanographiques classiques et les données obtenues par les bouées et flotteurs Argos-CTD (ARGO). **En 2004, 10 éléphants de mer à Kerguelen, 7 en Géorgie du Sud et 4 à Macquarie ont été équipés de ces balises.**

En 2004, nous avons obtenu ainsi une moyenne de **3.1 profils de température et salinité par jour et par balise** en temps quasi-réel, et ce **pour une région où il y a un réel déficit de données. Un total de 3090 profils CTD et 803 profils TD ont été obtenus (profondeur moyenne des profils : 590 ± 205 m, max 1500 m)**. Pour la région située au sud de 60°S entre 30°E et 140°E, **182 profils CTD étaient auparavant répertoriés dans la base de données Coriolis, essentiellement pour la période estivale**. Les éléphants de mer de Kerguelen en ont fourni **2260 profils en 2004 pour cette région, et ce principalement pour les périodes automnale et hivernale**.

En 2005, 13 balises Argos CTD (9 en fin d'été et 4 en fin d'hivers) ont été déployées sur les éléphants de mer de Kerguelen et ont permis d'obtenir un total de 3049 profils de température et salinités dont 2051 ont été validés après les procédures de contrôle automatiques et visuelles.

En 2006, suite à des problèmes techniques liés à un changement de composant ayant provoqué des problèmes d'étanchéité des balises, sur les 14 balises Argos CTD disponibles, seulement 7 ont été déployées après les tests conduits sur la CTD du Marion Dufresne et quatre ont permis d'obtenir des localisations et une seule d'entre elles a transmis en 4 mois de données 370 profils.

Au vu de ce problème SMRU a remplacé la totalité de ces balises plus deux en dédommagement. Ces 16 balises Argos CTD seront déployées au cours de l'année 2007.

Les travaux effectués ces quatre dernières années ont permis d'équiper un total de 30 éléphants de mer (16 mâles et 14 femelles) avec des balises ayant fonctionné, deux d'entre elles posées sur des femelles ont néanmoins émis sur une période de temps trop courte (moins d'un mois) et n'ont pas permis d'identifier l'habitat de pêche de ces individus. Pour identifier et mettre en évidence que les habitats de pêche préférentiels des éléphants de mer de Kerguelen sont par ordre d'importance :

- le plateau péri-antarctique et la zone marginale de glace (50 % des individus)
- la zone de front polaire (39.3% des individus)
- le plateau péri-insulaire Kerguelen-Heard (10.7 % des individus)

La résolution des mesures calculée à partir de l'étalonnage au SHOM et des validations *in situ* sur la CTD du Marion Dufresne était de 0.003 ± 0.005 °C et de 0.05 ± 0.06 psu. Les données de conductivité transmises par les éléphants de mer présentent cependant un décalage constant pour chaque sonde (probablement dû à l'effet de champ proche) qui sera corrigé par comparaison avec les données historiques. Ainsi, l'approche proposée fournit une quantité importante de données de qualité pour cette région du monde mal connue. Ces travaux fournissent aux biologistes des informations vitales pour l'étude de l'écologie de cette espèce en fonction des conditions

océanographiques.

Le retour d'expérience 2004 et 2005 a permis d'améliorer la programmation des balises, et notamment l'algorithme de compression de données. En effet, **l'utilisation de la méthode hybride proposée par Fabien Roquet (contractuel sur le programme) a permis d'augmenter significativement le nombre de points de température et salinité obtenus quotidiennement, et donc d'acquérir des profils plus détaillés.** En 2005 nous obtenions en moyenne 18 points de température et de salinité par profil, contre 12 points de température et 5 points de salinité par profil en 2004. **De nouvelles améliorations dans le traitement des données acquises à bord des balises sont en cours de développement et permet une amélioration sensible de la précision de la salinité et seront implémentées sur les balises implémentées en 2007.**

Les données obtenues sont maintenant intégrées en temps quasi-réel dans la base de données CORIOLIS et utilisées dans la production des champs d'observation ARMOR produits par MERCATOR

Dans le cadre d'un projet de recherche sur l'écologie en mer des éléphants de mer austraux en relation avec les conditions océanographiques, nous avons obtenu par l'intermédiaire de balises Argos-CTD (développées par le *Sea Mammal Research Unit*, GB) des profils de température et salinité associés aux plongées de ces animaux, pour différentes régions de l'Océan Austral. Ces balises ont été calibrées en température et conductivité dans le laboratoire de métrologie du SHOM et les données obtenues sont corrigées à partir des mesures de validation effectuées au moyen des CTD *Seabird* à partir du *Marion Dufresne* et de la *Tethys II*. L'opération en cours démontre que l'approche proposée fournit une quantité considérable de données de qualités pour cette région du monde très difficile d'accès.

L'éléphant de mer est une espèce particulièrement intéressante pour obtenir ces informations : Ce phoque de grande taille plonge continuellement et à de très grandes profondeurs (jusqu'à 1850 m). Ces travaux fournissent aux biologistes des informations vitales pour l'étude de l'écologie de cette espèce en fonction des conditions océanographiques.

Le projet a reçu le soutien du programme CNES-TOSCA pour 2002-2003, 2003-2004, 2004-2005 et 2005-2006 date de son échéance mais compte tenu de problèmes rencontrés en 2006 et détaillé dans ce rapport un déploiement de 16 balises sera conduit sur les éléphants de mer à Kerguelen courant 2007. Ce rapport présente les travaux accomplis sur la période 2005 et 2006.

Soutiens obtenus autre que le financement CNES-TOSCA

- Institut Polaire, Paul Emile Victor (IPEV) : financement de la logistique et des missions dans les Terres Australes et Antarctiques Françaises). Utilisation de la Curieuse, utilisation de la CTD du Marion et soutien logistique pour les opérations de terrain.
- Programme Mercator – Coriolis. Financement des missions associées au travail de métrologie et de validation des données
- SHOM, prise en charge des opérations de Métrologie.
- Soutien INSU intégration des balises Argos CTD dans le contrat Global INSU accès à la flottille INSU.

Responsable scientifique :

GUINET Christophe
Centre d'Etudes Biologiques de Chizé-Centre National de la Recherche Scientifique (CEBC-CNRS)
79 360 Villiers en Bois
France
Tel : 05 49 09 78 39
Fax : 05 49 09 65 26
e-mail : guinet@cebc.cnrs.fr

Partenaires scientifiques

Charles-André BOST, Frédéric BAILLEUL
Centre d'Etude Biologiques de Chizé, CNRS
79 360 Villiers en Bois
e-mail : charles.bost@c-strasbourg.fr

Young-Hyang PARK, Jean-Benoit CHARRASSIN, Fabien ROQUET
Département Milieux et Peuplements Aquatiques
Muséum National d'Histoire Naturelle
43, rue Cuvier, 75231 Paris Cedex 05, France
Tél : 01 40 74 31 70
e-mail : yhpark@mnhn.fr

Mike FEDAK, Martin BIUW, Burney McCONNEL , Phil. LOVELL, Frazer MONKS
Sea Mammal Research Unit
Gatty Marine Laboratory
University of St Andrews
St Andrews, KY16 8LB, Scotland
e-mail : maf3@st-andrews.ac.uk

Mark HINDELL,
Antarctic Wildlife Research Unit
School of Zoology
University of Tasmania
PO Box 252-05
Hobart
TAS, 7001
Australia
e-mail : Mark.Hindell@utas.edu.au

INTRODUCTION

L'Océan Austral joue un rôle fondamental dans la régulation du climat mondial. Cet océan abrite aussi des ressources marines d'une très grande valeur économique et patrimoniale. Du point de vue de l'océanographie physique, l'Océan Austral est un système d'une très grande complexité et les processus biologiques qui y sont reliés -et très largement déterminés par ces caractéristiques océanographiques- le sont plus encore. De très gros efforts nationaux et internationaux sont dirigés vers la modélisation des processus d'océanographie physique afin de prévoir la réponse de l'Océan Austral aux changements climatiques globaux et le rôle joué à grande échelle par cet océan dans les processus climatiques. Cependant ces efforts de modélisation sont considérablement limités par le manque de mesures *in situ*, en particulier pour les zones de hautes latitudes et plus encore pour les périodes hivernales. Cette absence de données limite notre compréhension de processus clés à l'échelle de l'Océan Austral tels que la formation de la glace de mer et des eaux antarctiques profondes, mais aussi sur la variabilité du Courant Circumpolaire Antarctique et les fronts associés, et les propriétés des couches de mélange océaniques (Stocker 2001).

Dans ce projet, nous proposons d'utiliser des capteurs de température/conductivité attachés sur des éléphants de mer, qui plongent continuellement à de grandes profondeurs et qui se déplacent sur l'ensemble de l'Océan Austral. Cette approche originale et innovante permet d'obtenir, en temps réel et sur l'ensemble de l'année, des quantités importantes d'informations localisées dans le temps et dans l'espace sur les conditions océanographiques de l'Océan Austral.

L'utilisation de mammifères marins (Boyd & Arnborn 1991, Georges et al. 2000, Boehlert et al. 2001, Boyd et al. 2001) et d'oiseaux marins (Weimerskirch et al. 1995, Koudil et al. 2000, Watanuki et al. 2001, Wilson et al., 2002, Charrassin et al., 2002) comme observateurs océanographiques est une approche récente. Sans cette nouvelle approche, les données hivernales concernant l'océan seraient difficiles et coûteuses à obtenir. Toute tentative d'utilisation de navires océanographiques conventionnels pour collecter ces données, outre le fait de son coût élevé, ne pourrait pas garantir l'accès aux zones de glace de mer pendant les mois hivernaux. La seule autre alternative serait l'utilisation de bouées dérivantes. Cependant cette technologie ne peut pas garantir une couverture importante des zones de hautes latitudes. Par ailleurs, les bouées dérivantes ne peuvent pas être dirigées vers des zones présentant un intérêt particulier alors que le choix d'éléphants mer nous permet de cibler des régions particulières. Les bathythermographes (XBTs) lancés depuis les bateaux de ravitaillement ou de commerce apportent des informations importantes, mais l'obtention de ces données est limitée aux principales voies de navigation et limitée à l'acquisition de profils de température. Les mouillages fournissent des séries de données à long terme mais leur nombre est limité compte tenu de leur coût et des opérations logistiques associées à leur mise en œuvre. Une révolution dans les systèmes d'observation est actuellement en cours, basée sur les satellites et sur les flotteurs-profileurs autonomes (Koblinsky et Smith, 2001) qui permettent d'obtenir pour la première fois des mesures globales pour étudier la circulation des océans. Mais même ces nouvelles technologies ne sont pas en mesure d'effectuer de telles mesures de façon routinière dans la zone de glace de mer : les mesures par satellite des températures de surface et de hauteur de la mer ne peuvent pas être faites en zone de glace de mer et les profileurs ne peuvent pas fonctionner dans ces conditions.

Les données produites par cette étude viennent compléter celles collectées par l'ensemble des systèmes évoqués ci-dessus et sont intégrées dans les schémas d'acquisition CORIOLIS et ont été assimilées à partir 2005 par MERCATOR pour l'Océan Austral.

Par ailleurs l'éléphant de mer est un prédateur important de l'Océan Austral. D'une reproduction à l'autre, ils partent en mer et entreprennent des migrations à très grande distance pour rechercher leurs proies. Alors que quelques populations sont stables voir même en légère augmentation, d'autres sont en déclin continu depuis les années 1950 (Boyd et al. 1996, Guinet et al. 1999, Slip & Burton 1999). Les raisons de ces différences ne sont pas claires, mais des changements régionaux d'abondance et de distribution des proies pourraient en être la cause (Hindell et al. 1994). L'influence des variations des

conditions océanographiques à court, moyen, et long terme sur la distribution et l'abondance des proies et indirectement sur leurs prédateurs est une voie de recherche prioritaire en écologie marine.

Rappels Méthodologiques

Les balises Argos-CTD développées par le Sea Mammal Research Unit (GB) échantillonnent la pression, la conductivité et la température toutes les secondes pendant la phase ascendante des plongées selon une pré-programmation permettant d'obtenir des informations sur des plongées réparties sur une période de 24 heures et parmi ces périodes pour les plongées les plus profondes. La journée est divisée en quatre périodes de 6 heures qui débutent à minuit, GMT. La balise Argos-CTD échantillonne les données de conductivité et température, à partir du point le plus profond des six premières plongées et seulement si la plongée est supérieure à 45 m. Il procède ensuite à l'enregistrement de données supplémentaires pour toute plongée effectuée pendant cette période de 6 heures et plus profonde que les six premières plongées. Du fait des contraintes de transmission, résultant de l'interaction entre la longueur des messages Argos mais aussi du temps limité que les animaux passent à la surface, il est nécessaire d'effectuer une compression des messages. Pour cela à la fin de la plongée, un algorithme de compression « ligne cassée » tel que ceux utilisés initialement pour les PROVOR est appliqué afin d'identifier et de retenir les 12 points d'inflexion les plus importants pour les profils de températures et conductivités. Cette méthode applique un premier filtre avec une fenêtre de 5 m, suivi par un filtre lissant de Hanning (fenêtre de 11 m) avant d'appliquer la méthode de réduction par « ligne cassée » et complété par 6 autres points permettant d'ajuster au mieux le profil de température. Les mesures de salinité sont conservées pour chacun de ces points. Ainsi un total de 18 points de température et salinités sont transmis pour chaque profil obtenu. A la fin de la période de 6 heures, les profils de pression, température et conductivité des six plongées les plus profondes sont stockés dans une mémoire tampon avant d'être choisis de façon aléatoire pour être transmis. La balise Argos-CTD est programmée pour envoyer des données pour une période d'environ 300 jours.

Intérêt du suivi des éléphants de mer et de la distribution des données collectées

Les éléphants de mer sont des vecteurs particulièrement intéressants pour ce type d'application car d'une part ils plongent continuellement et à de très grandes profondeurs et d'autre part ils explorent des zones très différentes en fonction de leur classes d'âge et de sexe. Pendant l'été, la plupart d'entre eux exploitent l'Océan ouvert, en utilisant différentes régions du Courant Circumpolaire Antarctique (CCA). Pendant l'hiver, les adultes se rendent dans la zone marginale de glaces échantillonnant l'ensemble des structures du CCA. C'est essentiellement au travers du CCA que s'effectuent entre les bassins océaniques les échanges d'eau, de chaleur, et d'autres propriétés. Les variations de la quantité de chaleur stockée dans les eaux du CCA ont été reliées à la variabilité climatique et à des modifications de la distribution et des effectifs du krill, des manchots et des phoques. En ciblant les éléphants de mer, il est ainsi possible de réaliser des « transects » régulier coupant le CCA, et d'obtenir des données à plus fine échelle, sur par exemple les tourbillons et la structure des courants dans les principales zones frontales du CCA, ainsi que dans la zone du « pack ice ». Ces travaux ont fait l'objet de plusieurs publications scientifiques sous presse (Bailleul et al. Deep Sea Research II sous presse ; Bailleul et al. Philosophical Transaction of the Royal Society sous presse ; Bailleul et al. Journal of Experimental Biology soumis).

Les travaux effectués ces quatre dernières années ont permis d'équiper un total de 30 éléphant de mer (16 mâles et 14 femelles) avec des balises ayant fonctionné (tableau 1). Deux d'entre elles posées sur des femelles ont néanmoins émis sur une période de temps trop courte (moins d'un mois) et n'ont pas permis d'identifier l'habitat de pêche de ces individus. Les habitats de pêche préférentiels des éléphants de mer de Kerguelen sont, par ordre d'importance :

- le plateau péri-antarctique et la zone marginale de glace (50 % des individus)
- la zone de front polaire (39.3% des individus)
- le plateau peri-insulaire Kerguelen-Heard (10.7 % des individus)

Cependant cette étude révèle d'importantes différences inter-sexuelles dans les zones préférentielles d'alimentation et au sein de la zone antarctique. Il existe des différences comportementales vis à vis de la banquise en fonction du sexe et/ou du statut reproducteur.

	Mâles			Femelles		
	Plateau Antarctique	plateau Kerguelen - Heard	Structures Frontales	Zone Antarctique	Structures Frontales	indéterminé
2003	2					
2004	4	1		3	1	1
2005-Early	3			2	4	
2005-Late			4			
2006		2			2	1
Total	9	3	4	5	7	2

Table 1. Distribution des 30 éléphants de mer équipés de balise argos dans le cadre du programme éléphant de mer océanographes. 16 balises sont actuellement en cours de déploiement (début 2007) à Kerguelen.

60 % des mâles équipés à ce jour se sont alimentés en bordure ou sur le plateau péri-antarctique où ils résident au cœur de la période hivernale alors que ce secteur est couvert par la banquise. Les femelles qui privilégient la stratégie antarctique diffèrent néanmoins des mâles dans leur distribution. Une partie des femelles reste en milieu océanique au large des côtes antarctiques (20 %), mais la majorité (50 %) d'entre elles s'alimente sur le plateau péri-antarctique en début d'automne austral mais, contrairement aux mâles, elles quittent le plateau au moment de la formation de la glace de mer et restent alors associées à sa bordure avec laquelle elles progressent avec son extension hivernale (Bailleul et al. sous presse_b; Figure 4). Ces travaux confirment la très forte affinité de la population d'éléphant de mer de Kerguelen pour la zone antarctique et tout particulièrement la zone marginale de glace, et viennent renforcer l'hypothèse de l'effet des changements des conditions de glace de mer sur la dynamique de cette population (Guinet et al. 1999). Inversement, les animaux de Géorgie du Sud privilégient le front polaire pour s'alimenter et cette différence d'écologie pourrait être l'un des facteurs explicatifs des différences de trajectoires démographiques entre ces populations

L'équipement de ces animaux nous a permis d'obtenir des informations océanographiques particulièrement pertinentes de la zone marginale de glace et des Régions de fronts et du CCA sur l'essentiel du cycle annuel hormis la période de reproduction (octobre) et la période de mue (Janvier-Février). Les données obtenues dans le cadre de ce programme ont aussi permis de décrire la circulation sur le plateau de Kerguelen-Heard,

Apports océanographiques du Programme éléphant de mer.

L'utilisation d'éléphants de mer comme vecteurs océanographiques constitue une méthode innovante et permet de compléter de façon très significative les campagnes océanographiques classiques et les données des bouées Argos CTD. Ainsi sur l'ensemble de la période d'étude (2004-2006) et pour les éléphants de mer de la zone Kerguelen, nous obtenons une moyenne de 1,9 profils de température et de salinité par jour et par balise en temps quasi-réel et ce pour une région où il y a un réel déficit de données. **Un total de 6509 profils CTD et 803 profils TD** ont été collectés (profondeur moyenne des profils: 590 ± 205 m, max 1500 m). La contribution des éléphants de mer est particulièrement sensible pour la zone antarctique. Ainsi pour la région située au Sud de 60°S entre 30°E et 140°E, seul 182 Profils CTD étaient historiquement répertoriés dans la base de données

COROLIS et essentiellement en période estivale. 3407 profils ont été obtenus par les éléphants de mer équipés à Kerguelen, principalement pour les périodes automnale et hivernale, ce qui représente d'ores et déjà près de **95 % des profils CTD disponibles pour ce secteur et la majorité des profils de température et salinité obtenus sous la banquise Antarctique est issue de ce programme** (Fig. 1). La précision des mesures après les corrections établies à partir des paramètres de correction définis lors des opérations de calibrage au SHOM et des validations *in situ* sur la CTD du Marion Dufresne était de 0.003 ± 0.05 °C et de 0.02 ± 0.04 psu. Ainsi, l'approche proposée fournit une quantité importante de données de qualité pour cette région du monde mal connue. Les travaux en océanographie physique associés à cette étude sont effectués par Y.H. Park, F. Roquet et J.B. Charrassin, Laboratoire d'Océanographie Physique, MNHN). **Ces données sont par ailleurs implémentées en temps quasi-réel dans les modèles océanographiques et climatiques globaux** (via le centre de données CORIOLIS).

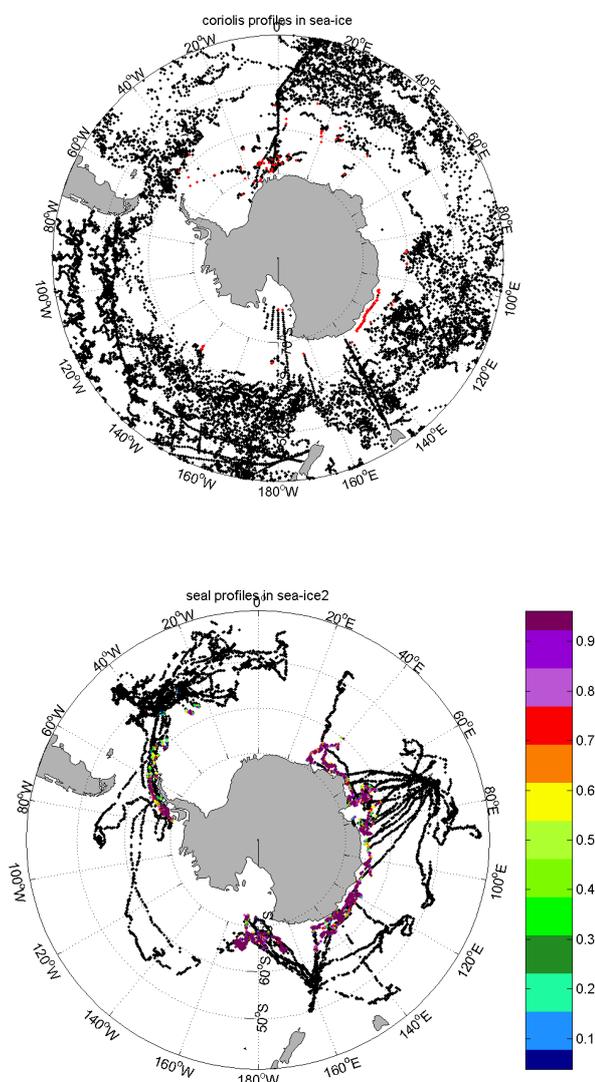


Fig.1. Localisation des profils associés à la glace de mer répertoriés dans la base de données Coriolis (à droite en rouge) obtenues à partir des moyens océanographiques conventionnels et par les éléphants de mer en 2004 et 2005 dans le cadre du programme SEAOS (à gauche). L'échelle de couleur représente la concentration de la banquise (déterminée par radiométrie satellitaire à une résolution 6.25 x 6.25 (Université de Bremen et CERSAT/IFREMER). La majorité des profils CTD ont été obtenus pour des concentrations de glace supérieures à 80 %

Bilan des travaux effectués sur la période 2003-2006 dans le cadre du projet.

2002-2003

En décembre 2002 deux balises Argos, financées par l'IPEV et le GICC, ne comportant que des capteurs de température ont pu être déployées sur deux mâles éléphants de mer à Kerguelen. Malheureusement pour les deux balises déployées en décembre 2002, le logiciel de gestion des données de température en mode transmission était défectueux et nous n'avons pas pu récupérer les données de température. Néanmoins ce travail nous a fourni un retour d'expérience sur plusieurs points concernant la validation des données de température (les balises étaient alors utilisées en mode enregistrement des données), la vérification de la durée de vie des balises in-situ et la récupération des données de plongées. Ces balises ont émis respectivement pour des périodes de 275 et de 498 jours (dont 300 jours à terre). Ces deux mâles ont longuement séjournés en bordure de la banquise Antarctique avant de regagner Kerguelen où ils sont restés à terre pendant près d'un mois. L'un d'entre eux est reparti en mer pendant un mois avant que sa balise ne cesse d'émettre (problème de pile ou détachement de la balise). Pour le deuxième mâle, la balise s'est détachée lors de son séjour à terre. La nature du terrain ne nous a pas permis de la retrouver. Nous avons tenu compte de cette difficulté en associant systématiquement un émetteur VHF à la balise pour les déploiements effectués en 2004. Lorsque ces animaux étaient en mer, ils ont plongé continuellement à des profondeurs comprises entre 300 m et 1850 m avec une profondeur moyenne de 720 m (Figure 2). Ce travail préliminaire nous a permis de vérifier la fiabilité des équipements utilisés et a été le prélude aux opérations de déploiement travail de terrain conduit début 2004.

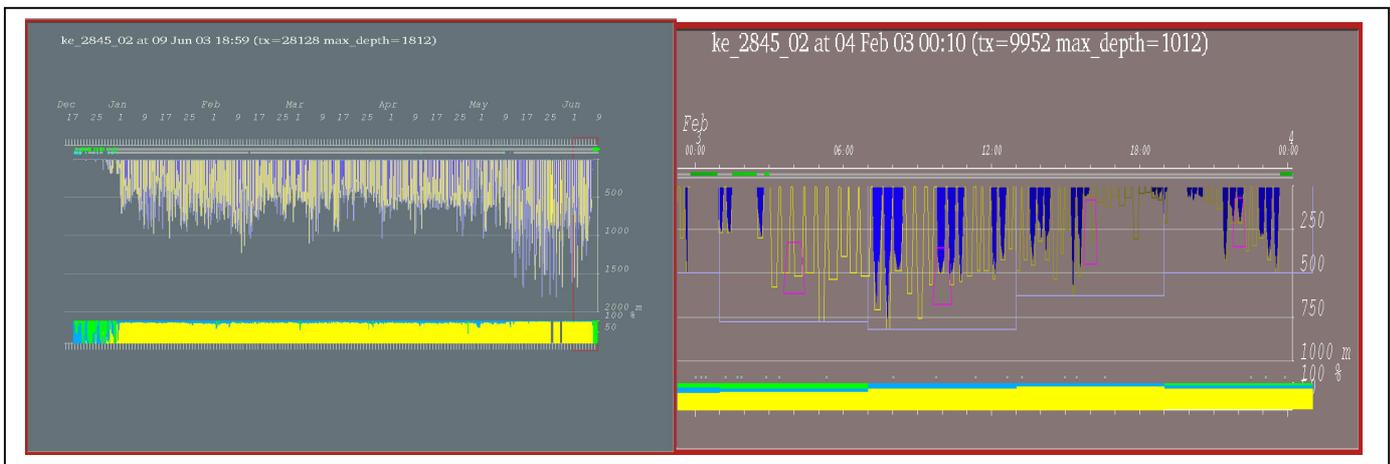


Figure 2 : Extraits de profils de plongées (profondeur en fonction du temps) pour le mâle éléphant de mer 2845 lors de son transit entre l'île Kerguelen et le continent Antarctique (Décembre 2002-Juin 2003 avec un Zoom sur les plongées effectuées le 4 Février 2003). Données retransmises via Argos.

En 2003-2004 un important travail de mise au point des balises, d'organisation des campagnes de calibrage, validation et déploiement a été effectué. Nous avons aussi initié les démarches de concertation avec CORIOLIS en vue de l'intégration des données éléphant de mer dans cette base. Une réunion au *Sea Mammal Research Unit* (GB) a aussi eu lieu du 18 au 21 novembre 2003 pour faire le point sur l'état d'avancement des travaux et de préparation des balises et définir les modalités d'acquisition et de gestion des données par les balises Argos-CTD en présence de nos partenaires britanniques du SMRU, Australiens de l'Université de Tasmanie et des ingénieurs de la compagnie Valeport (fabriquant de la partie CTD de la balise).

2003-2004

- En 2004, 10 éléphants de mer à Kerguelen, 7 en Géorgie du Sud et 4 à Macquarie ont été équipés de balises Argos CTD, Une moyenne de 1.9 profils de température et de salinité a été obtenue par jour et par balise en temps quasi-réel, et ce pour une région où il y a un réel déficit de données. Un total de **3090 profils CTD** et **803 profils TD** (total : 3893 ; profondeur max : 1500 m, moy 590 ± 205 m) ont été collectés entre février et septembre 2004. Ces données ont été corrigées, validées et transmises à CORIOLIS. Pour la région située au Sud de 60°S entre 30°E et 140°E , **182 profils CTD étaient précédemment répertoriés dans la BD Coriolis, essentiellement en période estivale, et 2260 ont été obtenus en 2004 par les éléphants de mer de Kerguelen, principalement pour les périodes automnale et hivernale.** La précision des mesures après les corrections établies à partir des opérations d'étalonnage au SHOM et des validations *in situ* sur la CTD du Marion Dufresne était de 0.003 ± 0.05 °C et de 0.02 ± 0.04 psu (cf. Annexe rapport d'étalonnage 2004) . Les données de conductivité transmises par les éléphants de mer présentent cependant un biais (conductivité surestimée d'une constante propre à chaque sonde) se traduisant par un biais en salinité de l'ordre de 0.3-0.4 psu, qui sera corrigé par comparaison avec les données historiques. Ainsi, l'approche proposée fournit une quantité importante de données de qualité pour cette région du monde mal connue.
- Le travail réalisé en 2004 a néanmoins permis de relever **des insuffisances** qui ont été partiellement **corrigées pour les déploiements effectués en 2005.**
 - o **La durée d'émission des balises** (130 jours \pm 59) qui s'est avérée inférieure à celle que nous avons estimée à partir de la consommation d'énergie observée de la balise en mode transmission.
 - o **Erreurs sur la mesure de la pression** : les pressions mesurées par les balises sont légèrement supérieures aux pressions mesurées par les CTD (SBE9 et SBE39). La différence est de l'ordre de 50 m à 1500m de profondeur (3%).
 - o **Effet de la pression sur les mesures de température** : Ce problème est lié à une déformation de la balise et/ou du capteur de température sous l'effet de la pression.
 - o **Erreurs sur la mesure de conductivité transmise** : malgré le soin apporté à la phase d'étalonnage, constituée d'un étalonnage en laboratoire puis d'une comparaison des mesures avec une CTD standard, il subsiste un biais dans les mesures de conductivité transmises (correspondant à 0.3 à 0.4 psu en salinité) lorsqu'on les compare aux climatologies existantes. Ce problème fait l'objet d'une étude détaillée en cours. L'effet de champ proche subit par les capteurs de conductivité à induction (champ magnétique externe) des balises au contact des éléphants de mer pourrait être en cause.
 - o **L'algorithme de compression des données** : en raison des limitations du débit de transmission par satellite inhérentes à la technologie Argos et à l'utilisation d'éléphants de mer, les données CTD transmises doivent être soigneusement sélectionnées par le microcontrôleur des sondes. Un des constats de l'année 2004 a été que la méthode de sélection utilisée n'était pas optimale pour deux raisons : 1) La sélection des données T et C était faite indépendamment. Il fallait donc envoyer une quantité importante de données de pression, sans aucune garantie d'avoir à la fois T et C pour chaque niveau de pression transmis (condition nécessaire au calcul de la salinité et la densité). 2) La méthode par lignes brisées a tendance à sélectionner les données bruitées et ne permet pas la transmission de niveaux standard de pression pré-sélectionnés.

2004-2005

En 2005, 13 balises Argos CTD (9 en fin d'été et 4 en fin d'hivers) ont été déployées sur les éléphants de mer de Kerguelen et ont permis d'obtenir un total de 3049 profils de température et salinités dont 2051 ont été validés après les procédures de contrôle automatiques et visuelles. Plusieurs des balises déployées lors de cette saison ont présenté des dysfonctionnements et certaines se sont arrêtées prématurément. Initialement 18 balises devaient être déployées mais après les tests réalisés sur la CTD de navires océanographiques, 5 de ces balises n'ont pas été déployées car fournissant des profils de température et salinité aberrants. Nous avons fait remonter cette information au SMRU pensant que ces difficultés étaient liées à des problèmes ponctuels de fabrication.

En faisant le point en octobre sur l'ensemble des balises déployées en 2005, le constat de l'existence d'un problème technique sur cette nouvelle génération de balises Argos a été dressé mais la cause n'était pas identifiée. Le problème était d'autant plus difficile à cerner qu'il n'affectait en 2005-2006 qu'une partie des balises. 60 % des balises ayant fonctionné correctement et 40 % des balises présentaient des problèmes qui nous semblaient indépendants les uns des autres.

2005-2006

Conscient des problèmes rencontrés en 2005, mais disposant de 13 balises déjà produites et ne pouvant pas être modifiées et par conséquent susceptibles de présenter les mêmes dysfonctionnements que ceux observés en 2005. Il a été décidé de procéder à la démarche suivante : faire subir un test qualité aux balises en les testant longuement sur des CTD classiques. Les balises présentant de mauvaises fonctions étant renvoyées au SMRU et à Valeport pour établir un diagnostic précis des problèmes rencontrés. Les balises ayant passé avec succès ce test étant envoyées à Kerguelen pour être déployées sur les éléphants de mer étant entendu que les balises présentant des dysfonctionnements seraient remplacées gracieusement par le SMRU. Sur un pool initial de 13 balises Argos CTD à déployer cette année-là, 6 balises ont été renvoyées au SMRU après les tests effectués en météorologie et in situ sur des CTD classiques. Nous en avons déployées 7 et seulement une d'entre elles a correctement fonctionné sur une période de 4 mois permettant de collecter un total de 370 profils CTD. Quatre autres balises ont permis d'obtenir des profils de température et salinité, mais présentaient des problèmes de dysfonctionnement transitoires et deux balises se sont arrêtées soit immédiatement ou après quelques jours après leur déploiement.

2006-2007

Un total de 19 balises seront déployées sur la saison 2006-2007. 16 de ses balises ont été fournies à titre gracieux par le SMRU en remplacement des balises défectueuses de la saison 2005-2006. 16 balises seront déployées sur des éléphants de mer de Kerguelen (6 d'entre elles le sont déjà au 10/01/07) et trois le seront sur les phoques de Weddell en Terre Adélie.

CAUSES DES DEFAILLANCES TECHNIQUES RENCONTREES EN 2005 ET 2006. REPONSES APPORTEES

A partir du retour des balises défectueuses que nous n'avons pas déployées à Kerguelen après les tests subis sur la CTD du Marion et les balises récupérées sur des éléphants de mer à leur retour à terre (Août 2005) il a été possible d'identifier lors de la première moitié de 2006 la cause technique du problème rencontré. Il s'agissait d'un problème d'étanchéité au niveau de la partie CTD développée par Valeport. Ce problème était dû au changement, par rapport aux balises déployées en 2004, d'un des composants intervenant dans la mesure de la conductivité par induction.

Suite aux déploiements effectués en 2004, cette partie a été entièrement repensée et modifiée pour essayer d'améliorer les performances (précision) des capteurs CTD, et notamment réduire sensiblement le Lag temporel de la mesure de température, éliminer les problèmes de dérive de la mesure de température avec la pression (c.f. Rapport techniques et Présentations aux journées Groupe de Mission MERCATOR-CORIOLIS 2005). Par ailleurs un nouvel algorithme de compressions a été proposé par Fabien Roquet (Ingénieur contractuel) et implémenté dans les balises.

Concernant les modifications l'une d'entre elles concernait le capteur de mesure de conductivité par induction qui était initialement constitué de deux bobines placées autour d'un cylindre en titane dans lequel circulait l'eau de mer. Ces deux bobines étaient couplées entre elles par un conducteur : l'eau de mer. Ces deux transformateurs toroïdaux (bobines) étaient protégés de leur environnement en étant noyées dans du polyuréthane qui adhérait directement sur le cylindre en titane.

En 2005, ce cylindre en titane a été remplacé par un cylindre en nitrate de silicone qui présentait de meilleures performances en terme de résistance à la déformation et un coût de production bien moindre. Malheureusement sous les effets de pression et de dépression il s'est avéré que le polyuréthane se désolidarisait plus ou moins rapidement de ce tube en nitrate, laissant l'eau de mer s'infiltrer et créer plus ou moins rapidement des problèmes de fonctionnement au niveau des capteurs de pression, température et/ou conductivité.

A partir de ce retour d'expérience Valeport a assuré la production de nouveaux capteurs où l'étanchéité est maintenant assurée au moyen de joints toriques. Les premières balises équipées de ces nouveaux capteurs ont été produites au cours de l'été 2006 et testées pendant les mois de septembre et octobre 2006 avant d'être déployées en Décembre 2006-Janvier 2007 à Kerguelen (6 balises).

Par ailleurs une nouvelle version d'algorithme de compression a été proposée après avoir été testée sur des jeux de données existants par Fabien Roquet. Ce nouvel algorithme sera implémenté à partir du mois de Février 2007. Sur les 10 restantes à déployer.

Calibrage des balises Argos-CTD et validation des données obtenues.

Étalonnage des sondes en température et conductivité

Laboratoire de Métrologie du SHOM à Brest pour l'étalonnage en température et conductivité (à pression atmosphérique) des balises Argos CTD en 2005 et 2006. Ce travail conduit en métrologie entre -1° et 10° (5 points de mesure) a permis de montrer que l'erreur-type (rms) de la prévision pour les dix sondes testées était de : $0.01 \pm 0.0095^{\circ}\text{C}$; [0.0017 à 0.0347 $^{\circ}\text{C}$; n = 10] pour la température (ajustement linéaire) et de: $0.0749 \pm 0.0571 \text{ mS/cm}$; [0.0077 à 0.1802 mS/cm; n = 10] pour la conductivité (ajustement quadratique).

A partir de 2007 ce travail de calibration est effectué directement par Valeport qui a investi dans une unité de Métrologie. Ainsi à l'avenir nous n'aurons plus besoin de solliciter le SHOM et/ou l'IFREMER pour procéder à cette étape indispensable. **Nous souhaitons remercier sincèrement ces deux organismes pour leur contribution à ce programme.**

Essais en mer et correction de l'effet de la pression sur les capteurs de C et T

- Essais en mer dans le cadre de ce programme à bord du *Téthys II* au large de Nice (Figure 3),

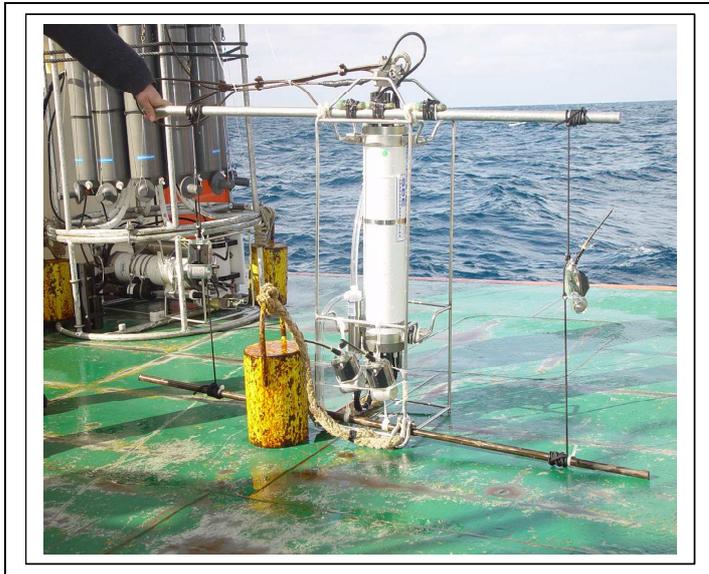
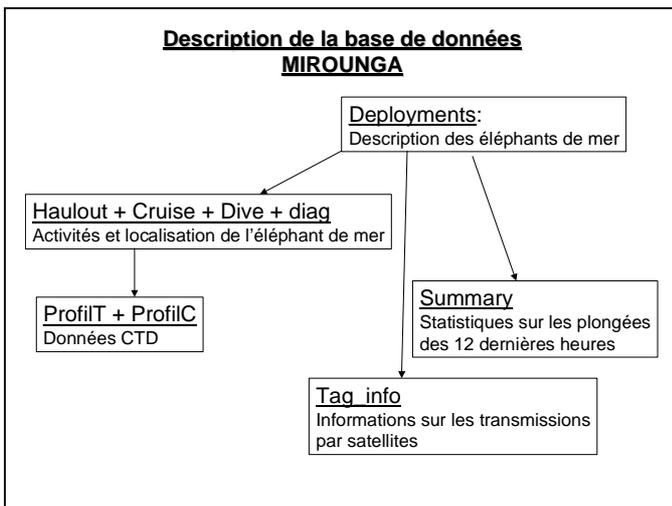


Figure 3 : Validation des mesures de température et conductivité des balises Argos-CTD utilisées en mode enregistreur (une mesure toute les secondes) au moyen de la SBE9 de la *Tethys II* lors de la campagne Boussole. Un portique spécial a été monté afin d'éloigner les balises argos CTD du corps de SBE9 pour ne pas perturber les mesures de conductivité par induction des balises argos-CTD

- Essais en mer à bord du *Marion-Dufresne* dans la zone austral. Les profils CTD entre 1000 et 1500 m ont été réalisés au moyen d'une sonde SBE39 sur laquelle étaient fixées les balises à tester. Dans les deux cas les balises étaient utilisées en mode enregistreur (une mesure par seconde).

Mise en place de la base de données.

Depuis sa prise de fonction Fabien Roquet, ingénieur CDD, s'est attelé à la tâche de correction des données de température et conductivité obtenus via les éléphants de mer et à la mise en œuvre d'une base de données (Mirounga) permettant de gérer l'ensemble des informations obtenus dans le cadre de cette étude (figure 4). C'est à partir de cette base de donnée localisée au Museum National d'Histoire Naturelle que les données corrigées pourront être téléchargées automatiquement dans CORIOLIS et distribuées vers les autres utilisateurs.



ref	PTT	D_DATE	LO	LI	LAT	LON	ALT_LAT	ALT_LON	N_MESS	N_MESS_100	REST_LEVEL	PASS_DUR
ct3_9118_04	17217	2004-02-26 09:47:41	3	MULL	49.305	70.296	-42.305	106.91	5	0	-120	49
ct3_9118_04	17217	2004-02-26 17:56:01	3	MULL	49.35	70.218	-47.046	81.973	4	0	-131	39
ct3_9118_04	17217	2004-02-27 10:24:52	2	MULL	49.366	70.456	-50.386	65.307	8	0	-126	51
ct3_9118_04	17217	2004-02-27 11:01:12	-2	MULL	49.367	70.496	-40.319	118.202	2	0	-133	33
ct3_9118_04	17217	2004-02-27 12:06:40	2	MULL	49.367	70.462	-59.141	17.219	7	0	-131	38
ct3_9118_04	17217	2004-02-27 15:53:55	-2	MULL	49.363	70.468	-56.088	32.856	2	0	-130	5
ct3_9118_04	17217	2004-02-27 16:06:12	-2	MULL	49.365	70.452	-51.693	58.673	2	0	-127	4
ct3_9118_04	17217	2004-02-28 05:01:00	-2	MULL	49.494	71.397	-49.929	68.922	2	0	-136	7
ct3_9118_04	17217	2004-02-28 18:49:59	-1	MULL	49.338	70.496	-52.086	56.068	3	0	-134	18
ct3_9118_04	17217	2004-02-29 04:37:31	2	MULL	49.34	70.5	-51.17	88.148	7	0	-129	59
ct3_9118_04	17217	2004-02-29 06:16:51	-1	MULL	49.336	70.489	-42.482	59.766	3	0	-134	16
ct3_9118_04	17217	2004-02-29 10:03:15	1	MULL	49.333	70.482	-46.368	75.762	9	0	-124	36
ct3_9118_04	17217	2004-02-29 15:03:39	3	MULL	49.328	70.493	-52.248	54.904	4	0	-128	23

Figure 4 : structure de la base de donnée *Mirounga* développée par F. Roquet au MNHN.

Objectifs de travail pour les années à venir

La poursuite de l'exploitation scientifique des résultats sous un angle océanographique et écologique sera notre priorité pour les mois et années à venir. L'exploitation des données sous un angle principalement océanographique sera poursuivie par Y.-H. Park et J.-B. Charrassin au Museum National d'Histoire Naturelle avec l'aide de Fabien Roquet.

Les travaux relevant de l'écologie en mer des éléphants de mer en fonction des conditions océanographiques sont principalement conduits au Centre d'Etudes Biologiques de Chizé, mais ces deux équipes travaillent en étroite collaboration.

La phase un du programme éléphant de mer océanographe, mesure de la température et de la salinité se poursuit actuellement par la mise en place de la phase II de ce programme, qui consiste sur la période 2007-2009 à :

- i) Assurer en collaboration étroite avec le Sea Mammal Research Unit, **le développement technologique d'une nouvelle génération de balise Argos CTD équipée d'un mini fluorimètre à diode**, haute résolution et très faible consommation d'énergie.
- ii) **Etudier la variabilité spatiale de la distribution de fluorescence :**
 - L'obtention de ce nouveau paramètre fournira aussi aux biologistes des informations vitales et **à fine échelle** sur la structuration horizontale et verticale de la distribution de phytoplancton.
 - Ce système d'observation sera **complémentaire du Réseau d'observation OISO qui permet d'étudier la variabilité saisonnière et inter-annuelle à grande échelle** et essentiellement pour la zone sub-tropicale et subantarctique. **Le système proposé permettra de couvrir à fine et méso échelle plus particulièrement le front polaire, la divergence antarctique, la zone de forte biomasse associée au plateau de Kerguelen Heard, la zone marginale de glace et de banquise pour laquelle très peu d'informations sont disponibles.** Pour ces secteurs une variation intense de l'activité biologique est suspectée à sub-méso-échelle et cette variabilité pourra être étudiée à partir des données obtenus par les éléphants de mer **notamment en période hivernale** où l'importance de la couverture nuageuse limite considérablement l'obtention des données satellitaire de couleur de l'océan.
 - **Les profils de fluorescence obtenus seront systématiquement associés à des profils de température et salinité (densité)** et ces données permettront de mieux comprendre les processus responsables de la variabilité de la biologie à cette échelle.
- iii) Etudier **le comportement de pêche des éléphants de mer en fonction du contexte océanographique** et notamment de la production primaire
- iv) De constituer une **contribution importante et originale à l'Année Polaire internationale (2007-2008)** en fournissant un important jeu de données pour les modèles biogéochimiques. **Les données obtenues sont intégrées dans la base de données CORIOLIS** et contribueront à l'établissement de **climatologie densité/chlorophylle**.

Ce programme est conduit en étroite collaboration avec le Sea Mammal Research Unit, M. Levy du LOCEAN, S. Blain du Centre Océanologique de Marseille et H. Claustre du laboratoire océanographique de Villefranche sur Mer.

Pertinence en Océanographie

Ce programme d'observation, basé sur l'utilisation des éléphants de mer comme « plates-formes » d'échantillonnage océanographique, fournira des données de hautes résolutions spatiale et temporelle, et ce pour des régions jusqu'ici peu échantillonnées. Après validation de leur précision, ces données pourront être assimilées dans des **banques de données océanographiques globales**. Elles nous permettent dans le même temps d'aborder des problèmes spécifiques de la circulation dans l'Océan Austral, détaillés ci-dessous et dont les premiers résultats sont en cours de publication.

- ***Variabilité du Transport et localisation des fronts dans l'Océan Austral***

Les anomalies de température transportées par le CCA ont été reliées à la variabilité climatique observée en Australie (White, 2000). Les variations du transport au sein du CCA pourraient aussi avoir un impact sur la variabilité climatique locale et globale, en influençant le budget thermique à l'échelle du bassin (e.g. Rintoul et Sokolov, 2001). La plus grande partie du transport du CCA est assurée par les fronts océaniques. Ces derniers forment aussi les frontières des différentes masses d'eau et définissent des zones biogéographiques. La position, la structure, et la variabilité des fronts sont donc importantes à la fois pour le climat et pour l'écologie. Au cours de la dernière décennie, les fronts océaniques du CCA ont été étudiés au sud de l'Australie (e.g. Rintoul et al., 2002), dans le bassin de Crozet (Park et al. 1993, Park et Gambéroni 1997) et au sud de l'Afrique du Sud (Park et al. 2001), grâce aux sections réalisées par des navires océanographiques dans le cadre de WOCE et JGOFs. Alors que ces mesures ont contribué à une meilleure compréhension du CCA, peu d'observation eurent lieu en hiver. Les données « éléphants » vont donc permettre de déterminer, pour la première fois en hiver, le transport et la variabilité des fronts dans la partie sud du CCA.

- ***Comparaison avec les données hydrographiques historiques***

Des analyses de l'Océan Austral au nord et au sud du Front Sub-Antarctique (FSA) ont montré qu'il y a eu un réchauffement significatif entre les années 1950 et 1990 dans la région située entre 60° E et 150°E (Aoki 1997).

Bien que les variations décennales au nord du FSA soient bien documentées, (e.g. Bindoff et Church 1992, Bindoff et McDougall 1994, Johnson et Orsi 1997, Wong et al. 2001), on en sait relativement peu sur l'évolution des masses d'eaux au sud du FSA. Selon les scénarios de changement climatique des modèles couplés océan-atmosphère, l'eau profonde circumpolaire (CDW) devrait subir des changements la rendant plus chaude et plus salée au niveau des surfaces de densité (Banks et al. 2000). Nous allons comparer les observations obtenues via les éléphants de mer, ainsi que d'autres mesures récentes, aux données historiques disponibles, pour déterminer si la signature du changement climatique prédit par les modèles climatiques peut être observée.

- ***Propriétés et évolution de la couche de mélange en hiver***

Il n'y a que peu d'observations directes dans l'océan ouvert concernant les changements saisonniers de la couche de mélange (e.g. Park et al. 1998). Les estimations de l'épaisseur de cette couche étaient basées jusqu'à présent sur des mesures du forçage atmosphérique à la surface, et sur quelques rares mouillages et profils CTD. Dans la zone des glaces, la couche de mélange est également un élément essentiel des écosystèmes marins (Nicol et al. 2000), étant connue pour contrôler la croissance et l'étendue de la glace de mer pendant la saison hivernale. (Martinson et Lannuzzi 1998). Les informations hivernales sur la couche mélangée dans cette zone des glaces sont cependant très limitées.

- ***Hydrologie du plateau de Kerguelen-Heard***

Les animaux équipés à Kerguelen permettront d'augmenter considérablement le nombre de données hydrologiques au Sud et à l'Est de Kerguelen, actuellement peu nombreuses. Le plateau péri-insulaire de Kerguelen joue un rôle majeur dans l'Océan Austral, aux plans physique et biologique. Très étendu au nord et au sud-est, il s'oppose à la circulation vers l'est du Courant Antarctique Circumpolaire, qui est majoritairement (75 %) détourné vers le Nord (Park et al. 1993). Le Front Polaire se positionne alors

près des côtes (30-40 km), à l'est de l'archipel (Park et Gambéroni 1997). Cette bathymétrie pourrait faire bénéficier l'écosystème pélagique d'une circulation océanique ralentie, et d'une importante production biologique sur le plateau, comme indiqué par les fortes concentrations de chlorophylle mesurées par les images SeaWiFS (Blain et al. 2001, Charrassin et al. 2002).

- **Utilisateur recensés des données Eléphants de accessibles depuis la base de données CORIOLIS**

- Mercator
- SOAP le modèle de la Marine nationale
- MERSEA
- MEDSPIRATION
- US National Oceanographic Data Center, Syd Levitus,
- Practical Global Oceanic State Estimation, Carl Wunsch and Patrick Heimbach, Department of Earth, Atmospheric and Planetary Sciences, Massachusetts Institute of Technology

Apports sur l'écologie des Eléphants de mer austraux

L'éléphant de mer austral est un prédateur important de l'Océan Austral consommant des quantités considérables de proies (poissons et calmars) et bien que ses principales colonies soient séparées par plusieurs milliers de kilomètres, ces animaux entreprennent d'importantes migrations pour rechercher leurs proies. Cette espèce prospecte l'ensemble des masses d'eau subantarctique et antarctique et par ailleurs l'éléphant de mer présente la particularité de plonger continuellement et profondément pour s'alimenter mais aussi se déplacer ou se reposer.

Des suivis à long terme ont ainsi récemment révélé une chute spectaculaire de certaines populations de prédateurs marins en rapport étroit avec la diminution de la glace de mer en Antarctique (Barbraud et Weimerskirch, 2001), soulignant ainsi l'importance des conditions hivernales (Guinet et al. 1998) et notamment de la **glace de mer pendant la période hivernale** (Barbraud. and Weimerskirch, 2003, Jenouvrier, et al. 2005) et notamment sur les éléphants de mer (McMahon et Burton 2005). Cependant, les mécanismes sous-jacents, correspondant probablement aux ressources alimentaires, restent à déterminer. Alors que quelques populations d'éléphant de mer sont stables, voire en légère augmentation, d'autres sont en déclin continu depuis les années 1950 (Boyd et al. 1996, Guinet et al. 1999, Slip & Burton 1999). En Georgie du sud la population a toujours été stable, alors qu'à Kerguelen-Heard elle s'est stabilisée après une période de fort déclin et sur un troisième site, l'île Macquarie, elle diminue toujours. Les raisons de ces différences ne sont pas claires, mais des changements régionaux d'abondance et de distribution des proies en relation avec des variations des conditions océanographiques pourraient en être la cause (Hindell et al. 1994 ; Weimerskirch et al. 2003). Quantifier l'influence des variations dans les conditions océanographiques à court, moyen, et long terme sur la distribution et le succès de pêche de ce prédateur marin est l'un des objectifs de ces travaux qui visent à élucider les processus permettant de comprendre et d'expliquer les différentes trajectoires observées entre ces populations d'éléphant de mer.

Afin d'étudier l'écologie de ces animaux, nous utilisons une nouvelle génération de balise Argos permettant d'obtenir simultanément à la trajectoire des éléphants de mer , des informations sur leur comportement de plongées et des données sur les profils de température et salinité mesurés lors de plongées. Cette nouvelle approche constitue un moyen innovant et efficace pour obtenir, en temps réel et sur l'ensemble de l'année, des quantités importantes d'informations sur les conditions océanographiques associées aux zones d'alimentation de ce prédateur marin. Par ailleurs cette approche est particulièrement appropriée pour collecter des données océanographiques (pour des utilisations océanographiques) notamment pour la période hivernale où ces données sont difficiles et coûteuses à obtenir (Fig. 5).

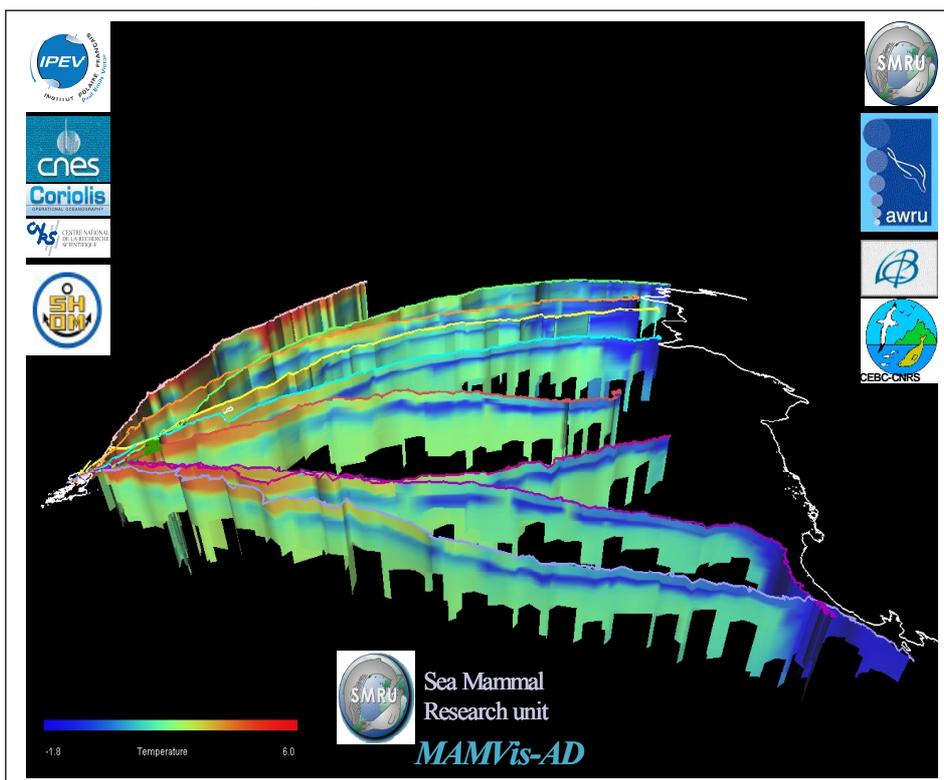


Figure 5 : Trajets effectués et profils de température (interpolés) et associés au trajet par 10 éléphants de mer de l'île Kerguelen équipés de Balises ARGOS-CTD; février-mars 2004.

Ne disposant d'aucun moyen nous permettant de mesurer les prises alimentaires des éléphants de mer au cours de leurs trajets, nous avons recours à un ensemble de proxis pour caractériser les changements de comportement des animaux révélateur d'un comportement de recherche alimentaire et du succès de leur pêche afin 1) d'identifier les habitats de pêche les plus favorables et 2) les caractéristiques océanographiques associées. Cette partie du programme a fait l'objet de la thèse, soutenue en décembre 2006, de Frédéric Bailleul (Université de la Rochelle).

Ainsi, lors de ce travail, nous avons pu montrer Les zones où les animaux intensifient leur comportement de recherche alimentaire se caractérisant par une augmentation de la sinuosité des trajectoires des animaux, une augmentation de la densité de plongée (i.e. du nombre de plongées effectuées par km parcouru) et une augmentation de la proportion de plongées caractéristiques d'un comportement de pêche (Figure 6). Par ailleurs un indice plus direct du succès de la pêche nous est fourni par le suivi de l'évolution de la densité des animaux au cours de leurs trajets en mer, densité qui va avoir un effet sur le comportement de plongées des éléphants de mer. Cet effet est particulièrement sensible lors des plongées de repos. Lors de ces plongées, ils nagent activement jusqu'à environ 200 m de profondeur, puis cessent toute activité natatoire pour se laisser dériver passivement et, en fonction de leur densité, ils coulent ou remontent vers la surface. Lorsqu'ils sont maigres (i.e. moins gras) ils sont plus denses et ont tendance à couler et inversement lorsqu'ils sont gras ils ont tendance à remonter vers la surface. Ainsi, il est possible d'obtenir des indices relatifs de leur condition, et surtout de son évolution au cours des trajets en mer des éléphants de mer, mais aussi d'identifier les caractéristiques océanographiques associées aux secteurs pour lesquels les éléphants de mer pêchent avec succès ou non.

Cependant, la contribution la plus novatrice de nos travaux dans l'identification des habitats favorables de pêche et sans nul doute le développement d'une nouvelle méthode d'identification des zones de pêches favorable (Bailleul et al. en révision) à partir de la combinaison de la méthode de «first passage time» et du temps efficace de plongée (i.e. temps passé au fond de la plongée). Cette méthode initialement développée par Fauchald et al. 2000 consiste à identifier les échelles au sein des quelles la variance des directions prises par un animal lors de son trajet augmente. Cette méthode est uniquement appliquée sur des paramètres de trajectoire de l'animal suivi. Cela peut s'avérer insuffisant pour un prédateur plongeur. Le temps efficace (i.e. temps passé au fond des plongées) est fonction de la profondeur des plongées. En effet, plus un animal plonge profondément moins il peut passer de temps au fond de sa plongée car le temps d'accès au fond et à la surface augmente avec la profondeur. Par conséquent le temps efficace doit être une fonction de la profondeur atteinte. Nous avons émis l'hypothèse selon le théorème de la valeur marginale que, lorsque les éléphants de mer rencontraient un «patch» de nourriture particulièrement favorable, ils allaient essayer de maximiser le temps efficace au sein de ce patch et par conséquent augmenter le temps passé au fond de la plongée. Nous avons ainsi appliqué la méthode du «first passage time» sur la variance du temps efficace et ainsi pu identifier des secteurs où les éléphants mer augmentaient le temps efficace de leur plongée.

Nous avons pu montrer qu'il existait globalement en zone océanique une assez bonne correspondance spatiale entre les zones ainsi définies avec celles où les animaux changent de comportement de déplacement (sinuosité) et de plongée (augmentation des densités de plongées) et l'améliorent leur l'indice de condition corporelle (i.e. diminution de leur densité). Cependant cette méthode présente le double avantage de 1) mieux résoudre spatialement les zones d'alimentation des éléphant de mer que la seule méthode du «first passage time» appliquée sur les seules trajectoires et 2) de différencier pour les mâles juvéniles qui pêchaient sur la plateau péri-antarctique en présence de banquise les secteurs où la banquise restreignait le mouvement des animaux (et qui aurait été identifiés comme favorables par l'application de la seule méthode du first passage time) v.s. les secteurs de pêche les plus favorables.

Ces travaux nous ont aussi permis de décrire précisément le comportement de pêche de ces animaux en fonction du contexte océanographique. Nous avons ainsi pu montrer à partir des données océanographiques collectées au cours de leur trajet en mer, l'importance relative de différents habitats de pêche (Bailleul et al. sous presse) et l'influence exercées selon le sexe des individus par la glace de mer sur la distribution des éléphants de mer (Fig. 7 ; Bailleul et al. sous presse).

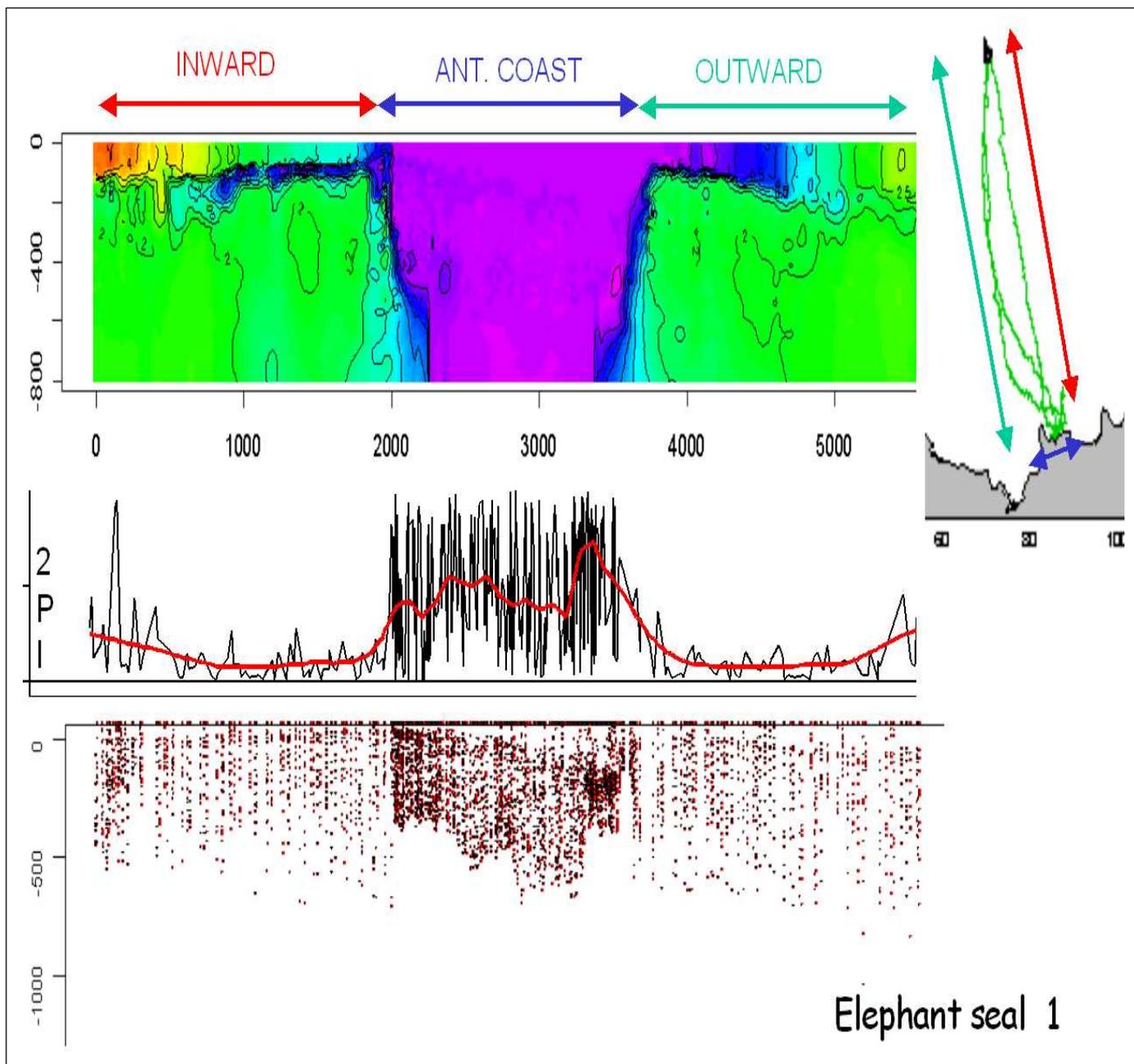
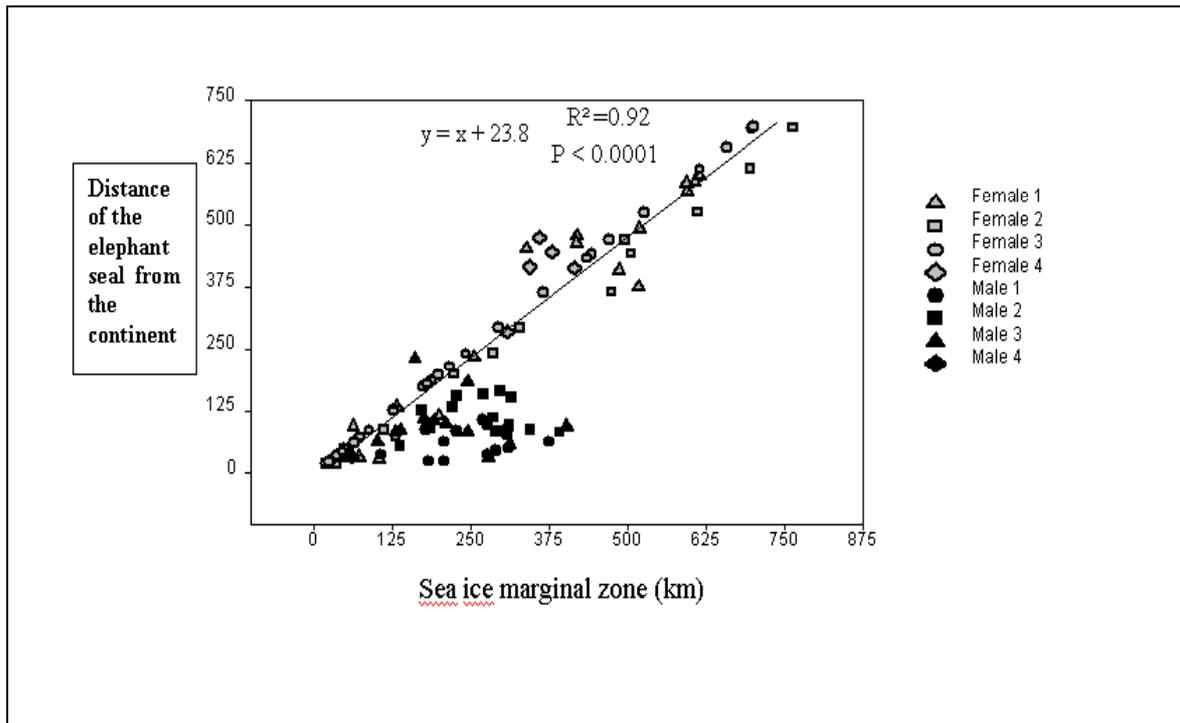
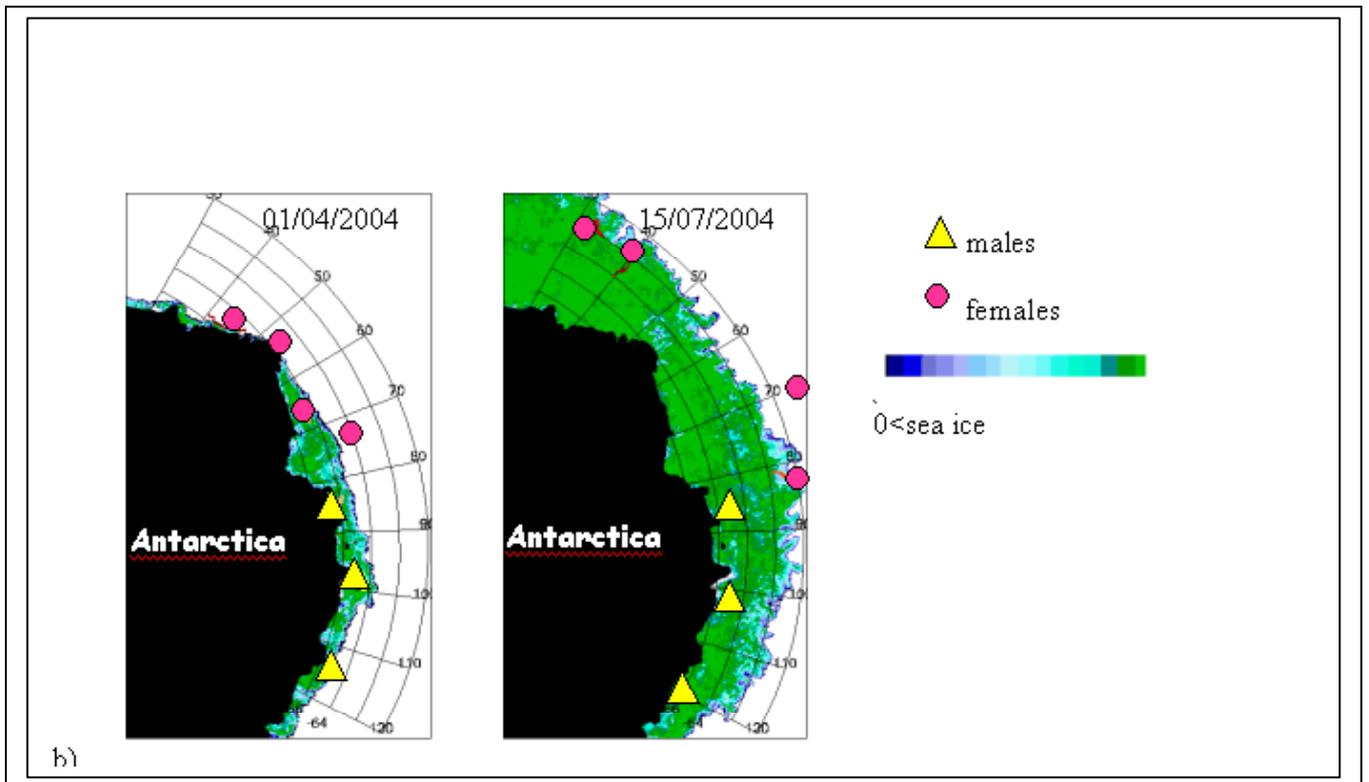


Figure 6: profil de température interpolé (haut) , indice de sinuosité de la trajectoire (milieu) et densité de plongées (bas) par km lors d'un trajet aller retour d'un mâle éléphant de mer entre Kerguelen et le continent antarctique (haut à droite). Ce mâle a accentué son effort de recherche alimentaire dans les eaux les plus froides (-1.5° et -2°C) localisées sur le plateau péri-antarctique (température homogène sur la colonne d'eau). Bailleul et al. *Proceeding of the Royal Society* (sous presse a).



a)



b)

Figure 7: relation entre la distance des animaux par rapport au continent antarctique et l'étendue de la glace de mer (50 % de concentration: Zone marginale de glace) pour la longitude correspondante. Il existe une relation positive très significative avec une pente de 1, pour les femelles (en gris clair) alors qu'il n'existe aucune relation pour les mâles. (b) situation de la distribution des mâles (triangle jaune) et des femelles (point rose) en fonction de la glace de mer en ce point au 1^{er} avril 2004 et 15 juillet 2004 indique clairement que les femelles sont associées à la zone marginale de glace (bordure de la banquise) tandis que les mâles demeurent sur le plateau péri-antarctique sur une zone recouverte par la banquise avec des concentrations voisines de 100%. (Bailleul et al. Deep Sea Research sous presse_b)

Nos travaux ont permis d'établir que lorsqu'ils sont sur le plateau péri-antarctique les éléphants de mer semblent cibler les eaux les plus froides qui ont une signature thermique de -2°C à 200 m de profondeur (Figure 8). De telles température ne peuvent pas s'observer en surface où la température de formation de la banquise est de -1.8° , mais seulement en profondeur sous l'effet i) de la pression exercée et ii) nécessite une source locale de refroidissement. Ainsi ces masses d'eau ne sont observées qu'en bordure d'Ice-Shelf où dans des zones de très forte concentration d'icebergs. Une de nos hypothèses, serait que dans un tel environnement les capacités de locomotion (i.e. de fuite) des proies hétérothermes des éléphants de mer (poisson et calmar) doivent être considérablement réduites car on atteint leur limite physiologique en température. Ces capacités de mobilités réduites doivent grandement faciliter leur capture par un homéotherme qui s'affranchit en grande partie de ces contraintes.

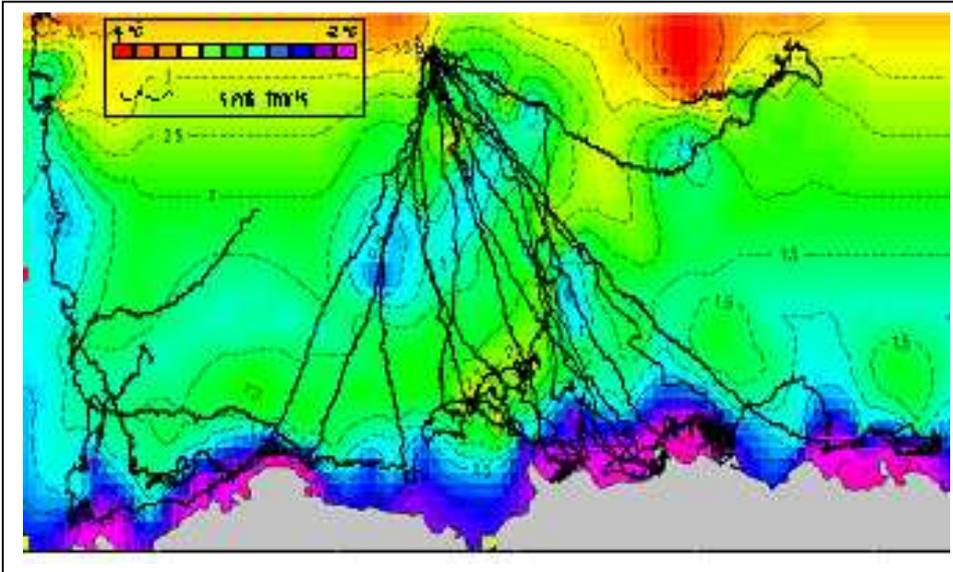


Figure 8. trajets des éléphant de mer équipés en 2004 superposés aux champs de température à 200 m de profondeur interpolés à partir des données de température collectées lors des trajets des éléphants de mer. Cette figure illustre notamment la forte affinité des éléphants de mer pour les eaux les plus froides localisées sur le plateau péri-antarctique.

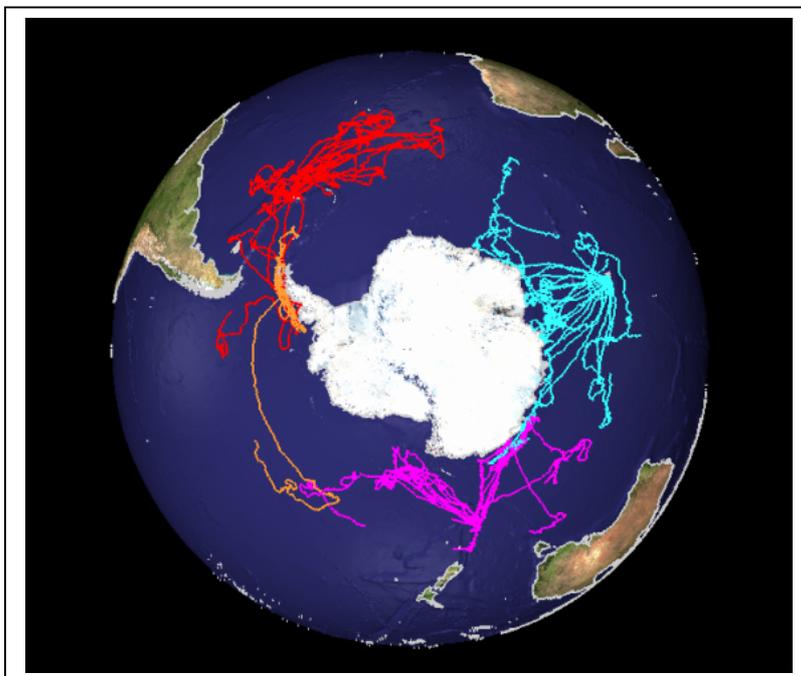
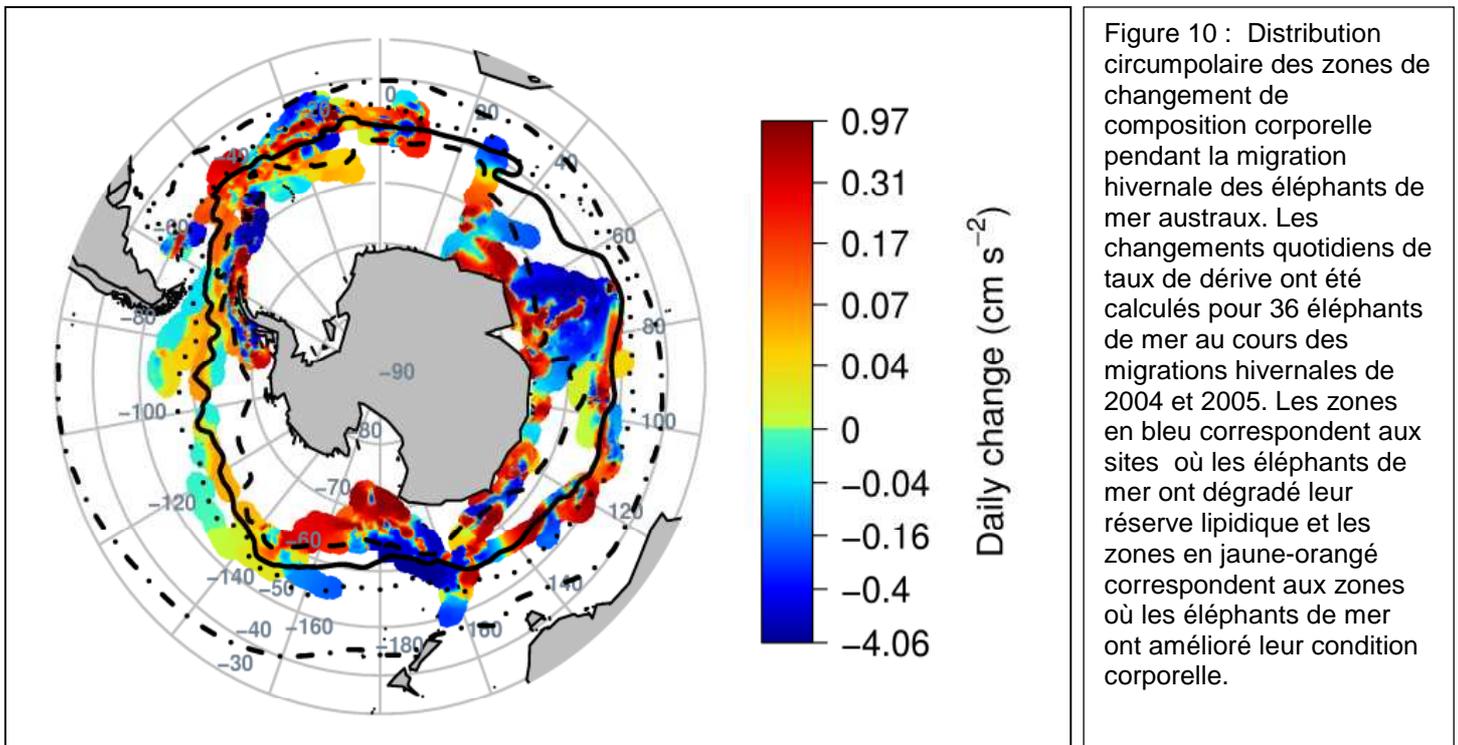


Figure 9. trajets effectués en 2003, 2004 et 2005 par les éléphants de mer équipés de balises argos CTD à Kerguelen (Bleu) Macquarie (rose) et Géorgie du Sud (rouge) et péninsule antarctique (orange)

La synthèse des travaux conduits en collaboration avec nos collègues du SMRU (GB) et de l'AWRU (Australie) (Fig. 9) ont permis de montrer que les éléphants de mer des populations de Kerguelen et Macquarie dépendent plus fortement de la zone antarctique (plateau péri-antarctique et Zone marginale de glace) pour leur alimentation) comparée à la population de Géorgie du Sud. Par ailleurs les éléphants de mer de Kerguelen et Macquarie voyagent en moyenne 17 jours avant de parvenir aux premières zones de pêche favorables alors qu'il ne faut que quatre jours pour les éléphant de mer provenant de Géorgie du sud. En tenant compte des phases aller et retour pour les éléphant de mer de Kerguelen et Macquarie, c'est un mois de plus, soit 1000 km supplémentaires, que doivent parcourir ces éléphants de mer pour atteindre les zones de pêche favorables par rapport à ceux de Géorgie du sud. Ce coût énergétique supplémentaire doit être compensé par des gains énergétiques nets plus importants lorsque ces éléphants de mer sont sur des sites de pêche favorables. Dans le cas contraire cela impliquerait une diminution substantielle des réserves énergétiques disponibles pour la reproduction, de l'ordre de 10 à 20% par rapport aux animaux de Géorgie du Sud. Bien que ces estimations demandent à être affinées, ce mécanisme pourrait expliquer les différences de trajectoire observées au cours des années 60-70 entre les trois principales populations d'éléphants de mer austral. Les populations de Kerguelen et Macquarie ont baissé sur cette période caractérisée par une diminution très sensible de l'étendue de la glace de mer (De la Mare 1997, 2002; Cotté et Guinet, sous presse) par rapport à la population de Géorgie du Sud qui dépend plus fortement de la zone frontale polaire pour son alimentation (Fig. 10). Ces travaux sont effectués simultanément en Géorgie du Sud (GB) et à Macquarie (Australie), et en Péninsule Antarctique (USA) et devraient débiter à l'île Marion (Afrique du Sud) dans le cadre **d'un programme international SeaOS (Southern Elephant Seal as Oceanographic Sampler)** permettant d'assurer la couverture de l'ensemble de l'océan austral (Fig. 9) et de couvrir ainsi des situations environnementales contrastées.



Références bibliographiques

- Aoki, S., 1997. Trends and inter-annual variability of surface-layer temperature in the Indian sector of the Southern Ocean observed by the Japanese Antarctic Research Expeditions. *Journal of Oceanography* 53: 623-631.
- Banks, H.T., Wood, R.A., Gregory, J.M., Johns, T.C. & G.S. Jones, 2000. Are observed decadal changes in intermediate water masses a signature of anthropogenic climate change? *Geophysical Research Letters* 27: 2961-2964.
- Bindoff, N.L. & J.A. Church, 1992. Warming of the water column in the southwest Pacific Ocean. *Nature* 357: 59-62.
- Bindoff, N.L. & T.J. McDougall, 1994. Diagnosing climate change and ocean ventilation using hydrographic data. *Journal of Physical Oceanography* 24: 137-1152.
- Blain, S., Tréguer, P., Belviso, S., Bucciarelli, E., Denis, M., Desabre, S., Fiala, M., Martin-Jezequel, V., Le Fèvre, J., Mayzaud, P., Marty J.-C., & S. Razouls, 2001. A biogeochemical study of the island mass effect in the context of the iron hypothesis. *Deep-Sea Research Part I* 48: 163-187.
- Boehlert, G. W., Costa, D. P., Crocker, D. E., Green, P., O'Brien, T., Levitus, S. & B.J. Le Boeuf, 2001. Autonomous pinniped environmental samplers: Using instrumented animals as oceanographic data collectors. *Journal of Atmospheric and Ocean Technology* 18: 1882-1893.
- Bornemann, H., Kreyscher, M., Ramdohr, S., Martin, T., Carlini, A., Sellmann, L., & J. Plötz, 2000: Southern elephant seal movements and Antarctic sea-ice. *Antarctic Science* 12: 3-15
- Boyd, I. L., Hawker, E. J., Brandon, M. A. & I.J. Staniland, 2001. Measurement of ocean temperatures using instrument carried by Antarctic fur seals. *Journal of Marine Systems* 27: 277-288.
- Boyd, I. L., Walker, T. R. & J. Poncelet, 1996. Status of southern Elephant seal at South Georgia, *Antarctic Science* 8: 237-244.
- Boyd, I. L. & T. Arnbom, 1991. Diving behaviour in relation to water temperature in the southern elephant seal: foraging implications. *Polar Biology* 11: 259-266.
- Charrassin, J.-B., Y.-H. Park, Le Maho, Y. & C.-A. Bost, 2002. Penguins as oceanographers unravel hidden mechanisms of marine productivity. *Ecology Letters* 5 : 317-319.
- Costa, D.P. 1993. The secret life of marine mammals: Novel tools for studying their behaviour and biology at sea. *Oceanography* 6:120-128.
- Daunt, F., Peters, G., Scott, B., Grémillet, D., & S. Wanless. Rapid-response recorders reveal interplay between marine physics and seabird behaviour. *Marine Ecology Progress Series*, sous presse.
- Field, I., Hindell, M.A., Slip, D.J. & K.J. Michael, 2001. Foraging strategies of southern elephant seals (*Mirounga leonina*) in relation to frontal zones and water masses. *Antarctic Science* 14: 371-379.
- Georges, J.-Y., Bonadonna, F. & C. Guinet, 2000. Foraging habitat and diving activity of lactating subantarctic fur seals in relation to sea surface temperature at Amsterdam Island. *Marine Ecology Progress Series* 196: 291-304.
- Guinet, C., Jouventin, P. & H. Weimerskirch, 1999. Recent population change of the southern elephant seal at îles Crozet and îles Kerguelen: the end of the decrease? *Antarctic Science* 11: 193-197.
- Hindell, M. A., Slip, D. J. & H.R. Burton, 1994. Possible causes of the decline of southern elephant seal populations in the southern Pacific and southern Indian Oceans. In: Le Boeuf, B. J. & Laws, R. M. (eds). *Elephant seals: population ecology, behavior and physiology*. Berkeley : University of California Press, 66-84.
- Hindell, M.A. & H.R. Burton, 1988. Seasonal haul-out patterns of the southern elephant seal (*Mirounga leonina* L.) at Macquarie Island. *Journal of Mammalogy* 69: 81-88.
- Hooker, S., H. & I. L Boyd. Salinity sensors on seals: use of marine predators to carry CTD dataloggers. *Deep Sea Research Part I*, sous presse.
- Johnson, G.C. & A.H. Orsi, 1997. Southwest Pacific Ocean water mass changes between 1968/69 and 1990/91. *Journal of Climate* 10: 306-316.
- Jonker, F.C. & M.N. Bester, 1998. Seasonal movements and foraging areas of adult southern female elephant seals, *Mirounga leonina*, from Marion Island. *Antarctic Science* 10: 21-30.
- Koblinsky, C.J. & N.R. Smith (Eds), 2001. *Observing the Oceans in the 21st Century*. Bureau of Meteorology, Melbourne, 604 pp.

- Koudil, M., Charrassin, J.-B., Le Maho, Y. & Bost, C. A. 2000. Seabirds as monitors of upper-ocean thermal structure : king penguins at the Antarctic Polar Front, East of Kerguelen sector. *Comptes Rendus Académie des Sciences. Paris, Series III* 323: 377-384.
- Loaec, G., Cortes, N., Menzel, M., Moliera, J. 1998. PROVOR : A Hydrographic profiler based on MARVOR technology. <http://www.ifremer.fr/dtmsi/produits/marvor/o98-484.pdf>
- Marsland, S., N.L. Bindoff, G.D. Williams & W.F. Budd, 2001. Modelling the circulation and processes controlling bottom water formation over the Adelie Depression, *Deep-Sea Research A*, en préparation.
- Martinson, D.G. & R.A. Iannuzzi, 1998. Antarctic ocean-ice interaction: implications from ocean bulk property distributions in the Weddell Gyre. In: Antarctic Sea Ice: Physical Processes, Interactions and Variability, *Antarctic Research Series* 74: 243-271, American Geophysical Union, Washington.
- McConnell, B.J., Chambers, C., & M.A. Fedak, 1992. Foraging ecology of southern elephant seals in relation to the bathymetry and productivity of the Southern-Ocean. *Antarctic Science* 4: 393-398.
- McConnell, B.J. & M.A. Fedak, 1996 Movements of southern elephant seals. *Canadian Journal of Zoology* 74: 1485-1496.
- McConnell, B.J., 1986. Tracking grey seals, *Halichoerus grypus*, using Service ARGOS. *Mesogee* 46: 93-94.
- Nicol, S., T. Pauly, N.L. Bindoff, S. Wright, D. Thiele, G.W. Hosie, P.G. Strutton & E. Woehler, 2000. Ocean circulation off East Antarctica affects ecosystem structure and sea-ice extent. *Nature* 406 : 504-507.
- Park, Y.-H., L. Gambéroni. & E. Charriaud, 1993. Frontal structure, water masses, and circulation in the Crozet Basin. *Journal of Geophysical Research* 98: 12361-12385.
- Park, Y.-H. & L. Gamberoni, 1997. Cross-frontal exchange of Antarctic Intermediate Water and Antarctic Bottom Water in the Crozet Basin. 1997. *Deep - Sea Research Part II - Topical Studies in Oceanography* 44: 963-986.
- Park, Y.-H., Charriaud, E., Ruiz-Pino, D. & C. Jeandel, 1998. Seasonal and interannual variability of the mixed-layer properties and steric height at station KERFIX, southwest of Kerguelen. *Journal of Marine Systems* 17: 571-586.
- Park, Y.-H., 2001. Interannual sea level variability in the southern ocean within the context of global climate change. *AVISO Newsletter* 8: 75-77.
- Park, Y.-H., Charriaud, E., Craneguy, P., & A. Kartavtseff, 2001. Fronts, transport, and Weddell Gyre at 30°E between Africa and Antarctica. *Journal of Geophysical Research* 106 : 2857-2879
- Rintoul, S. R., 1998. On the origin and influence of Adelie Land Bottom Water. In: Jacobs S. & R. Weiss (eds). Ocean, Ice and Atmosphere: Interactions at the Antarctic Continental Margin, *Antarctic Research Series* 75: 151-171, American Geophysical Union, Washington.
- Rintoul, S. R. & S. Sokolov, 2001. Baroclinic transport variability of the Antarctic Circumpolar Current south of Australia (WOCE repeat section SR3). *Journal of Geophysical Research* 106: 2795-2814.
- Rintoul, S.R., S. Sokolov, & J. Church, 2002. A six year record of baroclinic transport variability of the Antarctic Circumpolar Current at 140° E, derived from XBT and altimeter measurements. *Journal of Geophysical Research*, sous presse.
- Stocker, T.F. (ed), 2001. Physical Climate Processes and Feedback, Ch. 7 of *Climate Change 2001: The Scientific Basis*, Third Assessment Report of the IPCC, Cambridge University Press, 881 pp.
- Slip, D. J. & H.R. Burton, 1999. Population status and seasonal haulout patterns of the southern elephant seal (*Mirounga leonina*) at Heard Island. *Antarctic Science* 11: 38-47.
- Watanuki, Y., Melhum, F., & A. Takahashi, 2001. Water temperature sampling by foraging Brünnich's Guillemots with bird-borne data loggers. *Journal of Avian. Biology* 32: 189-193.
- Weimerskirch, H., Wilson, R.P., Guinet, C. & M. Koudil, 1995. The use of seabirds to monitor sea-surface temperature and validate satellite remote-sensing measures. *Marine Ecology Progress Series* 126: 299-303.
- White, W.B., 2000. Influence of the Antarctic Circumpolar Wave on Australia precipitation from 1958-1997. *Journal of Climate* 13: 2125-2141.
- Wilson R. P., Grémillet, D., Syder, J., Kierspel, M.A.N., Garthe, S., Weimerskirch, H., Schäfer-Neth, C., Scolaro, J. A., Bost, C. A., Plötz, J. & D. Nel, 2002. Remote-sensing systems and seabirds: their use, abuse and potential for measuring marine environmental variables. *Marine Ecology Progress Series* 228: 241-261.
- Wong, A.P.S, N.L. Bindoff & J.A. Church, 2001. Freshwater and Heat Changes in the North and South Pacific oceans between the 1960s and 1985-94. *Journal of Climate* 14: 1613-1633.

Valorisation scientifique et auprès du public du programme éléphants de mer océanographes

Production d'articles scientifiques (7) dans des revues à comité de lecture

- BAILLEUL F., CHARRASSIN J.B., EZRATY R., GIRARD-ARDHUIN F., MCMAHON C.R., FIELD I.C., GUINET C., (sous presse) Southern elephant seals from Kerguelen Islands confronted by Antarctic sea ice. Changes in movements and in diving behaviour. *Deep Sea Research II*
- BAILLEUL F., CHARRASSIN J.B., MONESTIEZ P., ROQUET F., BIUW M., GUINET C., (sous presse) Successful foraging zones of southern elephant seals from Kerguelen Islands in relation to oceanographic conditions. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* (in press)
- BAILLEUL F., HINDELL M., CHARRASSIN J.B., GUINET C., (en révision) Using first passage time derived to assess the scale dependent foraging behavior of a deep diving predator: the Southern elephant seal (*Mirounga leonina*). *Journal of experimental Biology*.
- ROQUET F., PARK Y. H., GUINET C., CHARRASSIN J.B., (sous presse) Observations of the Fawn Trough Current over the Kerguelen Plateau from instrumented elephant seals. *Marine System*
- BIUW M., BOEHME L., GUINET C., HINDELL M., COSTA D., CHARRASSIN J.B., ROQUET F., BAILLEUL F., MEREDITH M., THORPE S., TREMBLAY Y., MCDONALD B., PARK Y.-H., RINTOUL S., BINDOFF N., LOVELL P., NICHOLSON J., MONKS F., FEDAK M. (soumis) Behavioural and physiological responses of a large Southern Ocean top predator to *in-situ* physical ocean structures, *Science*.
- PARK, Y.H., ROQUET F., DURAND I., FUDA, J.L. (soumis) Circulation over the Kerguelen plateau, *Deep Sea Res. II*
- BOST C.A., COTTÉ C., BAILLEUL F., CHEREL Y., CHARRASSIN J.B., GUINET C. & WEIMERSKIRCH H. (soumis) Importance of Southern Ocean fronts for seabird and marine mammals. *Journal of Marine System*

Participation à des Conférences Nationales et Internationales

6-9 Juillet 2004, Australian Marine Science Association. Hobart, Australie

Bailleul F., Barbraud C., Biuw M., Bost C.A., Charrassin J.B., Dubroca L., Lea M.A., Roquet F., Park Y.-H., Fedack M., Hindell M., Weimerskirch H., **Guinet C.** 2004. What can top marine predators tell us about the Southern Ocean. Orateur invité, présentation plénière

6-7 octobre 2004, Réunion du Groupe de Mission Mercator Coriolis, Toulouse,

Charrassin J.-B., Roquet F., Bailleul F., Bost C.A., Park Y.-H., **Guinet C.** 2004. Eléphants de mer prédateurs et «Océanographes» de l'Océan Austral. présentée à la réunion du Groupe de Mission Mercator Coriolis, 6-7 Octobre 2004, Centre de conférence Météo France Toulouse. Présentation orale
http://www.mercator-ocean.fr/documents/science/ao/ao_2004/gmmc2004/GMMC2004_Guinet1.pdf

Roquet F., Park Y.-H., Guinet C., Charrassin J. B., 2004. Etalonnage et validation des mini-CTD pour éléphants de mer. Réunion du Groupe de Mission Mercator Coriolis, 6-7 Octobre 2004, Centre de conférence Météo France de Toulouse. Poster
http://www.mercator-ocean.fr/documents/science/ao/ao_2004/gmmc2004/Poster_Guinet.pdf

11 octobre 2004. Journée du Comité National Français pour les Recherches Antarctiques. Paris.

Charrassin, J. B., Bailleul, F. Roquet, F. C.A. Bost, Y.H. Park, **Guinet, C.** Les éléphants de mer prédateurs et «Océanographes» de l'Océan Austral. Présentation orale Conférencier invité.

2-7 avril 2005, 19 th Annual Conference of the European Cetacean Society, La Rochelle

Bailleul F., Charrassin J.B., Ezraty R., Guinet C. 2005. Foraging in Antarctic sea-Ice by Southern elephant seals: a compromise between food and breeding constraints. Présentation orale.

13-16 juin 2005. 2nd international Bio-logging Science Symposium, St Andrews, Ecosse

Bailleul F., Charrassin J.B., Ezraty R. Guinet C. 2005. Foraging in the southern ocean by southern elephant seals: importance of Antarctic Sea ice. Présentation orale

Charrassin, J.B., Roquet, F. Park, Y.H., Bailleul, F., Bost, C.A., Biuw, M., Fedack, M., Field, I., Hindell, M., McMahon, C., Guinet C. Elephant seal-borne miniaturized CTDs provide an unprecedented number of temperature and salinity profiles for the poorly known southern Indian Ocean. Poster

11-15 juillet 2005. Annual Main Meeting of the Society for experimental Biology, Barcelona, Espagne.

Bailleul F., Charrassin J. B., Ezraty R. **Guinet C.** 2005. Foraging behaviour of southern elephant seals in relation to oceanographic conditions. Présentation orale, conférencier invité

24-27 Février 2006 Ocean Science Meeting, Honolulu, Hawai

Roquet F. et al., Charrassin J-B, Bailleul F., Bost C.A., Guinet C., **Park Y-H**, Strong topographical control of circulation over the Kerguelen Plateau revealed from elephant seal-borne miniaturized CTD. Présentation orale

Charrassin J-B, Roquet F., Guinet C., Park Y.H., Validation of temperature and salinity data collected by instrumented elephant seals in the Southern Ocean. Poster

4-5 octobre 2006 3e Journée Scientifique du Comité National Français de Recherche Arctiques et Antarctiques, , Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris.

Roquet F., Guinet, C., Bailleul F., Charrassin, J.-B., Park Y-H – Des éléphants de mer océanographes sur les îles Kerguelen, Présentation orale

Bailleul F. – Behavioural responses of elephant seals from Kerguelen Island to Antarctic sea ice, Présentation orale

Articles sans comité de lecture

Guinet C. (2004), Predator and «Oceanographer», Elephant seal in the Southern Ocean. Argos Forum 10/2004 : 8-13.

Documentaires télévisés

2007 : (Diffusion Mars sur France 3) **Le cheval et l'éléphant. (24 min)**

Production Thalassa, réalisation Béatrice Berge. Documentaire présentant le programme éléphant de mer océanographe et l'incorporation des données dans CORIOLIS, travail de terrain et en laboratoire. lors de la campagne d'été réalisée à Kerguelen en Janvier –Avril 2006.

Annexes Techniques

Rapport sur le calibrage (2) et les méthodes de compression (2) des données

Réalisés par Fabien Roquet, ingénieur Contractuel financé par le programme
CNES-TOSCA

Eléphants de Mer Océanographes

Rapport sur le calibrage 2004

Rapport sur le calibrage 2006

POSTER GMMC 2004

Eléphant de mer Bio-échantillonneurs de profils de température et salinité
Etalonnage et validation des mini-CTD pour éléphants de mers

POSTER

GMMC 2005

Eléphant de mer Bio-échantillonneurs de profils de température et salinité

Correction des données de salinité « éléphant de mer » par comparaison avec les profils historiques proches

