

## Transect GLACIOCLIM-SAMBA : observation et modélisation du Bilan de Masse de Surface sur la zone de transition côte-plateau Antarctique

C. Agosta<sup>1</sup>, C. Genthon<sup>1</sup>, V. Favier<sup>1</sup>, D. Six<sup>1</sup>

<sup>1</sup>LGGE, UMR 5183, Saint Martin d'Hères, 38402, France ([cecile.agosta@lgge.obs.ujf-grenoble.fr](mailto:cecile.agosta@lgge.obs.ujf-grenoble.fr))

### Introduction

L'Observatoire GLACIOCLIM-SAMBA (SurfAce Mass Balance of Antarctica) est la composante Antarctique de l'Observatoire de Recherche en Environnement GLACIOCLIM (les GLACIers, un Observatoire du CLIMat). Cet ORE vise à compléter, homogénéiser et pérenniser les mesures glaciologiques et météorologiques menées sur un nombre limité de glaciers représentatifs de zones climatiques variées.

Le Bilan de Masse de Surface (BMS) est la seule composante du bilan de masse total Antarctique susceptible de modérer l'élévation à venir du niveau des mers. La zone côtière est une région critique pour le BMS Antarctique. Elle reçoit en effet la grande majorité des précipitations et, d'après les simulations, connaîtra une augmentation des précipitations 4 fois plus grande que sur le reste du continent d'ici la fin du siècle (Genthon et al., 2008). De plus, la répartition et l'accumulation de la neige sont soumises à des processus complexes dans cette région (sublimation, fonte, regel, transport de neige par le vent). Or le BMS est paradoxalement peu observé dans les zones côtières et de transition côte-plateau. C'est pourquoi l'Observatoire GLACIOCLIM-SAMBA a mis en place une ligne de 91 balises, partant de Cap Prud'homme sur la côte et s'étendant jusqu'à 150 km à l'intérieur du continent en direction de Dôme C. Des mesures d'accumulation sont ainsi effectuées chaque année depuis 2004 le long de ce transect. Ces mesures sont discutées ci-après et comparées à des sorties de modèles de climat.

### Observations et résultats

#### Accumulation le long du transect GLACIOCLIM-SAMBA

Du fait des difficultés logistiques importantes liées au milieu Antarctique, 3 campagnes de terrain successives (Janvier 2004, 2005 et 2006) ont été nécessaires pour déployer l'ensemble du transect GLACIOCLIM-SAMBA.

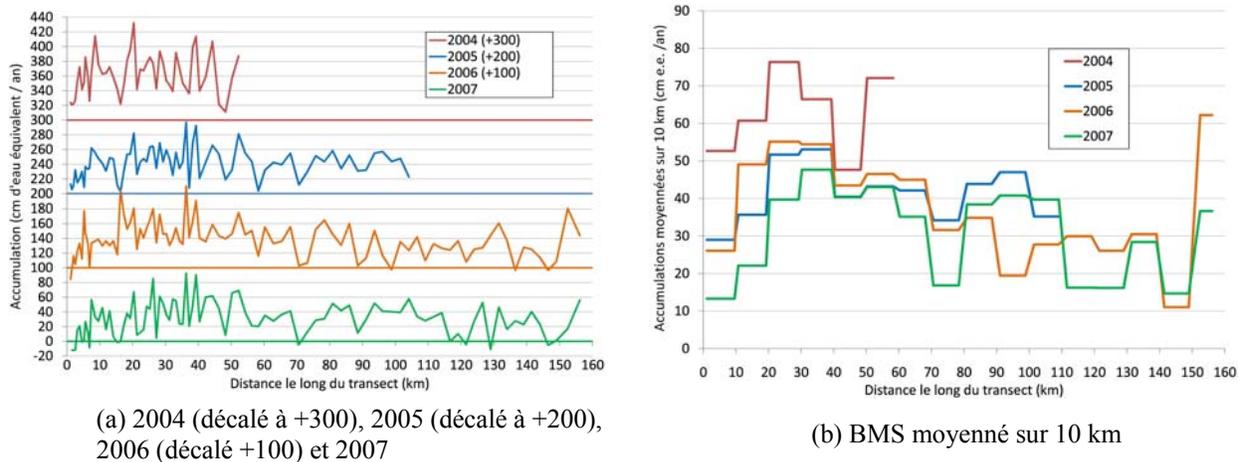


Figure 1. BMS annuel le long du transect en cm d'eau équivalent par an (cm eq. e. an<sup>-1</sup>), pour les années 2004 (courbe rouge), 2005 (courbe bleue), 2006 (courbe orange) et 2007 (courbe verte).

On constate qu'il existe une très forte variabilité du BMS à l'échelle kilométrique (Figure 1.a). Sur les 4 années de mesure, l'écart-type de l'accumulation le long du transect varie entre 23 à 28 cm eq. e. an<sup>-1</sup>. Toutefois, une partie des fluctuations spatiales semble stationnaire sur les 4 années d'observation (pics à 20 et à 40 km par exemple). On observe aussi une tendance méso-échelle correspondant à une croissance du BMS sur les 40 premiers kilomètres depuis la côte, puis une décroissance lente de celui-ci lorsque l'on s'éloigne vers l'intérieur du continent (Figure 1.b). La variabilité interannuelle est également importante. On constate en particulier que le BMS peut varier du simple au double d'une année sur l'autre et qu'il est globalement plus élevé en 2004 qu'en 2005, 2006 et 2007.

### **Evaluation de modèles climatiques**

Les modèles de climat ont une résolution spatiale trop grande pour représenter la variabilité kilométrique du BMS observé. C'est pourquoi nous considérons ici les valeurs de BMS observé moyennées sur 20 km.

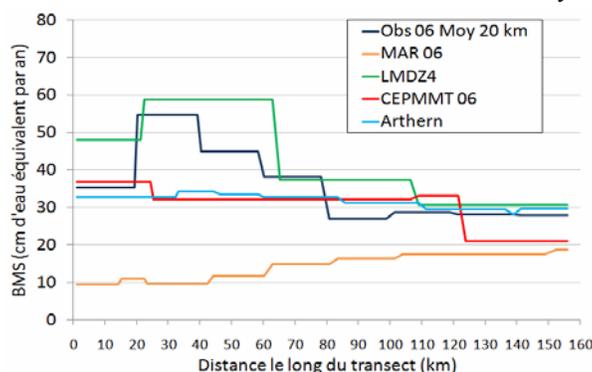


Figure 2. BMS simulé par MAR (orange), LMDZ4 zoomé (vert) et le CEPMMT (rouge) en cm d'eau équivalent par an. Les observations moyennées sur 20 km sont représentées en bleu foncé et la climatologie d'Arthern et al. (2006) en bleu ciel. Comparaisons pour l'année 2006.

Les sorties de 3 modèles de climat à résolution fine sur l'Antarctique sont disponibles au LGGE. Le CEPMMT est un Modèle Global de Climat réinitialisé fréquemment de façon à fournir des prévisions météorologiques de moyen-terme (résolution 50 km), LMDZ4 est un Modèle de Climat Atmosphérique Global zoomé sur les pôles (résolution 40 km), enfin MAR est un Modèle Régional Mésos-échelle développé spécifiquement pour les régions polaires (résolution 20 km). Le modèle MAR, bien que représentant finement les processus météorologiques spécifiques à l'Antarctique, sous-estime systématiquement le BMS sur la zone côtière par rapport aux observations du transect pour les 3 années de simulation disponibles (2004 à 2006). Les simulations issues de LMDZ4 et du CEPMMT représentent mieux le BMS moyen dans la zone du transect, cependant seul LMDZ4 parvient à reproduire les variations méso-échelles observées (Figure 2).

La climatologie d'Arthern et al. (2006), qui fait référence actuellement, a été réalisée à partir d'un ensemble d'observations de BMS répertoriées sur la seconde moitié du 20<sup>ème</sup> siècle et de données issues de la télédétection, avec une résolution de 100 km sur l'Antarctique. Cependant, cette climatologie ne représente pas non plus les variations méso-échelles observées sur le transect.

### **Discussion et conclusion**

Les données de BMS de l'Observatoire GLACIOCLIM-SAMBA mettent en évidence le degré de réalisme des modèles et leurs discordances systématiques. Ainsi, les observations réalisées le long du transect ont permis d'échantillonner la variabilité synoptique de l'accumulation dans la zone critique côte-plateau et d'évaluer les modèles avec un caractère spatial dépassant l'échelle du transect lui-même.

D'autre part, il existe très peu d'observations de BMS sur une échelle spatiale suffisante pour permettre la validation des modèles de climat. La climatologie d'Arthern et al. (2006) ne permet pas d'évaluer la variabilité interannuelle du BMS et présente de grandes incertitudes dans les zones côtières en particulier en raison des épisodes de fonte-regel (Magand et al., 2008). C'est pourquoi l'acquisition pérenne de données de terrain par l'Observatoire GLACIOCLIM-SAMBA, à de larges échelles d'espace et à une fréquence subannuelle, permettra de préciser l'impact du changement climatique sur le long terme dans la zone de transition côte-plateau, zone critique pour l'évolution du niveau des mers.

**Remerciements.** Merci à l'IPEV et à l'INSU pour leur soutien logistique et financier.

### **Références**

Arthern, R., D.P. Winebrenner and D.G. Vaughan (2006), Antarctic snow accumulation mapped using polarization of 3-cm wavelength microwave emission, *Journal of Geophysical Research*, 111, D06107, doi :10.1029/2004JD05667.  
 Genthon C., G. Krinner and H. Castebrunet, (2008), Antarctic precipitation and climate change : Horizontal resolution and margin vs plateau issues, *Annals of Glaciology*, 50, 50A101, in press.  
 Magand, O., G. Picard, L. Brucker, M. Fily and C. Genthon, (2008), Snow melting bias in microwave mapping of Antarctic snow accumulation, *The Cryosphere Discuss.*, 2(2), 255-273.

## **CEAMARC à bord de l'*Aurora Australis* : Benthos et téléostéens démersaux, premiers résultat**

Juliette Arabi, Nadia Améziane, Helena Baird, Romain Causse, Agnès Dettai, Guy Duhamel, Marc Eléaume, Christoph Held, , Guillaume Lecointre, Catherine Ozouf, Thomas Sieberfeld

Les spécimens récoltés lors de la campagne CEAMARC à bord du navire australien « Aurora australis » qui s'est déroulée de mi-décembre à fin janvier 2008 sont arrivés en mai dans les locaux du Muséum national d'Histoire naturelle de Paris. Une grande partie de ces échantillons ont été re-triés durant l'été. Un travail important de séparation et d'identification a été entrepris non seulement sur les échantillons mais également sur les vidéos. Le reste du matériel vient juste d'être envoyé aux spécialistes. Les premiers résultats sur quelques groupes majeurs du benthos et des poissons téléostéens révèlent une faune originale et diversifiée. De nombreuses espèces ont leur aire de répartition géographique notablement accrue. De nouvelles espèces sont actuellement en cours de description.

## Do emperor penguins huddle in unison during the pairing period?

C. Gilbert<sup>1</sup>, M. Beaulieu<sup>2</sup>, Y. Le Maho<sup>2</sup>, A. Ancel<sup>2</sup>

<sup>1</sup> IPHC/DEPE, UMR7178 CNRS/ULP, UHP, Vandœuvre-lès-Nancy, 54506, France (caroline.gilbert@scbiol.uhp-nancy.fr)

<sup>2</sup> IPHC/DEPE, UMR7178 CNRS/ULP, Strasbourg, 67087, France (andre.ancel@c-strasbourg.fr)

**Abstract** Huddling is the key factor allowing emperor penguins to spare energy and survive their breeding fast. However, this behaviour is more complex than previously described. Huddles, involving hundreds of birds, are indeed composed of several more or less compact subgroups, in which the individuals keep shuttling from one to another. Once paired in the colony, both mates remain silent and close to each other until the egg is laid and passed to the male, that is an active phase then strengthening their vocal identification.

Here we report on the first recordings of the huddling behaviour displayed by each member of a pair during courtship, before the subsequent female's departure. We indeed attached data loggers on the lower back of eight paired birds to examine how the mates huddle together. By recording ambient temperature and light intensity, and measuring the area under each temperature and light curves, we were able to detect the onset and end of each huddling episode. Altogether, 905 huddles were analysed, of which 762 involved both partners of a pair.

Between mates, the huddling behaviour was at unison for 84% of the time, both partners therefore sharing the same amount of warmth within the group. In contrast, at the inter-pair scale, the four pairs were synchronised only during 6% of the time, thus revealing a high heterogeneity in the group. However, despite this asynchrony, no differences were found in the amount of huddling between pairs: they spent on average 42% of their time huddling.

This synchronous behaviour during a silent period should therefore contribute to the cohesion of the pair for further recognition during the breeding cycle, while providing sufficient energy savings for all pairs.

## Quel est le degré de synchronisation chez les manchots empereurs en phase de pariade ?

**Résumé** Le regroupement en "tortue" est le facteur clé permettant aux manchots empereurs d'économiser suffisamment d'énergie afin de survivre à leur long jeûne hivernal. Il s'avère cependant que ce comportement est bien plus complexe qu'il n'y paraît. En effet, les tortues, qui impliquent des centaines d'oiseaux, sont souvent composées de plusieurs sous-groupes plus ou moins denses au sein desquels les oiseaux commutent. Une fois appariés, les deux membres d'un couple d'empereurs restent silencieux et côte à côte jusqu'à la ponte de l'œuf, phase très active (vocalement et physiquement) qui précède le départ en mer de la femelle.

Afin d'appréhender ce comportement à l'échelle du couple, nous avons fixé des enregistreurs sur le dos de huit oiseaux, soit quatre couples. En enregistrant température et lumière, et en mesurant la surface sous chaque courbe de température, nous avons pu déterminer avec précision l'heure d'entrée et sortie pour chaque épisode de tortue. Nous avons ainsi analysé 905 tortues dont 762 impliquant les deux membres d'un même couple.

A l'échelle inter-couple, les quatre paires ne sont synchrones dans leur comportement de tortue que 7 % du temps ce qui reflète un haut degré d'hétérogénéité. Les couples ont néanmoins montré un comportement similaire, passant 42 % de leur temps en tortue. Par contre, les deux membres d'un même couple sont synchronisés 84 % du temps et chaque partenaire bénéficie autant de la chaleur du groupe.

Cette synchronisation en tortue pendant cette phase silencieuse du cycle reproducteur doit contribuer 1/ à la cohésion des deux conjoints afin de se reconnaître ultérieurement et 2/ à économiser suffisamment d'énergie pour mener à bien leur reproduction au cœur de l'hiver austral.

## **Le N/O Marion Dufresne et son rôle clé dans les études paléocéanographiques des basses aux hautes latitudes.**

F. Bassinot

Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement (CEA/CNRS/UVSQ), Domaine du CNRS, Gif-sur-Yvette, 91198, France  
([bassinot@lsce.ipsl.fr](mailto:bassinot@lsce.ipsl.fr))

**Résumé** Le N/O *Marion Dufresne* et son carottier de grande longueur CALYPSO constituent les outils principaux de la communauté des paléocéanographes du Quaternaire regroupés dans le programme international IMAGES (International Marine Global Change Study) qui a été lancé en 1995 sous l'égide d'IGBP/PAGES et du SCOR.

Cette présentation se propose de faire un rapide tour d'horizon du programme IMAGES (bilan après 13 ans d'existence, objectifs initiaux et prospective pour les années à venir), et permettra de présenter quelques résultats majeurs obtenus à l'aide des carottes du N/O *Marion Dufresne*.

## Mise en évidence d'une contamination des salmonidés des îles Kerguelen par des congénères de Polychlorobiphényles (PCBs).

A. Jaffal<sup>1</sup>, H. Roche<sup>2</sup>, A. Terreau<sup>3</sup>, S. Biagiatti-Risbourg<sup>1</sup>, S. Betoulle<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Laboratoire d'Eco-Toxicologie EA 2069, Université de Reims, Reims, 51100, France ([ali.jaffal@etudiant.univ-reims.fr](mailto:ali.jaffal@etudiant.univ-reims.fr))

<sup>2</sup> UMR CNRS ESE 8079, Université Paris XI, Orsay, 91405, France ([helene.roche@u-psud.fr](mailto:helene.roche@u-psud.fr))

<sup>3</sup> Institut Polaire Français, Plouzané, 29280, France

**Résumé** L'archipel des Kerguelen possède un réseau hydrographique important renfermant une faune dulçaquicole constituée de micro et macro-invertébrés et de salmonidés dont la truite commune (*Salmo trutta*) et l'Omble de fontaine (*Salvelinus fontinalis*).

Des analyses d'échantillons de foie et de muscle de salmonidés capturés au cours de l'hivernage 2006 ont conduit à la détection de teneurs particulièrement élevées en PCB (Jaffal, 2007). Des différences intersites notables apparaissent notamment entre les populations de truites du Val Studer et celles vivant dans les rivières de la Baie Norvégienne. Chez ces dernières, les concentrations détectées sont comparables voire supérieures à celles mesurées chez des truites vivant dans d'autres régions du globe moins isolées des activités anthropiques (Bordajandi *et al.*, 2003 ; Vives *et al.*, 2005).

Les hydrosystèmes dulçaquicoles des îles Kerguelen sont donc touchés par cette contamination globale par les PCB. Ils peuvent constituer des sites d'étude de tout premier plan des conséquences de cette contamination chez les populations de salmonidés.

### Références

- Jaffal, A. (2007), Contribution à l'état des lieux immuno-toxicologique des populations de salmonidés des îles kerguelen. Master 2 « Physiologie Intégrée et Conditions Extrêmes », Université Claude Bernard Lyon I, 25p.
- Bordajandi, L.R., Gomez, G., Fernandez, M.A., Abad, E., Rivera, J. and M.J. Gonzalez, (2003), Study on PCB, PCDD/Fs, organochlorine pesticides, heavy metals and arsenic content in freshwater fish species from the River Turia (Spain), *Chemosphere*, 53, 163-171.
- Vives, I., Grimalt, J.O., Ventura, M., Catalan, J. and B.O. Rosseland, (2005), Age dependence of the accumulation of organochlorine pollutants in brown trout (*Salmo trutta*) from a remote high mountain lake (Redo, Pyrenees), *Environmental Pollution*, 133, 343-390.

## Concordia / Dome C, un Observatoire Magnétique Permanent au centre du continent Antarctique

A.Chambodut<sup>1</sup>, J.-J. Schott<sup>2</sup>, D.Di Mauro<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Département des Observatoires Magnétiques, Ecole et Observatoire des Sciences de La Terre (EOST), Strasbourg, 67084, France ([aude@eost.u-strasbg.fr](mailto:aude@eost.u-strasbg.fr))

<sup>2</sup>Département des Observatoires Magnétiques, Ecole et Observatoire des Sciences de La Terre (EOST), Strasbourg, 67084, France ([jeanjacques.schott@eost.u-strasbg.fr](mailto:jeanjacques.schott@eost.u-strasbg.fr))

<sup>3</sup>Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), Rome, 00143, Italie ([dimauro@ingv.it](mailto:dimauro@ingv.it))

**Résumé** Un observatoire magnétique, Concordia/DomeC, a été ouvert au début de l'année 2005 à l'intérieur du continent Antarctique (75°06' lat. S, 123°23' long. E). Dès le début de son installation, des difficultés se sont posées du fait des conditions environnementales extrêmes comme, par exemple, une température extérieure variant entre -30°C et -80°C et une obscurité totale sur deux mois d'hiver. Le fonctionnement d'un observatoire magnétique requiert, de plus, la présence permanente et continue d'au moins un observateur humain. Cette personne doit faire régulièrement des visées très précises de balises et des mesures manuelles, dites « mesures absolues », du champ magnétique terrestre.

L'observatoire magnétique est décrit tel qu'il se présente actuellement. Nous abordons tous les problèmes rencontrés ainsi que les solutions choisies. Enfin, les derniers résultats de mesures magnétiques sont discutés à la lumière des données fournies par les plus proches observatoires (Dumont d'Urville et Scott-Base) et dans le contexte géophysique global du continent Antarctique.

### Références

- Chambodut A., D. Di Mauro, J.-J. Schott, P. Bordais and L. Agnoletto, (2008), Two years of continuous record of the Earth's magnetic field at Concordia station (DomeC, Antarctica), en révision pour *Annals of Geophysics*.
- Schott J.J. and J. Rason, (2007), Magnetic observatories in Antarctica, *Encyclopedia of Geomagnetism and Paleomagnetism*, D. Gubbins and E. Herrero-Bervera, Ed. Springer, p. 723-724.

## Particularités cytologiques et physiologiques des cellules du système immunitaire des Channichthyidés.

Stefan CHILMONCZYK<sup>1</sup> et Catherine OZOUF-COSTAZ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> INRA, Unité de Virologie et Immunologie Moléculaires, 78352 Jouy-en-Josas (stefan.chilmonczyk@jouy.inra.fr).

<sup>2</sup> CNRS UMR7138 MNHN Département Systématique et Evolution, 57 rue Cuvier C.P. 26, 75005 PARIS (ozouf@mnhn.fr).

### Resumé :

Parmi les poissons de l'Océan Antarctique le Sous-Ordre des Notothénioïdes constitue le groupe de Téléostéens le plus important. Ils présentent des caractères d'adaptation particulièrement remarquables à la vie en eaux très froides. La famille des Channichthyidés illustre cette adaptation par un degré de sophistication physiologique extrême : ce sont les seuls vertébrés sans hémoglobine (« poissons à sang blanc »). Lors de la campagne CEAMARC, effectuée bord de l'Aurora Australis, 5 espèces de channichthyidés ont pu être échantillonnées ce qui a permis de renforcer les observations et résultats obtenus initialement sur l'étude des Channichthyidés des Iles Kerguelen (*Channichthys rhinoceratus*) et de la Terre Adélie (*Chionodraco hamatus*).

En microscopie électronique nous confirmons la présence de grandes cellules nucléées présentant la morphologie typique des érythrocytes (ici non fonctionnels) des autres poissons téléostéens.

Les cellules du système immunitaire des deux espèces se caractérisent dans leur grande majorité, par la présence de nombreux organites cytoplasmiques (golgi, mitochondries, vacuoles...) qui reflètent une intense activité métabolique. Nous avons noté également la forte proportion de cellules de types granulocytaires.

Ces observations mettent en évidence diverses particularités anatomophysiologiques spécifiques de cette famille de « poissons des glaces », à savoir :

1- ces poissons possèdent une sous population leucocytaire caractérisée par la présence de cristaux protéiques (amorphes) intra-cytoplasmiques, qui ne sont pas viro-induits.

2- un deuxième type de protéine intracellulaire, celle-ci structurée, a également été observée, elle est formée d'éléments tubulaires qui s'associent « géométriquement » pour former un cristal.

3- la présence au niveau du rein antérieur d'un organe pair constitué de 2 amas cellulaires accolés à la surface du rein antérieur. Ces masses cellulaires colorées en jaune-orangé n'ont pas, à notre connaissance, d'équivalent chez les autres Poissons ; Chez les channichthyidés l'absence d'hémoglobine entraîne une décoloration de tous les organes internes qui exhibent un aspect blanchâtre à l'exception du ventricule cardiaque et des 2 muscles pectoraux qui présentent une coloration rosâtre. La microscopie électronique montre que dans ces 3 organes colorés une majorité de cellules contiennent une densité mitochondriale exceptionnellement élevée.

4- au plan expérimental, en condition de culture ex-vivo, les leucocytes prélevés soit dans le rein antérieur (organe hématopoïétique des Poissons) soit dans le sang, induisent une coagulation du milieu de culture qui initialement liquide, devient compact avec un aspect gélatineux. Nos données actuelles ne permettent pas de relier le phénomène de gélification du milieu avec la présence dans la culture ( et dans le gel) de cellules à inclusions cristallines protéiques.

5- le sang de ces poissons réagit de façon très insolite aux produits anticoagulants. Prélevé sans anti-coagulant c'est le volume sanguin total qui prend en masse, formant un bloc d'aspect gélatineux. L'utilisation de divers produits anti-coagulants induit des effets variés et chez certaines espèces, paradoxaux : induction d'un caillot sanguin en présence d'une substance anti-coagulante. Ces réactions physiologiques sanguines sont à rapprocher des phénomènes de gélification de milieu de culture leucocytaire.

Ces particularités cytologiques et physiologiques des n'ont pas été observées chez les autres Notothenioïdes.

A l'INRA, nous avons mis en évidence une protéine spécifique de ce « gel » néoformé en culture *in vitro*. Sur la base d'un séquençage partiel portant sur l'analyse d'un nombre limité d'acides aminés, cette protéine pourrait être du fibrinogène. Nous travaillons actuellement à la caractérisation de cette protéine et du gène codant pour sa synthèse.

## La mission ArchaeObs à Kerguelen (décembre 2006 – avril 2007)

Paul Courbon<sup>1</sup>, Jean-Louis Grangé<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ingénieur des Travaux IGN ([paul.courbon@yahoo.fr](mailto:paul.courbon@yahoo.fr))

<sup>2</sup> Webmestre ArchaeObs ([jean-louis.grange@grange-s.com](mailto:jean-louis.grange@grange-s.com))

### Résumé

En 1994, Jean-François Le Mouel, Chercheur au CNRS et responsable du Service du Patrimoine des TAAF visitait, à Kerguelen, le site de la Baie de l'Observatoire, à deux heures de bateau de Port-aux-Français. Aussitôt, il vit l'intérêt d'organiser une mission archéologique pour étudier ce site qui avait été l'objet de trois occupations humaines aux buts totalement différents et qui s'étaient étalées entre 1874 et 1912.

En 2006, il obtenait les crédits et le support logistique pour organiser cette mission dont les huit membres arrivaient sur les lieux le 15 décembre. Elle devait rester sur place jusqu'au 15 février et regagner La Réunion le 15 avril 2007, après deux mois de classement des artefacts à Port-aux-Français.

La première occupation fut britannique et dura quatre mois, du 5 novembre 1874 au 27 février 1875. Elle avait pour but, comme une trentaine d'autres expéditions internationales réparties du nord au sud de la terre, d'observer le passage de Vénus devant le soleil. Ce passage qui se produit seulement tous les 105 ou 122 ans présentait à l'époque une grande importance, car il permettait d'affiner les connaissances sur les dimensions du système solaire. Aussi, bien que le passage de Vénus devant le soleil ne dure que de quatre à six heures, près de quatre mois d'observations astronomiques furent nécessaires pour déterminer au mieux les coordonnées du lieu d'observation. A une époque où les liaisons radios n'existaient pas pour connaître le temps de Greenwich au moment des pointés sur les astres, cela nécessitait de recourir à des méthodes particulières répétées un grand nombre de fois. Les vestiges retrouvés et les relevés topographiques permirent de reconstituer au mieux cette aventure et de faire des comparaisons avec les documents existants.

La seconde occupation fut allemande, elle dura dix-sept mois, de novembre 1901 à avril 1903, dans le but d'étudier le magnétisme terrestre et faire des observations météorologiques. Elle était composée de cinq hommes ; l'un d'entre eux, le météorologue Josef Enzesperger mourut du bérubéri moins de deux mois avant la fin de la mission. Les vestiges, plus récents que les britanniques, étaient en meilleur état de conservation et leur mesure précise permit de reconstituer tous les bâtiments existants dans le détail. Outre la maison d'habitation, nous retrouvâmes les vestiges d'un observatoire de magnétisme absolu, d'un observatoire de magnétisme relatif, des vestiges d'installations météorologiques en Baie de l'Observatoire et sur le Mont de Vénus situé à deux kilomètres de là. L'orientation de l'observatoire de magnétisme relatif permit de retrouver la déclinaison magnétique de l'époque. Les divers repères d'orientation associés à l'observatoire de magnétisme absolu furent retrouvés.

La troisième occupation fut française, mais n'avait pas d'objectifs scientifiques. Le baron Pierre Decouz et le guide de montagne Valérien Culet étudièrent sans succès les possibilités d'élevage des moutons à Kerguelen, de 1911 à 1912. Les vestiges de leur présence, recherchés en fin de mission, s'avèrent les moins nombreux et les moins intéressants.

### Abstract

In 1994, Jean-François Le Mouel, Head of the Department for Historical Heritage and Archaeological Sites at TAAF, archaeologist at the CNRS, visited, in Kerguelen, the Observatory Bay site, two hours away from Port-aux-Français by sea. From this visit, he recognised immediately the interest for organising an archaeological expedition in order to investigate this site. The site had known, between 1874 and 1912, three periods of human occupation which had very different objectives.

In 2006, he obtained the funding and the logistical support necessary to organise this expedition. The team of eight members arrived on the site December 15<sup>th</sup>, remained there until February 15<sup>th</sup>, 2007, then returned to La Réunion April 15<sup>th</sup>, 2007 after two months spent documenting artefacts at Port-aux-Français.

The British were the first who occupy the site for four months, from November 5<sup>th</sup>, 1874 until February 27<sup>th</sup>, 1875.

Their objective was to observe the transit of Venus in front of the Sun, the same goal as thirty or so other international expeditions organised elsewhere across the Planet. This phenomenon occurs only every 105 or 122 years. It was considered of primary importance at the time as it permitted astronomers to improve their knowledge of the dimensions of the solar system. Therefore, even if the transit of Venus lasts only four to six hours, four months nearly, of astronomical observation were necessary to determine the coordinates of the observation site. Before the existence of radio communication, it was impossible to be aware of Greenwich Mean Time when stars transit the local meridian. Specific methods based a great number of repeated measurements had to be used instead. Archaeological remains and topographic readings allowed us to piece together the puzzle of this adventure and to match our discoveries to existing documents.

The Germans were the next to occupy the site. They were there for seventeen months, from November 1901 to Avril 1903. A five man team was there with the mission to study the Earth's magnetism and to conduct meteorological observations. The meteorologist Josef Enzesperger, died from beriberi less than two month before the end of the expedition. Archaeological remains, more recent than those from the British expedition, were found in a better state of conservation. Due ti this, it was possible to take precise measurements and to recreate detailed plans of all buildings. In addition to the dwelling structure, a number of archaeological remains were also to be found: an absolute magnetism observatory, a relative magnetism observatory and meteorological installations in Observatory Bay and, two kilometres away, on the "Mont de Venus". The orientation of the relative magnetism observatory allowed us to recognise the declination of the site of that period. Some orientation landmarks associated with the absolute magnetism observatory were also discovered.

The third occupation of the site was by the French and had no scientific objectives. In 1911 and 1912, the Baron Pierre Decouz and the mountain guide Valérien Culet unsuccessfully tried to farm sheep in Kerguelen. Near the end of our expedition, archaeological remains of their stay were looked for but unfortunately, they turned out to be both few and less interesting.

## Références

Barbot A., Le Moüel J.-F. – ARCHAEOBS 2006-2007 : Du Passage de Vénus au départ des bergers... Mission archéologique en Baie de l'Observatoire (Kerguelen), 3èmes Journées scientifiques du CNFRA, 5-6 octobre 2006.

Le Moüel J.-F., Barbot A., Courbon P., Grangé J.-L., Holzner R., Jarvis E., Quine S. – Site web des Taaf, rubrique « ArchaeObs » (Français/English/Deutsch): <http://www.taaf.fr/rubriques/expeditions/archaeobs/>, Novembre 2006 – Avril 2007.

## Patrons de spéciation dans l'Océan Austral

M. de Dinechin<sup>1</sup>, F. Bonadonna<sup>1</sup>, P. Jouventin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>CEFE-CNRS UMR 5175 Equipe Ecologie Comportementale, 1919 route de Mende, 34293 Montpellier Cedex5, France ([marc.de-dinechin@cefe.cnrs.fr](mailto:marc.de-dinechin@cefe.cnrs.fr); [francesco.bonadonna@cefe.cnrs.fr](mailto:francesco.bonadonna@cefe.cnrs.fr); [pierre.jouventin@cefe.cnrs.fr](mailto:pierre.jouventin@cefe.cnrs.fr))

**Résumé** L'Océan Austral est divisé en plusieurs grandes zones écologiques correspondant à des masses d'eau de température différentes. Mackintosh (1960) avait proposé un patron de spéciation basé sur ces masses d'eau. Cependant, les critères morphologiques échouaient à séparer certaines populations d'oiseaux de masses d'eau différentes. Jouventin (1982) avait observé que plusieurs groupes de populations de manchots pouvaient être distingués par des caractères phénotypiques intervenant dans les parades nuptiales comme le chant, ce qui suggérait l'existence d'un isolement reproducteur. Les analyses phylogéographiques à l'échelle mondiale mettent en évidence de profondes divergences génétiques entre éthotypes chez les gorfous sauteurs et les manchots papous, confirmant ainsi une structuration génétique reflétant les limites des masses d'eau. Les datations moléculaires suggèrent que la divergence entre populations de gorfous sauteurs pourrait être liée à la transition du Pléistocène moyen, un changement climatique majeur qui s'est accompagné d'un décalage dans la position des masses d'eau de l'Océan Austral.

### Introduction

L'Océan Austral est divisé en plusieurs grandes zones écologiques par des systèmes de convergence qui séparent des masses d'eau différant par leurs propriétés physico-chimiques (températures, salinité, densité, etc.). Dès 1960, Mackintosh avait proposé un patron de spéciation pour les oiseaux et mammifères marins en se basant sur la répartition des espèces dans ces zones écologiques. Cependant, le statut taxonomique de certaines espèces restait problématique en raison de l'absence de données génétiques. Le cas des gorfous sauteurs *Eudyptes chrysocome*, restait particulièrement énigmatique car l'aire de répartition de cette espèce est traversée par la Convergence Subtropicale, les populations septentrionales vivant dans les eaux subtropicales (Gough, Amsterdam), et les populations du sud vivant dans les eaux subantarctiques, plus froides de 10°C (Crozet, Kerguelen, Heard...). Jouventin (1982) avait observé que ces deux groupes de populations différaient par des caractères phénotypiques intervenant dans les parades nuptiales telles que le chant et les aigrettes. Il suggéra que des adaptations à des conditions écologiques si différentes auraient été maintenues par un isolement reproducteur promu par cette divergence de caractères sexuels, et proposa de les reclassifier en deux espèces. De façon similaire, il remarqua que les manchots papous *Pygoscelis papua* pouvaient être séparés en deux groupes par les caractéristiques de leurs chants, correspondant respectivement aux populations de l'océan Atlantique et à celles de l'Indo-Pacifique. Cette division ne reflétait cependant pas la taxonomie classique, qui faisait une division entre la sous-espèce *P. p. papua*, commune à la zone subantarctique des océans Atlantique, Indien et Pacifique, et la sous-espèce *P. p. ellsworthii*, présente seulement le long de la Péninsule Antarctique.

### Observations et résultats

#### *Analyses phylogéographiques*

Des analyses phylogéographiques basées sur cinq loci d'ADN mitochondrial réalisées indépendamment en 2006 par Jouventin *et al.* (D-loop et NADH déshydrogénase sous-unité II) et Banks *et al.* (ARN 12S, cytochrome *b* et cytochrome oxydase 1) ont mis en évidence l'existence d'une profonde structuration génétique des populations de gorfous sauteurs et confirmé l'existence d'une divergence populationnelle reflétant les limites des masses d'eau plutôt que la proximité géographique entre les sites de reproduction. Les gorfous sauteurs peuvent être séparés en deux clades principaux correspondant aux populations situées de part et d'autre de la convergence subtropicale. Le clade subantarctique est structuré en deux sous-clades monophylétiques respectivement Atlantique et Indo-Pacifique. Le clade subtropical est également structuré, les populations de l'océan Atlantique étant paraphylétiques et celles de l'Océan Indien étant monophylétiques. De la même manière, la phylogéographie des manchots papous montre une structuration génétique très marquée, avec deux grands clades correspondant respectivement aux populations de l'Océan Indien d'une part, et Atlantique d'autre part.

### ***Datations des temps de divergence entre lignées de manchots***

Le fait que le patron de spéciation des gorfous sauteurs soit calqué sur la géographie des masses d'eau suggère que l'environnement océanographique constitue une pression sélective majeure. Par conséquent, il est possible que les changements passés de la position de ces masses d'eau aient pu provoquer des épisodes de spéciations en changeant les pressions évolutives exercées sur certaines populations. Les datations moléculaires, calibrées par l'âge radiochronologique de l'âge de l'île Amsterdam, donnent un âge de divergence entre les gorfous subantarctiques et subtropicaux proche de 0,9 millions d'années.

### **Discussion et conclusion**

Les gorfous sauteurs comme les manchots papous présentent une structuration génétique très marquée, reflétant les différences comportementales entre populations, et calquée sur les limites des masses d'eau. La divergence entre les lignées subantarctique et subtropicale de gorfous sauteurs, estimée à 0,9 millions d'années, correspond à la transition du Pléistocène moyen, un changement climatique majeur qui s'est accompagné d'un décalage vers le Sud de la position des masses d'eau de l'Océan Austral. Ce changement climatique passé pourrait avoir engendré une spéciation vicariante en séparant écologiquement des populations de manchots auparavant génétiquement indifférenciées (de Dinechin *et al.* 2008). Les adaptations locales auraient été maintenues par l'évolution rapide de traits impliqués dans les parades nuptiales (chants, ornements), ce qui aurait conduit à l'isolement reproductif total des populations. La topologie du clade subtropical de gorfous sauteurs est similaire à celle mise en évidence sur les *Phylica* par Richardson *et al.* (2003), ce qui permet d'inférer l'existence de voies de dispersion communes, dans le sens du courant circum-Antarctique. Cette hypothèse est corroborée par l'observation récente dans l'Océan Indien d'un oiseau provenant de la population Atlantique (de Dinechin *et al.*, 2007), qui montre la possibilité d'un flux migratoire dans l'Océan Austral dans le sens Ouest-Est.

La compréhension des mécanismes régissant la distribution des organismes, ainsi que la connaissance de la structuration génétique des espèces à l'échelle mondiale sont nécessaires pour décider des statuts de conservation. Chez les manchots, les critères taxonomiques habituels (morphométriques) ne suffisent pas à distinguer des espèces jumelles, reproductivement isolées mais morphologiquement semblables. Il est donc nécessaire de faire appel à d'autres critères objectifs pour permettre de décider du statut de conservation à appliquer à une population. Les marqueurs moléculaires mitochondriaux sont utilisés pour définir des unités évolutivement significatives (evolutionarily significant unit, ESU) qui servent de base à des programmes de conservation. Le changement climatique pouvant affecter le succès reproducteur des manchots (Le Bohec *et al.*, 2008), il est nécessaire de réévaluer les effectifs des populations de chacune de ces unités évolutives, dont certaines subissent d'importantes fluctuations démographiques.

**Remerciements.** Cette étude n'aurait pu être menée sans le soutien logistique et financier de l'Institut Polaire Français (IPEV Programme 354-ETHOTAAF) et de la zone-atelier de recherches sur l'environnement antarctique et subantarctique (DDE-CNRS)

### **Références**

- Banks, J., A. Van Buren, Y. Cherel, and J. B. Whitfield, (2006), Genetic evidence for three species of rockhopper penguins, *Eudyptes chrysocome*. Polar Biol. 30, 61-67
- de Dinechin, M., G. Pincemy, and P. Jouventin, (2007), A northern rockhopper penguin unveils dispersion pathways in the Southern Ocean, Polar Biol. 31,1, 113-115
- de Dinechin, M., R. Ottvall, P. Quillfeldt and P. Jouventin, (2008), Speciation chronology of rockhopper penguins inferred from molecular, geological and palaeoceanographic data, J. Biogeography, sous presse
- Jouventin, P., (1982) Visual and vocal signals in penguins, their evolution and adaptive characters, Advances in ethology, supplements to Journal of Comparative Ethology. Berlin & Hamburg: Paul Parey
- Jouventin, P., R. Cuthbert and R. Ottvall, (2006) Genetic isolation and divergence in sexual traits: evidence for the northern rockhopper penguin *Eudyptes moseleyi* being a sibling species, Mol. Ecol. 15, 3413-3423
- Le Bohec, C., J.M. Durant, M. Gauthier-Clerc, N.C. Stenseth, Y.-H. Park, R. Pradel, D. Grémillet, J.-P. Gendner and Y. Le Maho, (2008), King penguin population threatened by Southern Ocean warming, PNAS, 105, 7, 2493-2497
- Mackintosh, N.A., (1960), The pattern of distribution of the Antarctic fauna. Proc. R. Soc. B., 152, 624-631
- Richardson, J.E., M.F. Fay, Q.C.B. Cronk and M.W. Chase, (2003), Species delimitation and the origin of populations in island representatives of *Phylica* (Rhamnaceae), Evolution, 57, 816-827

## Adaptations anti radicalaires lors du passage en mer chez le juvénile de manchot royal

C. Dégletagne<sup>1</sup>, B. Rey<sup>1</sup>, C. Keime<sup>2</sup>, J. Pequignot<sup>1</sup>, D. Roussel<sup>1</sup>, JL. Rouanet<sup>1</sup> et C. Duchamp<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Université de Lyon, Lyon, F-69003 France; Université Lyon1, Lyon, F-69003, France; CNRS UMR 5123, Physiologie Intégrative Cellulaire et Moléculaire, Villeurbanne F-69622, France.

<sup>2</sup> Université de Lyon, Lyon, F-69003 France; Université Lyon1, Lyon, F-69003, France; Pôle Rhône Alpes de Bioinformatique (PRABI), Villeurbanne F-69622, France.

### Résumé

Les manchots ont colonisé les écosystèmes froids de l'hémisphère sud en développant des processus adaptatifs dont la compréhension demeure encore imparfaite. Le manchot royal, inféodé aux régions subantarctiques, possède un cycle de vie particulier puisque les poussins sont strictement terrestres durant les 12 à 14 mois qui suivent l'éclosion. À l'issue de cette phase de croissance, ils doivent affronter une étape déterminante dans leur cycle de vie : assurer le passage entre la vie terrestre et la vie aquatique dans l'océan austral afin d'acquérir leur autonomie nutritionnelle. La survie des juvéniles est alors directement dépendante de leurs capacités d'adaptation aux contraintes énergétiques : 1/ de l'environnement thermique très défavorable au maintien de l'homéothermie (forte conductivité thermique de l'eau conjuguée à de faibles températures de l'océan ~ 4°C), 2/ de la distance des ressources alimentaires imposant des voyages de plusieurs centaines de kilomètres en mer, 3/ de la stratégie de pêche de ces prédateurs lors de plongées répétées, profondes (~ 250m) et prolongées (~7min), induisant des hypoxies tissulaires intermittentes. Le muscle pectoral, très impliqué dans la locomotion et l'activité thermogène, est particulièrement sollicité au cours de cette transition. La vie en milieu aquatique doit probablement augmenter le métabolisme musculaire (thermogenèse) et modifier la disponibilité en oxygène (hypoxie/réoxygénation), créant des conditions favorisant la production de dérivés réactifs de l'oxygène (ROS). Une production excessive de ROS dans les cellules altère les macromolécules telles que l'ADN, les lipides ou les protéines, favorisant l'apparition de maladies métaboliques et accentuant le processus de vieillissement. Les mécanismes de défenses anti-oxydants potentiellement développés par le manchot royal lors de cette étape cruciale que représente son premier passage dans le milieu marin n'ont jamais été explorés.

Pour élucider ces processus, nous avons recherché des variations du transcriptome en appliquant une technologie de puces à ADN. Des biopsies musculaires ont été prélevées chez des juvéniles de manchot royal avant et après acclimatation naturelle au milieu marin. Les ARN tissulaires ont été extraits et hybridés après transcription inverse et marquage sur des puces à ADN de poulet (Affymetrix). Un nouvel algorithme d'analyse des puces utilisées en condition d'hybridation hétérologue a été développé.

Nos résultats montrent que l'acclimatation au milieu marin augmente l'expression des gènes codant pour des enzymes impliquées 1) dans la lutte contre les radicaux libres de l'oxygène (SOD, catalase, GPx) et 2) dans la détection, la réparation ou la détection des dégâts induits par ces dérivés oxygénés. Ces résultats sont confirmés par des approches biochimiques mettant en évidence une augmentation de l'activité des principales enzymes anti-oxydantes après acclimatation au milieu marin.

Cette étude montre que les capacités anti-oxydantes musculaires sont fortement accrues lors du passage en mer. Cette adaptation, visant à éliminer les molécules produites et à limiter les dégâts cellulaires potentiels, peut être essentielle à la survie des manchots lors du passage en mer. Ces mécanismes des défenses antiradicalaires peuvent contribuer à la formidable longévité des manchots qui passent pourtant l'essentiel de leur vie dans un environnement pro oxydant. L'élucidation des mécanismes permettant le développement naturel de tels mécanismes anti-oxydants chez le manchot royal, et par extension chez les espèces d'oiseaux plongeurs, lors du premier passage de la vie terrestre à la vie marine pourrait permettre de mieux comprendre des pathologies où les défenses antiradicalaires cellulaires se révèlent insuffisantes.

**Remerciements** : Ces recherches ont reçu le soutien logistique et financier de l'Institut Paul Emile Victor (IPEV)

## Utilisation et utilité du barcoding moléculaire dans l'exploration de la biodiversité antarctique

A. Dettai<sup>1</sup>, A.-C. Lautredou<sup>1</sup>, M. Berkani<sup>1</sup>, G. Duhamel<sup>2</sup>, S. Iglesias<sup>2</sup>, C. Bonillo<sup>1</sup>, A. Couloux<sup>3</sup>, C. Cruaud<sup>3</sup>, C. Ozouf<sup>1</sup>, G. Lecointre<sup>1</sup>

<sup>1</sup>DSE-UMR7138 Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris, 75005, France ([adettai@mnhn.fr](mailto:adettai@mnhn.fr), [bonillo@mnhn.fr](mailto:bonillo@mnhn.fr), [ozouf@mnhn.fr](mailto:ozouf@mnhn.fr), [lecointre@mnhn.fr](mailto:lecointre@mnhn.fr))

<sup>2</sup>DMPA-UMR5178 Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris, 75005, France ([duhamel@mnhn.fr](mailto:duhamel@mnhn.fr), [iglesias@mnhn.fr](mailto:iglesias@mnhn.fr))

<sup>3</sup>Genoscope. Centre National de Séquençage. Evry 91057, France ([www.genoscope.fr](http://www.genoscope.fr))

**Résumé** Le Barcoding of Life s'est considérablement développé au cours des dernières années. Il semble prometteur pour l'aide à l'identification de spécimens, et la sélection de groupes à cibler pour des études futures. En complétant le COI avec plusieurs marqueurs nucléaires, nous avons obtenu des résultats intéressants qui permettent d'éclairer les relations à l'intérieur de plusieurs groupes (par exemple les genres *Gymnodraco* et *Trematomus*) et de préciser des identifications incertaines. La campagne CEAMARC a permis de collecter des spécimens à des sites et des profondeurs jamais encore prospectés au large de la Terre Adélie. Combinée à celle d'échantillonnages collectés au cours de missions précédentes (ICOTA, ICEFISH, POKER), son étude sur la base de la morphologie et des marqueurs moléculaires permet avec d'avoir une image plus complète de la distribution des espèces présentes dans l'Océan Austral et de leurs relations, ce qui servira également de base pour de futures études en écologie.

## Distribution et structure génétique locales des bactéries du complexe *Borrelia burgdorferi* s.l. chez la tique d'oiseaux de mer *Ixodes uriae*

M. Dietrich<sup>1</sup>, E. Gomez-Diaz<sup>1</sup>, T. Boulinier<sup>2</sup>, K. D. McCoy<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Génétique et Evolution des Maladies Infectieuses, UMR 2724-CNRS/IRD, Montpellier, 34394, France ([Muriel.Dietrich@mpl.ird.fr](mailto:Muriel.Dietrich@mpl.ird.fr); [Elena.Gomez-Diaz@mpl.ird.fr](mailto:Elena.Gomez-Diaz@mpl.ird.fr); [Karen.Mccoy@mpl.ird.fr](mailto:Karen.Mccoy@mpl.ird.fr))

<sup>2</sup>Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive, UMR 5175-CNRS, Montpellier, 34293, France ([Thierry.Boulinier@cefe.cnrs.fr](mailto:Thierry.Boulinier@cefe.cnrs.fr))

### Résumé

La structuration des pathogènes au sein des populations hôtes pourrait être un facteur important à considérer pour le risque de transmission. Ici, nous avons analysé l'hétérogénéité locale des bactéries *Borrelia burgdorferi* sensu lato dans le cycle marin de la maladie de Lyme, qui implique des oiseaux marins polaires et la tique *Ixodes uriae*. Au sein d'une grande colonie de mouettes tridactyles (*Rissa tridactyla*) au Nord de la Norvège, nous avons détecté, parmi 351 tiques récoltées, la présence de trois espèces de borrelies: *Borrelia garinii*, *B. burgdorferi* sensu stricto et *B. afzelii*. La prévalence et la structure génétique des souches de *B. garinii* variaient entre falaises de reproduction, mais non entre années. Ces résultats montrent que les oiseaux de mer peuvent représenter un réservoir important d'agents pathogènes de la maladie de Lyme et que la structuration spatiale des souches de borrelies peut être un élément important dans l'épidémiologie de cette maladie.

### Introduction

La maladie de Lyme est aujourd'hui la maladie à transmission vectorielle la plus répandue dans les régions tempérées de l'hémisphère Nord (Rosa *et al.* 2005). Les agents pathogènes responsables de cette maladie sont des bactéries spirochètes qui appartiennent au complexe *Borrelia burgdorferi* sensu lato. Les borrelies sont transmises à divers hôtes vertébrés (mammifères, oiseaux et reptiles, Eisen & Lane 2002) par des tiques dures de la famille Ixodidae. Le cycle terrestre de cette maladie, qui implique des mammifères et oiseaux terrestres principalement, est relativement bien étudié (*e.g.*, Eisen & Lane 2002, Brunner *et al.* 2007 ; Brisson *et al.* 2008). En revanche, les connaissances sur l'importance du cycle marin et le rôle des oiseaux de mer dans l'épidémiologie de cette maladie sont peu nombreuses. Plus généralement, nous ne connaissons pas les facteurs qui peuvent affecter les dynamiques de transmission locale de la borrelie, et donc le risque épidémiologique associé pour les populations humaines. Ainsi, afin de mieux comprendre l'influence de facteurs tels que l'espace et le temps, nous avons étudié l'hétérogénéité locale des borrelies présentes chez les tiques *Ixodes uriae* au sein d'une grande colonie de mouettes tridactyles (*Rissa tridactyla*). Nous avons analysé la diversité des souches de borrelies et la variabilité spatio-temporelle de la prévalence et de la structure génétique de ces pathogènes.

### Observations et résultats

#### Matériel et Méthodes

Nous avons testé la présence des bactéries *Borrelia burgdorferi* sensu lato par amplification de 390pb du gène de la flagelline chez 351 tiques collectées sur des mouettes tridactyles dans une grande colonie à Hornøya, une île au nord de la Norvège (70°22'N, 31°10'E). Les échantillons positifs ont été séquencés pour un fragment de 367pb du gène de la flagelline. Pour analyser la diversité spécifique et l'effet du temps sur la structure des souches de borrelies, nous avons utilisé les tiques collectées sur l'île lors de trois années d'échantillonnage différentes (1998, 2005 et 2006). L'étude spatiale a porté sur l'analyse de quatre falaises différentes de l'île (K2, B2, B3 et 3F) à partir de tiques récoltées en 1998.

#### Résultats

La prévalence d'infection globale chez *Ixodes uriae* est de 11% ( $\pm$  2%). La bactérie est présente chez les tiques récoltées lors des trois années d'échantillonnage et dans les quatre falaises étudiées en 1998. Grâce à une analyse phylogénétique (maximum de vraisemblance) des échantillons positifs séquencés, nous avons mis en évidence la présence *a priori* de trois espèces de borrelies: *Borrelia garinii* (72%), *B. burgdorferi* sensu stricto (24%) et *B. afzelii* (4%).

La prévalence d'infection des tiques ne varie pas significativement entre les trois années d'échantillonnage (test exact de Fisher :  $p = 0.360$ ). En revanche, il existe une variabilité spatiale (test exact de Fisher:  $p < 0.05$ ) : les tiques récoltées dans trois falaises de l'île (B2, B3 et 3F) sont relativement infectées par la borrelie (de 11 à 14% de

prévalence) par rapport à celles récoltées dans la quatrième falaise d'étude (K2: 4%), cette dernière étant géographiquement isolée des trois premières.

Etant donné que *Borrelia garinii* est l'espèce qui circule majoritairement chez les tiques d'oiseaux de mer, nous avons exclu *B. burgdorferi* s.s. et *B. afzelii* de l'analyse de la structuration spatiale et temporelle. Nous n'avons pas trouvé de différence significative entre les souches de *B. garinii* qui circulent chez les tiques de mouettes tridactyles en 1998, 2005 et 2006 (AMOVA,  $F_{st} = -0.322$ ,  $p = 0.936$ ). Pour l'analyse spatiale, nous avons exclu la falaise K2 parce qu'elle n'était représentée que par une unique séquence. Les résultats montrent que les souches de *B. garinii* qui circulent chez les tiques de mouettes sont génétiquement structurées entre falaises (AMOVA,  $F_{st} = 0.473$ ,  $p < 0.001$ ).

## Discussion et conclusion

Nous avons identifié trois espèces de borrélias appartenant au complexe *Borrelia burgdorferi* s.l. et toutes sont considérées comme pathogènes pour l'homme. *Borrelia garinii* est une espèce qui est bien connue et semble être dominante dans ce système marin (Olsen *et al.* 1993, 1995; Gylfe *et al.* 1999; Bunikis *et al.* 1996). En revanche, *Borrelia afzelii* n'a encore jamais été identifiée chez les tiques d'oiseaux de mer et *Borrelia burgdorferi* sensu stricto a seulement été trouvée de manière anecdotique chez une tique de guillemot de Troil (*Uria aalge*) (Duneau *et al.* 2008). Ces deux dernières espèces sont normalement présentes chez les tiques du cycle terrestre. Ainsi, nos résultats suggèrent que le cycle marin peut représenter un réservoir important d'agents pathogènes de la maladie de Lyme et soulèvent la question du rôle des oiseaux, et de leur forte capacité de dispersion, dans la possible transmission de borrélias entre cycles épidémiologiques (Olsen *et al.* 1995).

La forte variabilité spatiale locale, révélée par nos données, met en avant le rôle du vecteur dans ce type de système. En effet, la variabilité de l'infestation des tiques dans ces falaises peut être un élément clé de l'hétérogénéité spatiale observée chez le micropathogène (Gasparini *et al.* 2001). Les oiseaux de mers coloniaux étant très fidèles à leur site de reproduction (Coulson 2001), les événements de dispersion des oiseaux, et donc des tiques, peuvent être limités et mener à l'isolement des souches de borrélias entre falaises, d'autant plus que le statut immunitaire des oiseaux est variable entre ces falaises (Staszewski *et al.* 2008).

Dans notre étude, le temps ne semble pas affecter la prévalence d'infection et la structure génétique des borrélias. Ces résultats suggèrent que le cycle épidémiologique des borrélias sur cette île est relativement stable, et donc prévisible dans le temps. Dans cette même idée, des travaux récents ont montré que le statut immunitaire des oiseaux contre la borrélie persiste dans le temps. Cette dynamique temporelle pourrait s'expliquer par une réexposition annuelle des oiseaux à la bactérie et/ou par une persistance de la bactérie dans l'organisme pendant de longues périodes (Staszewski *et al.* 2007).

Tout comme d'autres systèmes à vecteurs, le cycle marin de la borrélie est un système complexe où les populations de micropathogènes peuvent varier à des échelles locales, pouvant affecter les dynamiques de transmission et donc l'épidémiologie globale de la maladie. De plus, les borrélias qui circulent au sein du cycle marin semblent être beaucoup plus diversifiées que ce qui avait été décrit auparavant. Ainsi, nos résultats soutiennent l'hypothèse que les oiseaux marins peuvent avoir un rôle important dans l'épidémiologie globale de la maladie de Lyme. De nouvelles connaissances sur ce système marin nous permettront de mieux estimer le degré d'interaction entre les oiseaux marins dans les régions polaires et le cycle terrestre de la maladie de Lyme.

## Remerciements

Nous remercions R.T Barrett, T. Tveraa, C. Chevillon et T. de Meeûs pour leur aide dans les différentes parties de ce travail. Cette étude est supportée par l'Institut Polaire Français Paul Emile Victor (IPEV, programme n°333), le Bureau des Ressources Génétiques, le Réseau Ecologie des Interactions Durables (Groupe de travail TMT), et l'Agence Nationale de la Recherche (ECOREPPAR et VECTADAPT).

## Références

- Brunner, J., K. Logiudice and R.S. Ostfeld, (2008), Estimating Reservoir Competence of *Borrelia burgdorferi* Hosts: Prevalence and Infectivity, Sensitivity, and Specificity. *Journal of Medical Entomology*, 45, 139-147.
- Brisson, D., D.E. Dykhuizen and R.S. Ostfeld, (2008), Conspicuous impacts of inconspicuous hosts on the Lyme disease epidemic. *Proceedings of the Royal Society of London, Series B*, 275, 227-235.
- Bunikis, J., B. Olsen, V. Fingerle, J. Bonnedahl, B. Wilske and S. Bergström, (1996), Molecular Polymorphism of the Lyme Disease *Borrelia garinii* in Northern Europe Is Influenced by a Novel Zoonotic *Borrelia* Focus in the North Atlantic. *Journal of Clinical Microbiology*, 34, 364-368.
- Coulson, J.C., (2001), Colonial breeding in seabirds. In: *Biology of Marine Birds* (ed. Schreiber B.A. & Burger J.). CRC Press, Boca Raton, USA: 87-113.

- Duneau, D., T. Boulinier, E. Gomez-Diaz, A. Peterson, T. Tveraa, R.T. Barrett and K.D. McCoy, (2008), Prevalence and diversity of Lyme borreliosis bacteria in marine birds. *Infection, Genetics and Evolution*, 8, 352-359.
- Eisen L. and R.S. Lane, (2002), Vectors of *Borrelia burgdorferi* sensu lato. In: *Lyme Borreliosis: Biology, Epidemiology and Control* (ed. Gray J. S., Kahl O., Lane R. S. & Stanek G.). CABI Publishing, New York, USA: 91-116.
- Gasparini, J., K.D. McCoy, C. Haussy, T. Tveraa and T. Boulinier, (2001), Induced maternal response to the Lyme disease spirochaete *Borrelia burgdorferi* sensu lato in a colonial seabird, the kittiwake *Rissa tridactyla*. *Proceedings of the Royal Society of London, Series B*, 268, 647-650.
- Gylfe, A., B. Olsen, D. Strasevicius, N.M. Ras, P. Weihe, L. Noppa, Y. Östberg, G. Baranton and S. Bergström, (1999), Isolation of Lyme Disease *Borrelia* from Puffins (*Fratercula arctica*) and Seabird Ticks (*Ixodes uriae*) on the Faeroe Islands. *Journal of Clinical Microbiology*, 37(4), 890-896.
- Olsen, B., T.G.T. Jaenson, L. Noppa, J. Bunikis and S. Bergström, (1993), A Lyme borreliosis cycle in seabirds and *Ixodes uriae* ticks. *Nature*, 362, 340-342.
- Olsen, B., D.C. Duffy, T.G.T. Jaenson, A. Gylfe, J. Bonnedahl and S. Bergström, (1995), Transhemispheric Exchange of Lyme Disease Spirochetes by Seabirds. *Journal of Clinical Microbiology*, 33, 3270-3274.
- Rosa, P.A., K. Tilly and P. Stewart, (2005), The burgeoning molecular genetics of the Lyme disease spirochaete. *Nature reviews*, 3, 129-143.
- Staszewski, V., K.D. McCoy, T. Tveraa and T. Boulinier, (2007), Interannual dynamics of antibody levels in naturally infected long-lived colonial birds. *Ecology*, 88, 3183-3191.
- Staszewski, V. K.D. McCoy and T. Boulinier, (2008), Variable exposure and immunological response to Lyme disease *Borrelia* among North Atlantic seabird species. *Proceedings of the Royal Society of London, Series B*, 275, 2101-2109.

## Des glaces cométaires aux neiges des régions centrales antarctiques, la collection de micrométéorites CONCORDIA.

J. Duprat<sup>1</sup>, C. Engrand<sup>1</sup>, E. Dobrica<sup>1</sup>, J. Aléon<sup>1</sup>, M. Gounelle<sup>2</sup>, H. Leroux<sup>3</sup>, E. Quirico<sup>4</sup>, et J.-N. Rouzaud<sup>5</sup>

<sup>1</sup>CSNSM CNRS-Univ. Paris Sud F-91405 Orsay Campus, France ([Jean.Duprat@csnsm.in2p3.fr](mailto:Jean.Duprat@csnsm.in2p3.fr))

<sup>2</sup>LEME, Muséum National d'Histoire Naturelle, 57 rue Cuvier, CP52, 75005 Paris, France.

<sup>3</sup>LSPES Univ. Lille, 59655 Villeneuve d'Ascq, France

<sup>4</sup>LPG Univ. Joseph Fourier CNRS-INSU 38041 Grenoble Cedex 09 France.

<sup>5</sup>Lab. Géol. ENS, 75231-Paris, France

**Résumé :** La neige de surface des régions centrales Antarctique présente des conditions uniques de conservation des micrométéorites à très basse température dans le névé peu contaminé par des poussières terrestres. Les caractéristiques du site (stratigraphie régulière, faible taux de précipitation) permettent de mesurer le flux de matière sub-millimétrique sur notre planète. Dans le cadre du programme « Micrometeorites @ CONCORDIA », trois expéditions de collecte de grains de poussière interplanétaires de taille 30-500µm (micrométéorites) ont été réalisées avec succès dans des couches de neige de différentes profondeurs au voisinage de la station CONCORDIA. Le site de Dôme C (75°S, 123°E) est situé à 1100 km des côtes de Terre Adélie et à 3300 m d'altitude. En Janvier 2006, un nouveau fondoir de haute capacité (400 litres) développé au CSNSM a permis de fondre et filtrer 25 m<sup>3</sup> de neige. Le temps d'exposition des particules à l'eau liquide pendant la totalité de la procédure de fonte/filtration a été divisé par deux et les grains ont été immédiatement conditionnés sous atmosphère inerte (azote) jusqu'à leur retour au laboratoire. Les résultats obtenus sur le terrain et lors de l'analyse des premiers filtres indiquent que cette nouvelle collection contient de l'ordre de 1500 particules (soit le triple de la collection existante). De nouveaux types de poussières interplanétaires ont pu être mis en évidence et les résultats obtenus seront comparés aux récentes analyses des grains cométaires de la mission STARDUST (NASA).

### Introduction

Depuis plusieurs décennies, la compréhension du Système Solaire a fait des progrès considérables grâce à l'analyse en laboratoire d'échantillons extraterrestres ainsi qu'aux observations astronomiques. Pourtant, les échantillons dont les corps parents sont identifiés sont extrêmement rares. Ils se résument aux échantillons lunaires (ramenés par les missions spatiales américaines) et à quelques météorites dont l'origine lunaire, martienne ou astéroïdale est déduite par preuve indirecte. Une large partie des contraintes dont nous disposons pour comprendre cette époque lointaine provient des analyses minéralogiques, chimiques et isotopiques de matériau extraterrestre primitif. Parmi ces objets primitifs, on peut distinguer trois grandes familles : les chondrites carbonées, les poussières interplanétaires stratosphériques (IDPs, Interplanetary Dust Particles) [1] et les micrométéorites collectées dans les glaces et les neiges polaires [2]. Le cadre de la réflexion sur l'origine de ces échantillons fait souvent intervenir une dichotomie entre origine *astéroïdale* et origine *cométaire*.

Les micrométéorites polaires sont de grains de poussières interplanétaires de diamètres compris entre 25 et 500 µm qui ont survécu à leur entrée atmosphérique à haute vitesse (10-70 km/s). Contrairement aux corps massifs tels que les planètes ou les astéroïdes, ces poussières n'ont pas subi de processus de différenciation et leurs phases minérales nous apportent un témoignage unique sur la période de formation du Système Solaire, il y a 4,5 milliards d'années [3]. Pour ce programme de recherche, le site de Dôme C présente des avantages considérables, dont les principaux sont i) un taux de précipitation faible, ii) une stratigraphie régulière, iii) un névé particulièrement préservé des poussières d'origine terrestre, iii) des conditions de conservation uniques (basse température, pas de contraintes mécaniques) [4].

L'étude de la matière extraterrestre sur Terre permet de préciser les liens entre astéroïdes et comètes. De façon schématique, l'essentiel des météorites (dont les chondrites carbonées représentent ~2% des chutes connues) ont une origine *astéroïdale* (système solaire interne) alors que de nombreuses études sur les IDPs privilégient, pour une partie d'entre elles (les *Chondritic-Porous anhydres*), une origine *cométaire* (système solaire externe) (Bradley and Brownlee 1986). Pourtant des études récentes sur les IDPs, les chondrites carbonées et les premiers échantillons cométaires ramenés par la mission STARDUST (NASA) montrent clairement les limites de cette séparation en deux familles distinctes de corps parents [5]. De la même façon, alors que l'on s'attend a priori à ce que les collections de

micrométéorites polaires contiennent des échantillons cométaires et astéroïdaux, on observe, pour l'instant, une homogénéité minéralogique et isotopique des collections actuellement disponibles [3].

### ***Le flux de matière extraterrestre sur à la surface de la Terre***

Les régions centrales du continent antarctique sont l'un des rares endroits où il est possible de mesurer de façon fiable le flux de matière extraterrestre atteignant la surface du globe sous forme de particules (micrométéorites). A partir des données de l'expédition 2002 et 2006 nous obtenons un flux sur la totalité de la surface terrestre compris entre 3000 et 10 000 tonnes/an (valeur moyenne : 5300 tonne/an). Les larges variations obtenues peuvent être comprises en termes de fluctuations statistiques liés à l'échantillonnage partiel de la distribution en masse des particules. La comparaison de ces valeurs avec celle du flux pré-atmosphérique confirme que l'essentiel du flux de matière extraterrestre est vaporisé à l'entrée atmosphérique et n'atteint pas le sol sous forme de micrométéorites ([6]).

### ***De nouvelles particules, comparaison avec les grains cométaire STARDUST***

A ce jour près de 1000 particules de la collection CONCORDIA ont été analysées, chaque grain a été fragmenté en salle blanche, puis analysé par microscopie électronique à balayage et sa composition chimique déterminée par EDX (collaboration CSNSM-Lille et support du laboratoire IDES). Nous avons identifié dix nouvelles particules friables, et nous confirmons la présence de sulfures de fer indiquant clairement une altération terrestre minimale [7]. Parmi les particules extraterrestres identifiées et caractérisées minéralogiquement, six présentent une matrice à grain très fin entourée d'une gangue de matière exceptionnellement riche en carbone : ce sont des micrométéorites 'ultracarbonées' (MMUC, [8]). L'analyse en microscopie à transmission (TEM) de ces particules est en cours au LSPES de Lille et à au Laboratoire de Géologie de l'ENS-Paris et des premiers résultats ont été obtenus en spectroscopie RAMAN au LPG de Grenoble. L'étude minéralogique de ces grains fait apparaître une texture poreuse présentant un grand nombre de sulfures de Fer [9]. L'ensemble de ces résultats seront présentés et discutés. Ces résultats renforcent le lien entre les particules de poussières interplanétaires collectées dans la stratosphère par la NASA (IDPs) et les micrométéorites [10], et renforce l'idée d'un *continuum entre astéroïdes et comètes* [11]. On détaillera l'intérêt de la collection CONCORDIA par rapport aux autres collections disponibles en laboratoire et aux premières analyses des grains cométaires de la mission STARDUST.

**Remerciements.** Nous souhaitons exprimer nos plus vifs remerciements à l'IPEV et au PNRA pour leur soutien logistique sur le terrain. Nous remercions le PNP, l'IN2P3 et le CNES pour leur soutien financier. Ce programme de recherche bénéficie du financement de l'Agence Nationale de la Recherche (ANR), Programme Jeune Chercheur MICROMET-ISO (ANR-05-JC05-51407).

**References :** [1.] Bradley, J.P., S.A. Sandford, *et al.*, *Interplanetary dust*, in *Meteorites and the early solar system*, J.F. Kerridge and M.S. Matthews, Editors. 1988, The University of Arizona Press: Tucson. p. 861-895. [2.] Maurette, M., C. Hammer, *et al.*, *Placers of cosmic dust in the blue ice lakes of Greenland*. *Science*, 1986. **233**: p. 869-872. [3.] Engrand, C. and M. Maurette, *Carbonaceous micrometeorites from Antarctica*. *Meteoritics & Planetary Science*, 1998. **33**: p. 565-580. [4.] Duprat, J., C. Engrand, *et al.*, *The Micrometeorite Program at CONCORDIA*. *EAS Publications Series*, 2005. **14**: p. 51-56. [5.] Brownlee, D., P. Tsou, *et al.*, *Comet 81P/Wild 2 Under a Microscope*. *Science*, 2006. **314**: p. 1711-. [6.] Duprat, J., C. Engrand, *et al.*, *The Micrometeorite Mass Flux as Recorded in Dome C Central Antarctic Surface Snow*. *Meteoritics & Planetary Science*, 2006. **41**: p. 5239. [7.] Duprat, J., C. Engrand, *et al.*, *The CONCORDIA-collection : micrometeorites from central Antarctica*. *Advances in Space Research*, 2006: p. in press. [8.] Dobrica, E., C. Engrand, *et al.*, *Classic and Exotic Particles in the 2006 CONCORDIA Antarctic Micrometeorite Collection*, in *Lunar and Planetary Institute Conference Abstracts*. 2008. p. 1672. [9.] E. Dobrica, C. Engrand, *et al.* *New clues on composition and structure of carbonaceous matter in antarctic micrometeorites* in *Meteoritics*. 2008. [10.] Duprat, J., C. Engrand, *et al.*, *Friable micrometeorites from central Antarctica snow*. *Lunar and Planetary Science (LPSC)*, 2005: p. 1678. [11.] Engrand, C., J. Duprat, *et al.*, *Comparison of Anhydrous Minerals of Concordia and Cap-Prudhomme Antarctic Micrometeorites. Predictions for Wild-2 Cometary Particles*. *Meteoritics & Planetary Science*, 2006. **41**(Supplement): p. 5237.

## **La basse couche limite atmosphérique du plateau Antarctique: Observation et modélisation.**

C. Genthon, H. Gallée, K. Lemorzadec, D. Six, V. Favier  
Laboratoire de Glaciologie et Géophysique de l'Environnement, Saint Martin d'Hères

**Résumé :** Dans le cadre et en support des programmes IPEV GLACIOCLIM, CONCORDIASI et CESOA, plusieurs systèmes d'observation météorologique ont été déployés au cours des dernières années à proximité des stations Cap Prudhomme et Concordia en Antarctique. En particulier, 6 niveaux d'observation météorologique sur 45 m depuis la surface permettent depuis début 2008 un profilage détaillé de la basse couche limite du plateau Antarctique au Dôme C. Même en été, de fortes inversions se développent pendant la « nuit » locale puis sont détruites par convection au cours de la journée. Ces premières données permettent de valider un modèle régional à haute résolution verticale, qui à son tour permet alors d'extrapoler et d'interpréter à grande échelle les observations locale du Dôme C.

## Variabilité des forçages atmosphériques dans la mer du Groenland

A. Germe, M-N. Houssais, C. Herbaut

<sup>1</sup>LOCEAN/IPSL, Université Pierre et Marie Curie, MNHN, Paris, 75005, France ([Agathe.Germe@locean-ipsl.upmc.fr](mailto:Agathe.Germe@locean-ipsl.upmc.fr), [Marie-Noelle.Houssais@locean-ipsl.upmc.fr](mailto:Marie-Noelle.Houssais@locean-ipsl.upmc.fr), [Christophe.Herbaut.Germe@locean-ipsl.upmc.fr](mailto:Christophe.Herbaut.Germe@locean-ipsl.upmc.fr))

### Résumé

La variabilité des forçages atmosphériques de la mer du Groenland est analysée sur la période 1982 – 2006. Cette analyse est basée sur les réanalyses ERA40 complétées par les données opérationnelles du centre européen ECMWF. Les données sont journalières.

En se basant sur une analyse en composantes principales, nous avons analysé les modes de variabilité de la concentration de glace, de la température de surface atmosphérique, et du vent. Dans le but de relier notre étude à une étude plus poussée sur la variabilité de l'activité convective du bassin du Groenland, on distingue deux échelles temporelles de forçage. L'une liée au préconditionnement, et l'une liée au déclenchement de l'évènement convectif. On applique un filtre pour séparer le signal hautes fréquences du signal basses fréquences. Le signal hautes fréquences nous permet de mettre en évidence les modes de variabilité intrasaisonniers des différents forçages supposés être pertinents pour le déclenchement du mélange convectif. Le signal basse fréquence, nous renseigne au contraire sur la variabilité interannuelle du préconditionnement.

### Références

- Comiso, J., C. P. Wadhams, L. Toudal Pedersen and R.A. Gersten, (2001), Seasonal and interannual variability of the Odden ice tongue and study of environmental effects, *Jour. of Geoph. Res.*, 106, 9093-9116.
- Shuchman, R.A., E.G. Josberger, C.A. Russel, K.W. Fischer, O.M. Johannessen, J. Johannessen, and P. Gloersen, (1998), Greenland Sea Odden sea ice feature: Intra-annual and interannual variability, *Jour. of Geoph. Res.*, 103, C6, 12.709-12.724.
- Jonsson S., (1991), Seasonal and interannual variability of wind stress curl over the Nordic Seas, *Jour. of Geoph. Res.*, 96, C2, 2649-2659.

## **Modifications de la circulation océanique profonde lors de la dernière entrée en glaciation : L'océan austral et l'océan Nord-Atlantique**

A. Govin<sup>1</sup>, E. Michel<sup>1</sup>, A. Guihou<sup>1,2</sup>, L. Labeyrie<sup>1</sup>, A. Landais<sup>1</sup>, E. Capron<sup>1</sup>, S. Pichat<sup>2</sup>, C. Waelbroeck<sup>1</sup>, E. Jansen<sup>3</sup>.

<sup>1</sup>LSCE/IPSL, Domaine du CNRS, 91190 Gif/Yvette, France

<sup>2</sup>Ecole Normale de Lyon, Lyon, France

<sup>3</sup>Bjerknes Centre for Climate Research, Bergen, Norway

**Résumé** La circulation océanique profonde en période glaciaire est très différente de celle que nous connaissons actuellement. Nous présentons ici les changements de circulation thermohaline lors de la dernière entrée en glaciation, en relation avec les variations de l'insolation et de l'hydrologie de surface.

Pour cela nous avons étudié la composition isotopique des foraminifères planctoniques et benthiques de carottes marines prélevées par le Marion Dufresne, sur un gradient Nord-Sud dans l'océan Austral et à différentes profondeurs de l'océan Atlantique Nord. La chronologie de ces différents enregistrements des deux hémisphères a été faite par la corrélation avec les enregistrements isotopiques des calottes glaciaires voisines.

Ces données montrent une réponse rapide de l'océan Austral de surface et profond à la baisse de l'insolation. En revanche aucun changement notable de la circulation profonde en Atlantique ne survient pendant les premiers milliers d'années, avant que les calottes de l'hémisphère nord se soient développées.

## Comment estimer la prise alimentaire chez le manchot royal ?

N. Hanuise<sup>1,2</sup>, C.-A. Bost<sup>1</sup>, W. Huin<sup>1</sup>, A. Auber<sup>2</sup>, L.G. Halsey<sup>3</sup> & Y. Handrich<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Centre d'Etudes Biologiques de Chizé, UPR1934 CNRS, Villiers-en-Bois, 79360 Beauvoir sur Niort, France ([hanuise@cebc.cnrs.fr](mailto:hanuise@cebc.cnrs.fr), [bost@cebc.cnrs.fr](mailto:bost@cebc.cnrs.fr))

<sup>2</sup> Institut Pluridisciplinaire Hubert Curien, Département Ecologie, Physiologie et Ethologie, UMR7178 CNRS/ULP, 23 rue Becquerel, 67087 Strasbourg, France ([yves-jean.handrich@c-strasbourg.fr](mailto:yves-jean.handrich@c-strasbourg.fr))

<sup>3</sup> School of Human and Life Sciences, Roehampton University, London, SW15 4JD, United Kingdom ([l.g.halsey@bham.ac.uk](mailto:l.g.halsey@bham.ac.uk))

**Résumé** Les oiseaux marins tels que les manchots jouent un rôle clé dans les écosystèmes océaniques ; il est important de pouvoir déterminer où et quand ils se nourrissent, et la quantité précise de proies qu'ils consomment. Pour cela, il existe différentes techniques impliquant l'utilisation d'enregistreurs miniaturisés. Ces techniques diffèrent par leur fiabilité et leur facilité de mise en œuvre. Dans ce travail, quatre de ces techniques ont été comparées chez des manchots royaux (*Aptenodytes patagonicus*) des îles Crozet, dans l'objectif de déterminer un indice de la prise alimentaire qui soit à la fois fiable et simple. Une combinaison des données de profondeur et de fréquence de battement d'ailes, simples à obtenir, nous permettra de nous passer des données de température de l'œsophage et de l'ouverture du bec, dont l'acquisition est plus délicate.

### Introduction

Les oiseaux marins tels que les manchots représentent une biomasse importante dans l'Océan Austral et consomment une quantité élevée de ressources ; ils jouent donc un rôle clé dans cet écosystème océanique. Pour évaluer précisément leur impact, il est capital de pouvoir déterminer où et quand ils se nourrissent, et la quantité de proies qu'ils consomment (Charrassin et Bost, 2001). Pour cela, différentes techniques directes ou indirectes impliquant l'utilisation d'enregistreurs électroniques miniaturisés peuvent être utilisées, chacune présentant ses avantages et inconvénients :

- des capteurs enregistrant les ouvertures du bec permettent de déceler tous les comportements impliquant l'utilisation du bec (tentatives et captures de proies, communication vocale, respiration, nettoyage) mais sont relativement délicats à poser (Wilson *et al.*, 2002),
- des sondes mesurant la température dans l'estomac ou l'œsophage permettent de détecter l'ingestion de proies froides chez un animal endotherme (Charrassin *et al.*, 2001),
- des enregistreurs de plongée permettent d'identifier des anomalies (ondulations) dans le profil de plongée, généralement associées à un comportement de recherche alimentaire (Bost *et al.*, 2007),
- des accéléromètres mesurant la fréquence de battements des ailes peuvent permettre de détecter des variations associées à la poursuite des proies (Sato *et al.*, 2008).

L'objectif du travail présenté est de valider une méthode fiable, simple, et peu dérangement pour les oiseaux afin d'estimer la prise alimentaire. Nous avons analysé les données obtenues simultanément avec différentes techniques pour estimer la consommation de proies chez des manchots royaux (*Aptenodytes patagonicus*) reproducteurs des îles Crozet en milieu naturel : ondulations dans le profil de plongée, chutes de la température œsophagienne, variations dans la fréquence de battement des ailes, et les avons confronté aux mouvements d'ouverture du bec.

### Observations et résultats

L'enregistrement de l'ouverture du bec est utilisé comme le signal de référence car il permet de distinguer les tentatives (ouverture du bec suivie d'une fermeture immédiate et complète) et les captures de proies réussies (ouverture du bec suivie d'une fermeture partielle puis de mouvements de déglutition). En le comparant aux chutes de la température œsophagienne et aux ondulations dans le profil de plongée, il apparaît que ces deux techniques permettent effectivement d'estimer la prise alimentaire, avec toutefois moins de précision. En effet, ces deux techniques tendent à sous-estimer la prise alimentaire. Ainsi, lorsque les captures sont peu nombreuses et espacées dans le temps, la chute de température œsophagienne permet de détecter plus de 90% des ingestions ; en revanche, lorsque les ingestions deviennent trop rapprochées dans le temps, cette technique n'en détecte plus que 40% en raison de la saturation de la sonde. Le nombre d'ondulations dans une plongée est également corrélé au nombre

d'ingestions : plus de 75% des ingestions surviennent au cours d'une ondulation. Cependant, une forte variabilité est observée : près de 40% des ondulations ne sont pas associées à une capture, et certaines ondulations sont au contraire associées à des ingestions multiples. L'analyse préliminaire des données de fréquence de battement d'ailerons montre que la majorité des captures survient après un arrêt temporaire du mouvement des ailerons.

### **Discussion et conclusion**

Toutes les techniques utilisées permettent d'évaluer la prise alimentaire chez le manchot royal, avec toutefois différents degrés de fiabilité. La mesure directe de l'ouverture du bec permet une évaluation précise du nombre d'ingestions et des tentatives de capture de proies ; la technique basée sur les chutes de température dans l'œsophage est particulièrement fiable quand les ingestions ont lieu à une fréquence moyenne à faible. Cependant, la précision moindre des techniques utilisant les ondulations dans le profil de plongée et la fréquence de battement des ailerons est contrebalancée par une manipulation des oiseaux moins longue et moins invasive : un enregistreur fixé dans le bas du dos de l'animal est suffisant. Un indice de la prise alimentaire basé sur ces deux mesures sera donc prochainement mis au point, réduisant la nécessité de mesurer directement les mouvements d'ouverture du bec ou les variations de température dans l'œsophage. Les études ultérieures du comportement alimentaire des manchots royaux basées sur cet indice en seront facilitées.

**Remerciements.** Cette étude a été menée dans le cadre du programme 394 de l'IPEV.

### **Références**

- Bost C.-A. *et al.* (2007) Changes in dive profiles as an indicator of feeding success in king and Adelie penguins, *Deep-Sea Research*, 54: 248-255.
- Charrassin J.-B. and Bost C.-A. (2001) Utilisation of the oceanic habitat by king penguins over the annual cycle, *Marine Ecology Progress Series*, 221: 285-297.
- Charrassin J.-B. *et al.* (2001) Feeding behaviour of free-ranging penguins determined by oesophageal temperature, *Proc. Biol. Sci.*, 268(1463): 151-157.
- Wilson, R. P *et al.* (2002) Lip-reading in remote subjects: an attempt to quantify and separate ingestion, breathing and vocalisation in free-living animals using penguins as a model, *Marine Biol*, 140: 17-27.
- Sato K. *et al.* (2008) A new method to quantify prey acquisition in diving seabirds using wing stroke frequency, *J. Exp. Biol*, 211: 58-65

## **Le plateau continental Antarctique est-il un générateur de « species flock » chez les crinoïdes (Echinodermata) ?**

L. Hemery<sup>1</sup>, M. Eléaume<sup>1</sup>, A. Dettai<sup>2</sup>, C. Bonillo<sup>2</sup>, A. Couloux<sup>3</sup>, C. Cruaud<sup>3</sup>, P. Chevaldonné<sup>4</sup>, R. Cornette<sup>2</sup>, N. Améziane<sup>1</sup>

<sup>1</sup> DMPA-UMR5178 Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris, 75005, France ([yglena@hotmail.com](mailto:yglena@hotmail.com) [eleaume@mnhn.fr](mailto:eleaume@mnhn.fr) [ameziane@mnhn.fr](mailto:ameziane@mnhn.fr))

<sup>2</sup> DSE-UMR7138, Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris, 75005, France ([adettai@mnhn.fr](mailto:adettai@mnhn.fr) [bonillo@mnhn.fr](mailto:bonillo@mnhn.fr) [cornette@mnhn.fr](mailto:cornette@mnhn.fr))

<sup>3</sup> Genoscope, Centre National de Séquençage, Evry, 91057, France ([www.genoscope.fr](http://www.genoscope.fr))

<sup>4</sup> DIMAR-UMR6540, Station Marine d'Endoume, Centre Océanologie de Marseille, Marseille, 13007, France ([pierre.chevaldonne@univmed.fr](mailto:pierre.chevaldonne@univmed.fr))

**Résumé** Les « species flocks » sont un type particulier de radiation évolutive qui se produit dans un environnement aux caractéristiques physiques précises. Le plateau continental antarctique présente ces caractéristiques avec deux particularités : son étendue géographique gigantesque, et sa situation en milieu marin. Les caractéristiques biologiques des « species flocks » sont la monophylie de l'entité décrite, sa diversité spécifique, écologique et morphologique, une domination de l'habitat et un haut taux d'endémicité. Parmi la vingtaine d'espèces de comatules du plateau continental antarctique, un clade d'Heliometrinae pourrait constituer un « species flock ». Leur monophylie doit être testée ; leur diversité spécifique est sous-estimée ; leur diversité morphologique est démontrée et leur diversité écologique à tester ; ces espèces sont endémiques de la région et dominent leurs niches écologiques. Si l'hypothèse est démontrée, le plateau continental antarctique pourrait alors être considéré comme générateur de « species flocks » chez les crinoïdes.

## **La réponse des traits d’histoire de vie au changement climatique dépend de l’échelle spatiale**

Marie Hermant<sup>1</sup>, Andreas Prinzing<sup>1</sup>, Richard Bailey<sup>2</sup> & Françoise Hennion<sup>1</sup>

<sup>1</sup>University of Rennes 1, UMR CNRS 6553 Ecobio, Av. du Général Leclerc, 35042 Rennes, France

<sup>2</sup>Uppsala University, Dept of Animal Ecology, Evolutionary Biology Centre, Norbyvägen 18 D, SE-752 36 Uppsala, Sweden

Pour faire face à un changement brusque du climat, les espèces doivent ajuster leur stratégie de reproduction aux nouvelles conditions de vie, en modifiant certains caractères. Les plantes montrent-elles de telles réponses à une variation de l’environnement ? Cette réponse se traduit-elle par une modification des moyennes des traits ou par un changement d’interactions entre les traits ? A quelle échelle spatiale se produisent ces réponses ?

Nous étudions les traits de reproduction d’une espèce végétale pérenne, le Chou de Kerguelen (*Pringlea antiscorbutica*) le long de gradients d’altitude sur les îles subantarctiques Crozet et Kerguelen. Les comparaisons entre des populations situées à de grandes distances indiquent une diminution de la taille moyenne des plantes et des graines avec l’altitude, suggérant une adaptation de *Pringlea* aux différentes altitudes. Sur des échelles spatiales courtes, les résultats montrent un renforcement de la corrélation phénotypique négative entre la taille des graines et le nombre de graines en haute altitude, indiquant une forte flexibilité de cette corrélation face à différentes conditions climatiques.

## Les pucerons endémiques du haut arctique sont-ils adaptés au changement climatique ?

M. Hullé<sup>1</sup>, J. Bonhomme<sup>1</sup>, D. Maurice<sup>2</sup>, J.-C. Simon<sup>1</sup>

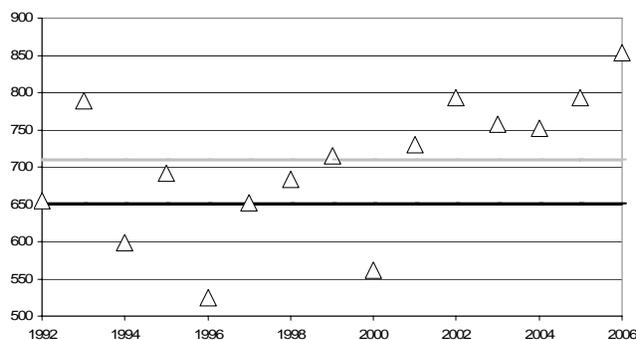
<sup>1</sup>INRA, UMR BiO3P, BP 35327, 35653 Le Rheu Cedex, France ([maurice.hulle@rennes.inra.fr](mailto:maurice.hulle@rennes.inra.fr))

<sup>2</sup>INRA, UMR EEF, 54280 Champenoux, France ([damien.maurice@nancy.inra.fr](mailto:damien.maurice@nancy.inra.fr))

### Introduction

Les écosystèmes arctiques sont soumis à de fortes contraintes environnementales qui limitent la colonisation et le développement des espèces végétales et animales. Au Svalbard, par exemple, l'entomofaune comprend 230 espèces seulement (Coulson 2007) contre plus de 30000 en Belgique, un territoire de taille équivalente. Pour affronter ces conditions extrêmes, les espèces ont développé des adaptations très particulières comme un développement sur plusieurs années, un nombre annuel de générations réduit, une dispersion faible, une meilleure résistance ou tolérance au froid (Strathdee & Bale 1998). C'est le cas des pucerons du haut arctique qui ont une distribution restreinte, un cycle de vie raccourci et une capacité de dispersion réduite par rapport à leurs congénères des pays tempérés (Downes 1964, Danks 1993).

Les pucerons des milieux tempérés alternent chaque année jusqu'à 20 générations parthénogénétiques et une génération sexuée, dont la production est induite par la baisse de la photopériode à l'automne. Le nombre de générations parthénogénétiques est variable selon la température. Cette plasticité phénotypique leur confère une grande capacité d'adaptation aux conditions environnementales (Dixon 1998). Au Spitsberg (île principale du Svalbard) seules deux espèces de pucerons ont été régulièrement trouvées (Strathdee et al 1993, Hodkinson et al 2002, Gillespie et al 2007). La première, *Sitobion calvulum* est l'une des espèces d'insectes les plus rares et les plus localisées au monde (2 stations connues actuellement). Son cycle annuel ne comporte que deux générations : une première génération parthénogénétique de fondatrices issues des œufs d'hiver, puis une deuxième génération de sexués qui s'accouplent et produisent à leur tour les œufs d'hiver (Gillespie 2007). La deuxième espèce, *Acyrtosiphon svalbardicum*, a une distribution plus large. On la trouve en plusieurs localités le long de la côte ouest du Spitsberg. Elle se multiplie sur la *Dryas* à huit pétales (*Dryas octopetala*). Des études anglaises ont montré que cette espèce était capable d'accomplir un cycle à 3 générations (Strathdee et al 1993). Les fondatrices de 1<sup>ère</sup> génération donnent également naissance en majorité à des sexués de 2<sup>ème</sup> génération mais aussi à environ 15% de femelles parthénogénétiques qui donneront à leur tour des sexués de 3<sup>ème</sup> génération. Cette 3<sup>ème</sup> génération ne peut devenir adulte et produire des œufs que si le bilan thermique de l'été est suffisant. Ainsi, d'après ces auteurs, il faut 651°C\*jours au dessus de 0°C au cours de l'été pour que cette génération devienne adulte et 710°C\*jour pour qu'elle puisse déposer des œufs et contribuer ainsi à la dynamique des populations de l'espèce. Ce cycle à 3 générations serait génétiquement déterminé. D'après le bilan thermique des derniers étés au Spitsberg (fig. 1), nous avons estimé que cette 3<sup>ème</sup> génération, dont le coût est compensé si elle se produit au moins une année sur 28, aurait du atteindre l'âge adulte et participer efficacement à la reproduction plus fréquemment depuis l'étude anglaise de 1992 (10 et 7 années respectivement sur les 15 dernières années).



Dans notre étude (2004-2006) nous nous sommes intéressés à valider cette hypothèse et à approfondir la connaissance de la biologie de cette espèce.

**Fig. 1:** bilan thermique en °C\*jour au dessus de 0°C (Δ) et budget thermique nécessaire à la 3<sup>ème</sup> génération d'*A. svalbardicum* pour devenir adulte (ligne noire) et produire ses œufs (ligne grise) d'après Strathdee et al. (1993).

## Observations et résultats

### *Variabilité du cycle biologique d'A. svalbardicum*

Nous avons élevé 150 fondatrices d'*A. svalbardicum* prélevées en début de cycle et provenant de 3 sites géographiquement distants afin de mettre en évidence une éventuelle variabilité géographique du cycle biologique. Ces fondatrices ont été placées dans deux conditions de température (dans le laboratoire entre 16 et 18°C ou à l'extérieur à 8°C en moyenne) et leurs descendances suivies individuellement jusqu'à la formation des sexués. De même une population a été suivie en conditions naturelles durant deux étés en 2005 et 2006.

Aucune des fondatrices quelque soit son origine géographique ou la condition expérimentale n'a produit de 3<sup>ème</sup> génération. Toutes ces fondatrices ont donc produit directement des sexués avec une proportion de mâles comprise entre 21 et 28%. Leur fécondité totale et la sex-ratio se sont avérées indépendantes de l'origine géographique (Hullé et al 2008).

De même dans la nature, aucune femelle parthénogénétique de 2<sup>ème</sup> génération n'a été observée. La génération de sexués observés dans la nature et correspondant donc à la 2<sup>ème</sup> génération, est devenue adulte au 5 ou 6 juillet selon les années soit respectivement à 345 et 334°C\*jours et a commencé à pondre les œufs d'hiver les 18 ou le 14 juillet (soit à 411 ou 513 °C jours) alors que les bilans thermiques des étés 2005 et 2006 ont été de 793 et 854°C\*jours respectivement.

### *Structure génétique et dispersion*

500 individus d'*A. svalbardicum* provenant de 22 populations distantes (de 1m à 100km) ont été caractérisés moléculairement sur la base de 8 marqueurs microsatellites polymorphes. Les populations sont fortement différenciées ( $F_{st} \leq 0.45$ ) et montrent un profil d'isolement par la distance (Test de Mantel  $p = 0.012$ ). Seules les populations séparées de moins de 100 mètres ne montrent pas de différenciation génétique, indiquant une faible dispersion chez cette espèce. De plus, ces populations ont une forte consanguinité compatible avec la faible dispersion et l'accouplement préférentiel entre apparentés.

Par ailleurs, la distribution de l'espèce est discrète et hétérogène. De nombreux patches de *Dryas* sont inoccupés par les pucerons.

Enfin, les formes ailées d'*A. svalbardicum* sont rares. Un seul individu ailé avait été observé par nos collègues anglais (Hodkinson et al 2002). En 2006 nous en avons observé en nombre relativement important sans que pour l'instant cette production ait été confirmée ni qu'elle puisse être imputée à un facteur environnemental ou biotique (Simon et al 2008).

## Discussion et conclusion

Notre étude du cycle biologique d'*A. svalbardicum* n'a pas confirmé le travail de l'équipe anglaise. Cette espèce a montré un cycle biologique semblable à celui de *S. calvulum*.

Bien que nous ne puissions formellement réfuter l'existence d'un cycle à 3 générations, il semble néanmoins qu'il soit excessivement rare et non adaptatif dans le sens où, compte tenu de son coût, il aurait dû être sélectionné au cours des dernières années de réchauffement climatique actuellement en cours au Spitsberg.

Il existe en Scandinavie une espèce sœur d'*A. svalbardicum*, *Acyrtosiphon brevicorne* vivant sur la même plante hôte et ayant un cycle biologique à 4 générations, intermédiaire entre celui observé dans le haut arctique et les milieux tempérés et donc plus apte à répondre aux modifications de température (Strathdee et al 1996). L'hypothèse d'une colonisation du Spitsberg par une telle espèce et les conséquences sur la dynamique d'*A. svalbardicum* peut s'envisager dans le contexte actuel de réchauffement climatique et d'augmentation de la fréquentation de l'archipel du Svalbard.

**Remerciements.** Ce programme, baptisé Arctaphid, a été financé par l'IPEV (programme n°426)

## Références

- Coulson, S.J. (2007), Terrestrial and freshwater Invertebrate Fauna of the High Arctic Archipelago of Svalbard. *Zootaxa*, 1448, 41-58  
Danks, H.V. (1993), Seasonal adaptations in insects from the high arctic. In: Takeda M, Tanaka S (eds.) *Seasonal adaptation and diapause in insects*. Bun-ichi-Sogo, Tokyo, pp 54-66  
Dixon, A.F.G. (1998), *Aphid Ecology*. Chapman and Hall, London

- Downes, J.A. (1964), Arctic insects and their environment. *Canad. Ent.* 96, 279-307/2005
- Gillespie, M., Hodkinson, I.D., Cooper, E.J., Bird, J.M. and I.S. Jónsdóttir (2007), Life history and host-plant relationships of the rare endemic Arctic *Acyrtosiphon calvulus* in a changing environment. *Entomology. Experimentalis et Applicata*, 123, 229-237
- Hodkinson, I.D., Coulson, S.J., Bird, J. and N.R. Webb (2002), Discovery of the rare alate morph of *Acyrtosiphon svalbardicum* Heikinheimo (Homoptera; Aphididae): description and implications for species ecology. *Norwegian Journal of Entomology*, 49, 77-80
- Strathdee, A.T. and J.S. Bale (1998), Life on the edge: insect ecology in arctic environment. *Annual Review of Entomology*, 43, 85-106.
- Strathdee, A.T. and J.S. Bale (1996), Life-cycle and morph production in the Arctic aphid *Acyrtosiphon brevicorne*. *Polar Biology*, 16, 293-300
- Strathdee, A.T., Bale, J.S., Block, W.C., Webb, N.R., Hodkinson, I.D. and S.J. Coulson (1993), Extreme adaptive life-cycle in a high arctic aphid, *Acyrtosiphon svalbardicum*. *Ecological Entomology*, 18, 254-258

## Observations hydrographiques et glaciologiques à haute fréquence dans le Storfjord (Svalbard).

F. Jardon<sup>1</sup>, F. Vivier<sup>1</sup>, P. Bouruet-Aubertot<sup>1</sup>, A. Lourenço<sup>1</sup>, Y. Cuypers<sup>1</sup>

<sup>1</sup>LOCEAN/IPSL, Université Pierre et Marie Curie, Paris, 75005, France

[Fernanda.Jardon@locean-ipsl.upmc.fr](mailto:Fernanda.Jardon@locean-ipsl.upmc.fr)

**Résumé** Dans le cadre du projet ICE-DYN, deux mouillages et un prototype de flotteur mesurant l'épaisseur de glace (IceT) ont été déployés en Mars-Avril 2007, au Storfjord (Svalbard), zone abritant une importante polynie. Un objectif de cette campagne est d'identifier les processus thermodynamiques régissant l'évolution de l'épaisseur de glace et de la couche de mélange. Les mesures collectées constituent les premières données à haute-fréquence dans cette région de formation d'eau profonde. Nous présentons les résultats de l'analyse préliminaire de ces observations, révélant en particulier la présence d'Arctic Water (ArW) et de Brine-enriched Shelf Water (BSW) proche du point de congélation. La dynamique interne à haute fréquence et l'impact du mélange turbulent dans le bilan de chaleur de la couche de surface sont également caractérisés.

### Introduction

Le Storfjord, situé dans l'archipel du Svalbard, est un vaste fjord Arctique entouré par les îles Spitsberg, Barentsoya et Edgeoya (Fig. 1). Par régime de vent du nord, une importante polynie s'ouvre, dont la largeur peut atteindre 130km (Haarpainter et al, 2001). Ce processus conduit à la formation de glace de mer, et ainsi d'eau très dense, froide et salée (BSW), qui résulte du rejet de saumures (brine) lors de la congélation. Ces eaux précipitent par gravité en se mélangeant aux masses d'eau sous-jacentes. Elles s'accumulent au fond du bassin avant d'être exportées vers l'océan profond. La formation de BSW est un processus important car ces eaux contribuent à la stratification de l'Arctique. Le fjord est suppléé en Arctic Water (ArW), froide et peu salée, et occasionnellement en Modified Atlantic Water (MAW, chaude et salée), produit de la modification de l'eau Atlantique par mélange et des échanges de chaleur. D'après Skogseth et al (2005) la source de la BSW serait généralement l'ArW excepté certaines années où la BSW est très salée.

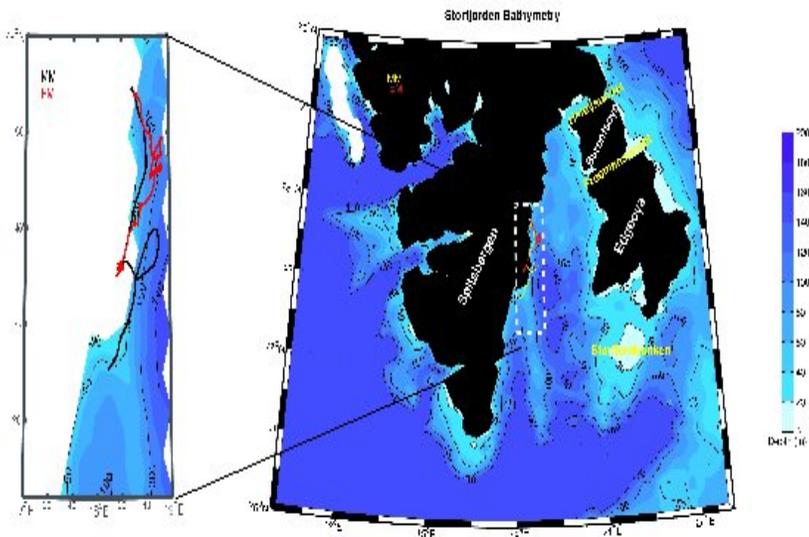


Figure 1. Bathymétrie du Storfjord. Les trajectoires suivies par les mouillages sont indiquées en zoom. Mouillage Central (ligne noire) et Mouillage Est (ligne rouge).

La dynamique interne de l'océan à haute fréquence (ondes internes, marées) joue potentiellement un rôle important dans ce processus de formation d'eau dense. Le mélange qu'elle induit est à même d'influencer les échanges thermiques océan-glace d'une part, et de modifier les masses d'eaux et ainsi influencer le sort des eaux denses une fois formées d'autre part (Foster et al. 1987; Padman 1995). Un dispositif expérimental incluant un mouillage « hydrodynamique » muni de capteurs autonomes de température et salinité avec un échantillonnage vertical et temporel élevé, un flotteur prototype mesurant l'épaisseur de glace, et un court mouillage périphérique, a été déployé en mars 2007 permettant de collecter 10 jours de données. L'objectif est d'analyser le bilan thermique de l'océan superficiel, de la glace, de documenter la variabilité

haute fréquence et analyser l'impact du mélange sur le bilan thermique. Cette campagne s'inscrit dans la continuité de travaux précédents (projet BRINES, J-C Gascard) et en complémentarité avec les expériences menées dans le cadre de DAMOCLES.

### Observations et résultats

Le dispositif expérimental était prévu pour réaliser un bilan thermique Eulerien dans les différentes couches (glace, océan superficiel). Cependant, une débâcle prématurée, provoquée par une violente tempête, a entraîné une dérive du dispositif expérimental, venant compliquer les bilans envisagés. Une première analyse s'est donc attachée à démêler variabilité spatiale et temporelle dans ces observations. Nous démontrons ainsi que l'essentiel de la variabilité peut être interprétée en terme de variabilité temporelle locale, ce qui permet de procéder aux analyses prévues.

Une analyse des masses d'eau rencontrées par le mouillage central au cours de sa dérive (MC, du 26/03 à 02/04, 77.9°N 18.49°E, trajectoire noire Fig. 1) a été réalisée. Les caractéristiques des masses d'eau trouvées en mars-avril 2007 sont listées Table 1. Sur l'essentiel de sa trajectoire, le mouillage a dérivé dans une cuvette homogène où s'accumule la BSW. Cette masse d'eau est observée sur toute la colonne (0-60m), et ses caractéristiques se situent sur la droite de congélation, avec suggestion d'épisodes de léger super-refroidissement. Un tel refroidissement est cohérent avec l'exposition de l'océan aux forts vents ayant entraîné la débâcle. Dans la dernière partie de sa dérive, le mouillage franchit la dorsale nord-sud qui borde la cuvette dans le prolongement de l'anse de Boltoden, révélant la présence d'ArW (Diminution de la salinité de 35.2 à 34.8). Une langue de cette eau plus légère déborde sur la cuvette où s'accumule la BSW.

Masses d' eau	T (° C)	S
ArW	<0.0	34.3 à 34,8
BSW	<-1.5	>34.8

Table 1. Classification des masses d'eau selon Loeng, (1991).

Une troisième série d'analyses s'est attachée à caractériser la variabilité haute-fréquence. En l'absence de mesure ADCP (problème instrumental) les mesures de pression à la base d'un court mouillage périphérique, situé vers l'est du MC (ME, de 23/03 à 20/04, 77.9°N 18.52°E, trajectoire rouge Fig. 1) ont été utilisées comme proxy pour caractériser la variabilité des courants de marée. Une analyse harmonique des composantes de la marée met en évidence une contribution maximale à la fréquence de l'onde semi diurne (M2), fréquence qui coïncide avec la fréquence d'inertie à cette latitude. Les autres composantes de marées significatives dans le Storfjord sont K1 (0.04178 cph), M4 (0.1610 cph) et MK3 (0.1223 cph). Des analyses en cours s'attachent à caractériser les ondes internes à partir du déplacement des isothermes.

Parallèlement, la présence d'une couche de mélange relativement homogène permet de réaliser un bilan thermique simplifié intégré sur cette couche. Les données du flotteur prototype Ice-T, qui mesure l'évolution de l'épaisseur de glace et les profils thermiques dans la glace, vont être utilisées dans ce bilan pour estimer les échanges thermiques à l'interface océan-glace.

**Remerciements.** La campagne ICE-DYN a été financée par l'IPEV (programme 1058), et a bénéficié d'une logistique mise en place dans le cadre du projet Européen Intégré DAMOCLES. Nous remercions Eric Brossier et France Pinczon du Seil du voilier Vagabond pour leur aide lors de cette campagne. F Jardon est financée par le programme Européen AIBAN de bourses de thèse pour l'Amérique Latine (No. E07D403997AR).

### Références

- T. Foster, D A. Foldvic, J. H. Middleton, (1987), Mixing and bottom water formation in the shelf break region of the southern Weddel Sea, *Deep. Sea Res.*, 34, 1771-1794.
- L. Haarpaintner, J.-C. Gascard, and P. M. Haugan (2001), Ice production and brine formation in Storfjorden, Svalbard, *J. Geophys. Res.*, 106(C7), 14,001–14,013.
- H. Loeng, 1991, Features of the physical oceanographic conditions of the Barents Sea, *Polar Research*, 22, 59-66.
- L. Padman, (1995) Small scale processes in the Arctic Ocean, *Arctic Oceanography: Marginal Ice Zones and Continental Shelves, Coastal and Estuarine Study*, 49, 97-129.
- R. Skogseth, P.M. Haugan, M. Jakobsson, (2004), Water mass transformations in Storfjorden, *Cont Shelf Res.*, 25, 667-695.

## Le sens de l'olfaction chez la mouette tridactyle

S. Leclaire<sup>1</sup>, H. Mulard<sup>2</sup>, S. Hatch<sup>3</sup>, R. H. Wagner<sup>4</sup>, E. Danchin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire Evolution et Diversité Biologique, Université Paul Sabatier, Toulouse, France ([sarahlecl@hotmail.com](mailto:sarahlecl@hotmail.com))

<sup>2</sup>Laboratoire d'Ecologie, Université Pierre et Marie Curie, Paris, France

<sup>3</sup>U.S. Geological Survey, Anchorage, Alaska, USA

<sup>4</sup>Konrad Lorenz Institute for Ethology, Vienne, Autriche

**Résumé** On a longtemps cru que les oiseaux n'avaient qu'un faible odorat. Cependant, ils ont un appareil olfactif fonctionnel et récemment, il a été montré qu'ils utilisaient l'olfaction dans diverses activités. Néanmoins, ces études sont rares et l'importance de ce sens chez la majorité des oiseaux reste inconnue. Notre étude a pour but de déterminer si la mouette tridactyle (*Rissa tridactyla*) peut (1) sentir et (2) utiliser ce sens pour reconnaître qu'un œuf est non viable. Nos résultats montrent (1) que les oiseaux modifient significativement leur comportement lorsqu'une feuille imprégnée d'une substance odorante est introduite sur le nid et (2) qu'ils rejettent davantage un œuf lorsqu'il est rempli d'un mélange composé d'œufs avariés. Les mouettes peuvent donc sentir et semblent utiliser ce sens pour reconnaître et rejeter un œuf qui ne se développerait pas normalement. L'étude des différents contextes dans lesquels elles utilisent l'odorat est maintenant un champ de recherche prometteur.

## Effet de l'âge et de la sénescence sur les trajets en mer du Grand Albatros

V. Lecomte<sup>1</sup>, H. Weimerskirch<sup>1</sup> & O. Chastel<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Centre d'Etudes Biologiques de Chizé, UPR1934 CNRS, Villiers-en-Bois, 79360 Beauvoir sur Niort, France ([lecomte@cebc.cnrs.fr](mailto:lecomte@cebc.cnrs.fr))

**Résumé** Les Albatros constituent un modèle d'étude pour l'investigation des effets de la sénescence en milieu naturel. Nous avons examiné l'effet de l'âge sur l'écologie en mer de 50 Grands Albatros (*Diomedea exulans*) appartenant à 20 cohortes d'âge (de 8 à plus de 47 ans) au cours d'une même saison de reproduction. Durant la période d'incubation, les aires de nourrissage des mâles reproducteurs sénescents sont partiellement ségréguées des aires des mâles jeunes et adultes, alors qu'il n'y a pas de différences chez les femelles. Seuls les vieux mâles vont se nourrir le long du continent Antarctique, suggérant une stratégie âge-dépendante d'extraction de la ressource du milieu. La durée des voyages, la distance parcourue et le rayon d'action sont significativement plus grands. Ces résultats, mis en perspective avec le statut hormonal des individus (corticostéronémie), soulignent l'intérêt de la prise en compte de l'âge des individus dans les études des populations d'animaux longévifs, les différentes classes d'âge n'étant pas dépendantes des mêmes conditions environnementales.

### Introduction

La sénescence est définie comme le déclin de la fécondité et l'augmentation de la mortalité avec l'âge. De nombreuses études menées en milieu naturel ont mis en évidence une baisse de fécondité et de survie chez les individus les plus âgés (par exemple, Bonduriansky & Brassil 2002). Les causes ultimes et les patterns évolutifs de la sénescence sont aujourd'hui bien conceptualisés (Medawar, 1952, Williams, 1957), mais notre connaissance des causes proximales, des mécanismes physiologiques et immunitaires qui sous-tendent les baisses de performances individuelles avec l'âge en milieu naturel restent très fragmentaires.

L'écologie évolutive de la sénescence est une discipline récente dont l'objet est l'étude des mécanismes évolutifs et physiologiques du vieillissement des populations étudiées dans leur milieu naturel (Monaghan, 2008).

De par leur longévité exceptionnelle, plus de 70 ans, les grands albatros constituent un modèle original pour l'étude du vieillissement. Grâce au suivi à long terme mené par le Centre d'Etudes Biologiques de Chizé (CEBC-CNRS) sur les colonies de Grand Albatros de l'île de la Possession (Terres Australes et Antarctiques Françaises), on sait que le Grand Albatros montre un déclin de fécondité et de survie à partir de 30 ans (Weimerskirch et al. 2005), associé à une hausse du taux basal de corticostérone (Angelier et al. 2007), hormone associée à l'état des réserves énergétiques et au stress (Wingfield and Sapolsky 2003).

L'objectif de cette étude est de tester l'hypothèse selon laquelle le déclin de la fécondité et l'augmentation de la mortalité observée chez les grand albatros les plus âgés seraient liés à une moindre capacité des individus sénescents à extraire et allouer les ressources marines.

Nous allons utiliser plusieurs indicateurs de l'effort d'extraction d'énergie par les Albatros : (i) la durée, la distance parcourue et l'éloignement des voyages de nourrissage ; (ii) le statut hormonale avant et après voyage ; (iii) le budget d'activité en mer.

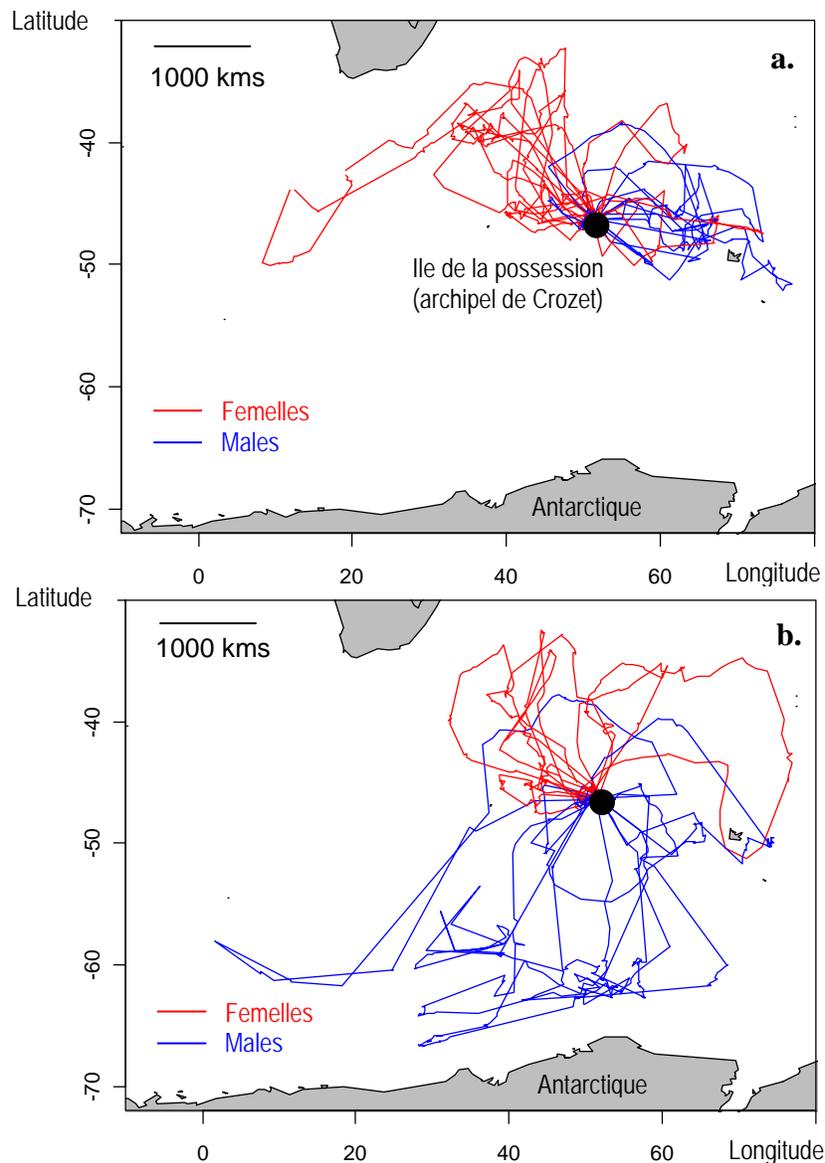
### Observations et résultats

Le suivi par télémétrie satellitaire de 50 Grands Albatros de l'île de la Possession a été effectué au cours de la saison de reproduction 2007/2008. 25 mâles et 25 femelles ont été équipés de balises Argos et suivis durant un voyage de nourrissage pendant la période d'incubation de l'œuf. L'originalité de cette campagne de déploiement réside dans le choix d'un échantillon uniforme en âge, couvrant le maximum de cohortes d'âge différents et nécessitant la recherche ciblée des plus vieux et plus jeunes individus reproducteurs des colonies, souvent ignorés

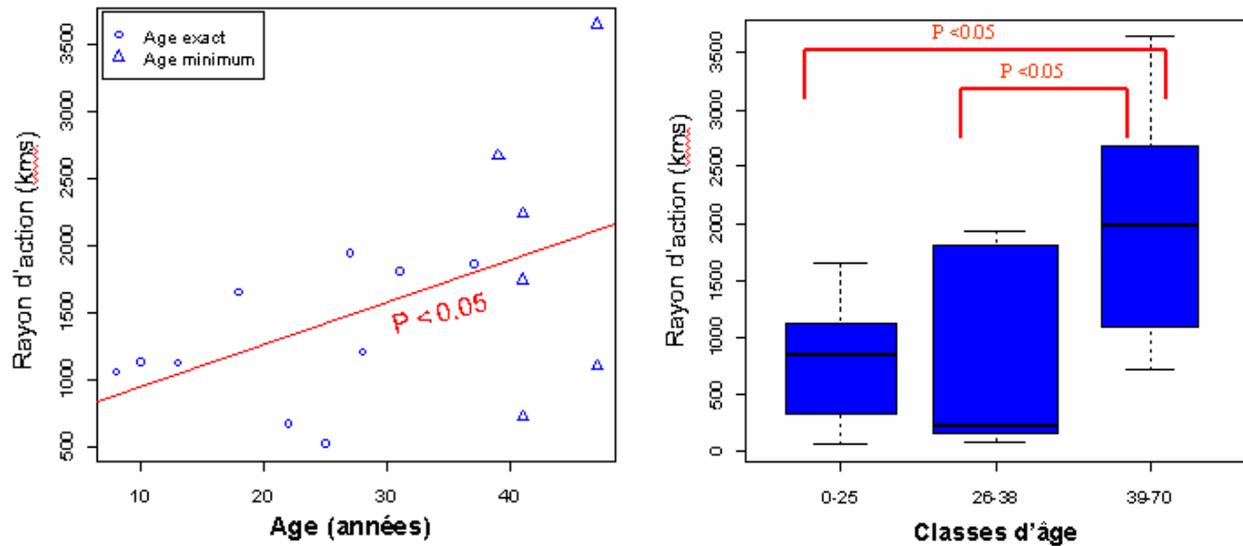
des échantillonnages aléatoires de par leur rareté.

Les trajets de nourrissage en mer des individus mâles de plus de 30 ans sont partiellement ségrégués des trajets de nourrissage des individus jeunes et adultes (figure 1). Seuls les vieux individus mâles vont se nourrir le long du continent Antarctique dans des zones distantes de plus de 2500 kilomètres des sites de nidification.

La distance parcourue, la durée du voyage et le rayon d'action (maximal range) des vieux mâles durant la période d'incubation sont significativement plus grands que chez les mâles jeunes et adultes (figure 2). Nous n'avons observé aucun effet significatif de la date de ponte ou de la date de déploiement de la balise au cours de la saison. Aucun effet de la date de première reproduction n'a été mis en évidence. Rejoignant une étude menée chez l'Albatros à tête grise (Catry, 2006), aucune différence n'a été observée en termes de voyages en mer entre les femelles de plus de 30 ans et les femelles de moins de 30 ans.



**Figure 1.** Ségrégation des vieux mâles lors des voyages de nourrissage en mer de 50 Grands Albatros de Crozet (25 mâles, 25 femelles) durant la période d'incubation de l'œuf (janvier-février 2008). Un trajet par individu. (a) individus de moins de 30 ans. (b) Individus de 30 ans à plus de 47 ans.



**Figure 2.** Effet de l'âge des mâles sur le rayon d'action des voyages de nourrissage en mer de 50 Grands Albatros de Crozet durant la période d'incubation de l'œuf (janvier-février 2008). N = 25

### Discussion et conclusion

Chez le grand Albatros, mâles et femelles incubent l'œuf en alternance, se relevant tous les 2 à 20 jours. Le succès de la pêche en mer est déterminant pour permettre aux oiseaux de jeûner au nid lors de l'incubation qui représente une forte dépense énergétique (Weimerskirch, 2002). Durant cette période, nous avons montré que les individus reproducteurs âgés de plus de 30 ans se déplacent à plus grande distance et dans des zones partiellement différentes des zones prospectées par les individus plus jeunes, ce qui laisse supposer une plus faible capacité à extraire et allouer les ressources chez les individus âgés. Les analyses du rythme d'activité des oiseaux vont permettre d'estimer la dépense énergétique des oiseaux, afin de vérifier si ces trajets éloignés sont plus coûteux.

Afin d'estimer l'efficacité de cette ségrégation en termes de succès de pêche, le statut hormonal de l'oiseau avant le voyage et au retour de voyage est un élément crucial à prendre en compte. La corticostéronémie étant liée à l'état des réserves énergétiques (Wingfield & Sapolsky 2003), elle fournit une estimation du succès de pêche. Chaque individu équipé d'une balise Argos présenté dans cette étude a subi une prise de sang avant et après voyage en mer. Les analyses en cours seront présentées, ainsi que les résultats d'enregistrements d'activités en mer de ces « doyens des mers ».

**Remerciements.** Cette étude a bénéficié du soutien financier et logistique de l'Institut Polaire Français (IPEV, Programme 109 ORNITHO-ECO, responsable : H. Weimerskirch). Le projet bénéficie du soutien de la Fondation Prince Albert II de Monaco.

### Références

- Angelier F. et al. (2007) Age, experience and reproductive performance in a long-lived bird: a hormonal perspective. *Behavioural Ecology and Sociobiology*, 61: 611-621
- Bonduriansky R. and Brassil C.E. (2002) Rapid and costly ageing in wild male flies, *Functional Ecology*, 16: 371-378
- Monaghan P. et al. (2008), The evolutionary ecology of senescence, *Ecology*, 22:371-378
- Paulo Catty et al. (2006) Senescence effects in an extremely long-lived bird: the grey-headed albatross *Thalassarche chrysostoma*, *Proc Biol Sci.* 273(1594): 1625-1630.
- Medawar P. B. (1952) *An Unsolved Problem of Biology*. London: H. K. Lewis.
- Williams G. C. (1957) Pleiotropy, natural selection and the evolution of senescence, *Evolution* 11:398-411.
- Weimerskirch H et al. (2005) Population sex ratio variation in a monogamous long-lived bird, the wandering albatros. *Journal of Animal Ecology*, 74:285-291
- Weimerskirch H et al. (2002) Heart rate and energy expenditure of incubating wandering albatrosses: basal levels, natural variation, and the effects of human disturbance, *Journal of Experimental Biology*, 205:475-483
- Wingfield JC and Sapolsky RM (2003). Reproduction and resistance to stress: when and how. *J Neuroendocrinol* 15:711-724.
- Bost C.-A. et al. (2007) Changes in dive profiles as an indicator of feeding success in king and Adelie penguins, *Deep-Sea Research*, 54: 248-255.

## **Les conséquences économiques, politiques et sociales des politiques nationales des directives de gestions des ressources halieutiques. Etude comparée de populations littorales islandaises et norvégiennes**

A.GEISTDOERFER<sup>1</sup>, E. MARIAT-ROY<sup>2</sup>

<sup>1</sup>MNHN Hommes, natures, sociétés, MNHN, Paris, 75005, France ([alieteg@mnhn.fr](mailto:alieteg@mnhn.fr))

<sup>2</sup>EHESS Groupe de géographie sociale et d'études urbaines, Paris, 75006/ Hommes, natures, sociétés, MNHN, Paris, 75005, France ([Emilie.Mariat@ehess.fr](mailto:Emilie.Mariat@ehess.fr))

### **Introduction**

Dans le cadre des missions DRISCLA-Nord (Dynamiques, Ressources, Innovations et Stratégies des Communautés Littorales de l'Atlantique nord), nous avons un double objectif : poursuivre nos recherches en Islande (région des Fjords du Nord-Ouest) commencées en 2005 et étendre notre étude à deux localités norvégiennes (région des Lofoten et Finnmark) dont l'économie repose essentiellement sur le secteur des pêches. D'une part, nous retournerons dans les Fjords de l'Ouest islandais afin d'établir un état des lieux de *processus* dont nous avons décrit l'évolution. D'autre part, nous *inventorierons* et *analyserons* le mode de vie de deux populations littorales norvégiennes qui tentent de s'organiser pour maintenir des activités de pêche dans des contextes socioéconomiques différenciés (région des Lofoten et Finnmark). A travers ce nouveau projet, nous souhaitons respecter le protocole d'étude sur le *long terme* et entamer un travail de type *comparatif* susceptible de mettre à l'épreuve et d'enrichir notre méthode de recherche, nos outils d'analyse et nos résultats. Nous nous rapprocherons des chercheurs norvégiens en sciences sociales de l'Université de Tromsø qui travaillent actuellement sur des thématiques communes à celles de Driscla-Nord.

### **Observations et résultats**

#### **A- Vers une étude comparée Islande/Norvège**

Nous avons mis au point une méthode d'enquête, des outils d'analyse et produit des résultats susceptibles de constituer un cadre rigoureux pour l'étude d'une aire culturelle nouvelle. Ces terrains nous permettrons d'enrichir et d'affiner nos hypothèses mais aussi de mettre à l'épreuve notre méthode de travail et nos résultats. A ce stade de nos recherches, nous trouvons nécessaire de revenir vers un terrain sur lequel nous nous sommes spécialisés et d'ouvrir la recherche à une aire nouvelle.

Nous poursuivrons un travail de réflexion centré sur la question des pêches *en théorie(s) et en pratique(s)*. Nous étudierons :

1- *les politiques norvégiennes de gestion des ressources marines* dans leur contexte historique et nous serons attentifs *aux échelons* –national, régional ou local- d'instauration de ces politiques. L'originalité administrative territoriale norvégienne sera pour nous le comté ou *fylke* au niveau duquel un ensemble de décisions sont prises.

2- les *relations entre pêche, pêcheurs et institutions* : les acteurs des organes de décision *imposent des mesures et des réglementations* et les pêcheurs *répondent* à ces nouvelles contraintes par un ensemble de *stratégies et de pratiques à identifier*.

3- les *formes originales de mobilisation individuelle et collective à échelle locale et régionale* pour la défense des activités de pêche. Des *réseaux* se constituent, dont nous étudierons la nature et la dynamique.

4- les *pratiques de pêche*. Nous avons mesuré des écarts significatifs entre les effets attendus et des effets réels des mesures gouvernementales. Nous étudierons des *pratiques* et des *discours* à la différence des chercheurs norvégiens qui travaillent essentiellement sur la base de discours. Nous avons observé qu'une politique nationale d'incitation à l'exercice d'une technique particulière avait eu des effets nettement différenciés : dans ce contexte, la pêche à la palangre retiendra toute notre attention. Les pratiques de pêche présentent une *variabilité spatiale* et une *mutabilité dans le temps* dont nous ferons l'inventaire et dont nous analyserons les dynamiques.

#### **B- Vers une coopération avec les centres de recherches en sciences sociales norvégiens**

Le travail poursuivi en Norvège sera assorti d'une étude des travaux consacrés à ces questions et d'un rapprochement avec des chercheurs norvégiens de l'Université de Trømsø avec lesquels nous souhaitons confronter nos méthodes et résultats d'analyse. Ces derniers étudient des phénomènes d'innovation, de construction de réseaux et de formation d'identités locales indépendamment de la question de la pratique même des pêches.

Des possibilités de coopération avec des centres de recherches norvégiens ainsi qu'un rapprochement de programmes existants pourraient voir le jour. Nous sommes en contact avec Einar Eythorsson et Nils Aarsaether, chercheur et directeur du *Department of Planning and Community Studies* de l'université de Tromsø. Nils Aarsaether a dirigé la partie du programme Unesco MOST (Management of Social Transformations) consacrée aux zones circumpolaires (CCPP Circumpolar Coping Processes Project).

#### **Conclusion**

Notre contribution à ces projets de recherche est indéniable car il n'existe pas au sein des recherches CCPP de travaux aussi approfondis sur les politiques des pêches islandaises, unique représentant européen du système des quotas transférables.

La question d'une éventuelle introduction d'un régime de quotas de pêche transférables en France est à l'ordre du jour et il nous paraît de la plus haute importance de disposer, d'enrichir et de diffuser notre savoir sur les modalités d'organisation de ce régime de gestion des ressources marines mais aussi sur les modes d'appropriation de ces politiques par les professionnels des pêches.

## **L'observation du rayonnement cosmique avec les moniteurs à neutrons – les instruments français de Terre Adélie et des Iles Kerguelen et leur utilisation scientifique**

S. Masson, N. Fuller, K.-L. Klein

Observatoire de Paris, LESIA – CNRS UMR 8109, 92195 Meudon

**Résumé** La Terre est bombardé en permanence par des particules de haute énergie venant de l'Univers, le 'rayonnement cosmique'. Leur interaction avec l'atmosphère terrestre crée des particules secondaires que l'on peut détecter et mesurer au sol de la Terre. L'IPEV opère deux détecteurs spécifiques, appelés moniteurs à neutrons, à Terre Adélie et aux Iles Kerguelen, dont l'Observatoire de Paris/LESIA assure la responsabilité scientifique. Nous esquisserons le principe de fonctionnement de ces instruments et l'intérêt d'un site en Antarctique pour le réseau mondial des moniteurs à neutrons. Puis nous illustrerons deux domaines d'application des mesures : la recherche fondamentale sur l'origine des bouffées de particules de haute énergie venant du Soleil et la surveillance des doses d'irradiation reçues par les équipages de l'aviation civile.

## **Introduction**

La Terre est la cible permanente de particules de haute énergie d'origine galactique et extra-galactique. Cependant, le Soleil est lui aussi un accélérateur de particules et parfois, lors de certaines grandes éruptions et d'éjections coronales de masse, des particules dont la vitesse avoisine celle de la lumière sont injectées dans le milieu interplanétaire et sont interceptées par la Terre. Ce type d'évènement transitoire est appelé GLE (Ground level enhancement). L'étude et la compréhension des mécanismes d'accélération et de propagation de ces particules énergétiques sont donc indispensables tant pour la prédiction des rayonnements ionisants que pour la recherche fondamentale sur l'accélération des particules en astrophysique.

## **Comment détecter les particules relativistes ?**

Ces particules relativistes de toutes origines produisent des particules secondaires lorsqu'elles heurtent les atomes de l'atmosphère terrestre. Si l'énergie de la particule primaire est suffisante, les secondaires peuvent atteindre le sol et être ainsi détectées. Pour cela, les moniteurs à neutrons permettent de mesurer les rayons cosmiques en détectant les neutrons secondaires produits dans le plomb entourant le détecteur. Pour y parvenir, la particule primaire doit avoir une énergie d'au moins 450 MeV près des pôles et de plusieurs GeV près de l'équateur pour pouvoir traverser la barrière géomagnétique. En effet, plus le champ magnétique terrestre est intense et plus il repousse les particules de plus en plus énergétiques. Le champ magnétique terrestre s'intensifiant des pôles vers l'équateur, les moniteurs à neutrons situés en différents points sur Terre ne possèdent pas le même seuil de détection. La combinaison des données de plusieurs moniteurs à différentes positions sur la Terre permet de déterminer le spectre en énergie, et également de remonter aux caractéristiques physiques du faisceau incident en haut de la magnétosphère comme sa direction d'arrivée et sa distribution angulaire. L'IPEV opère deux moniteurs à neutrons, à Terre Adélie et aux îles Kerguelen.

## **Les applications : recherche fondamentale et météorologie de l'espace.**

L'utilisation des données de moniteurs à neutrons est double. Tout d'abord, nous cherchons à comprendre l'accélération des particules à haute énergie au Soleil et leur propagation dans le milieu interplanétaire. Les observations solaires relativement complètes dont on dispose nous permettent ainsi de mener des études comparatives entre les éruptions et éjections de masse (lumière visible, Ultra Violet extrême), le rayonnement de particules énergétiques dans l'atmosphère solaire (rayonnement X et radio) et les signatures de particules énergétiques détectées par les moniteurs. Par exemple, pour la GLE du 20 Janvier 2005, nous avons comparé l'évolution temporelle et la localisation des phénomènes observés lors de cet évènement, ce qui nous a permis de tirer des conclusions sur les mécanismes d'accélération et la propagation des particules au Soleil et de leur propagation jusqu'à la Terre.

De plus, les particules énergétiques du Soleil constituent une source d'irradiation pour l'équipement spatial et les équipages d'aviation. Etant moins protégés par l'atmosphère, le personnel navigant reçoit le double de la dose biologique de radiation au sol. Dans le cadre du système SIEVERT, développé par la Direction Générale de l'Aviation Civile (DGAC), l'institut de radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN) et l'Observatoire de Paris, nous utilisons les moniteurs à neutrons de Kerguelen et Terre Adélie pour la surveillance des flux des rayonnements cosmiques galactique et solaire. Pour atteindre nos objectifs, nous avons besoin d'une surveillance continue du rayonnement afin de pouvoir quantifier les doses reçues.

**REMERCIEMENTS.** LES TRAVAUX PRESENTES ICI SONT BASES POUR UNE GRANDE PARTIE SUR LE RESEAU MONDIAL DES MONITEURS A NEUTRONS. LES MONITEURS DE TERRE ADELIE ET DES ILES KERGUELEN SONT OPERES PAR L'IPEV. LA RECHERCHE DE THESE DE SM EST FINANCEE PAR UNE BOURSE DE LA DGA. LA RECHERCHE PRESENTEE BENEFICIE D'UN SOUTIEN DU PROGRAMME NATIONAL SOLEIL-TERRE DE L'INSU/CNRS.

## **Liens entre variations temporelles des paramètres de forme d'onde altimétrique et amplitude du vent sur la calotte polaire Antarctique**

S. Parouty<sup>1</sup>, B. Legrésy<sup>2</sup>, F. Rémy<sup>2</sup>, P. Lacroix<sup>1</sup>, F. Blarel<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Université de Toulouse; UPS (OMP-PCA); LEGOS; 14 av. Edouard Belin, F-31400 Toulouse, France ([soazig.parouty@legos.obs-mip.fr](mailto:soazig.parouty@legos.obs-mip.fr))

<sup>2</sup>CNRS; LEGOS, F-31400 Toulouse, France

**Résumé** : Les satellites se sont révélés être un outil privilégié pour l'étude des régions polaires pour lesquelles les observations de terrain sont souvent difficiles du fait des conditions climatiques et géographiques. L'altimétrie ouvre par exemple des perspectives pour estimer avec une grande précision le bilan de masse des calottes polaires ou de la dynamique de la glace (voir Rémy et al. dans ce numéro), la principale difficulté venant de la méconnaissance des mécanismes de réflexion et de propagation des ondes altimétriques dans le manteau neigeux des calottes. Nous exploitons les séries temporelles des données altimétriques du radar bi fréquence à bord d'ENVISAT sur la calotte polaire Antarctique afin de mieux comprendre comment ces données varient en fonction de l'état du manteau neigeux, qui évolue lui-même en fonction des conditions météorologiques. La compréhension de ces mécanismes permettrait d'une part de mieux corriger les mesures dans le but d'estimer le bilan de masse de la calotte et d'autre part de pouvoir déduire des informations météorologiques sur l'ensemble de la calotte. Nous nous intéressons particulièrement aux vents qui modifient la rugosité de la surface, paramètre auquel l'onde altimétrique est très sensible. Nous essayons ainsi de reconstituer les variations d'intensité de vents à partir des propriétés du signal altimétrique enregistrées. Les informations météorologiques que nous utilisons sont les réanalyses du modèle atmosphérique global NCEP-NCAR.

### **Introduction**

L'écho altimétrique est caractérisé par trois paramètres (la largeur du front de montée, la pente du flanc descendant et la puissance rétro diffusée) de forme d'onde (Legrésy et al., 1997) qui servent à déterminer la mesure de hauteur de la surface, que l'on prend comme quatrième paramètre. Ces paramètres évoluent en fonction des propriétés du manteau neigeux (Lacroix, 2007) telles que la taille des grains, la rugosité, la stratification, la température, la densité... Par ailleurs, l'altimètre d'Envisat émet dans deux bandes de fréquences (Ku et S) dont le comportement électro-magnétique est différent ce qui fournit plus de contrainte pour la restitution des paramètres de surface.

Ce sont les conditions météorologiques qui contrôlent les caractéristiques de la surface. Ainsi, par exemple, les vents vont agir sur la rugosité, les changements de température vont être à l'origine des mécanismes de compaction, ou encore de la fréquence des précipitations neigeuses va dépendre la taille des grains.

Nous cherchons à comprendre comment les forçages météorologiques affectent les paramètres de forme d'onde altimétrique via les propriétés de surface, et notamment quelle est la part de variabilité des paramètres de forme d'onde attribuables aux vents et aux changements de température.

### **Observations et résultats**

#### ***Période d'étude et données utilisées***

Nous nous intéressons à une période de 4 ans, entre janvier 2003 et décembre 2006, pour laquelle nous disposons des paramètres de forme d'onde altimétrique cartographiés sur une grille régulière sur toute la surface de la calotte Antarctique pour chacun des cycles ENVISAT. Les données altimétriques ont ainsi une résolution temporelle de 35 jours et une résolution spatiale de quelques kilomètres alors que la résolution temporelle des réanalyses NCEP est de 35 jours pour une résolution spatiale pouvant atteindre plusieurs centaines de kilomètres sur les bords de la calotte. Nous avons dans un premier temps lissé spatialement les données altimétriques afin de ne pouvoir observer que les variations spatiales à relativement grande échelle (de l'ordre de 150km ou plus). Ensuite, nous avons effectué un lissage temporel des réanalyses afin d'éliminer les variations inférieures à 35 jours, non observables dans les données altimétriques.

### ***Sensibilité théorique de l'écho altimétrique aux propriétés du manteau neigeux***

Lacroix et al. (2007) a montré à l'aide d'un modèle électromagnétique comment l'écho altimétrique variait en fonction des propriétés de la surface du manteau neigeux, en utilisant des propriétés de surface variant dans une certaine gamme en accord avec des valeurs *in situ* observées sur différents sites. Il a également mis en évidence les différences de sensibilité entre différentes fréquences, puisque les surfaces paraissent toujours plus lisses à grande longueur d'onde.

Lorsque le manteau est très stratifié, la largeur du front de montée (LeW) est grande, et sa valeur chute dès que la hauteur des strates augmente (ce qui est le cas sur les côtes du continent), et reste constante ensuite. Le coefficient de rétrodiffusion (Bs) ainsi que la pente du flanc descendant (TeS) diminuent également significativement lorsque l'épaisseur des strates augmente jusqu'à une valeur seuil au-delà de laquelle les décroissances de TeS et Bs deviennent modérés ou faibles.

Seules les plus faibles longueurs d'onde telle que l'onde Ku (3 cm) sont sensibles à la taille des grains de neige. Les paramètres de forme d'onde modélisés en bande S (12 cm) n'ont en effet montré aucune dépendance à ce paramètre de surface puisque l'onde pénètre plus profondément et les grains paraissent toujours trop petits pour entraîner une diffusion significative. Le coefficient de rétrodiffusion en bande Ku augmente avec la taille des grains, alors que si la pente du flanc descendant et la largeur du front de montée augmentent également lorsque les très petits grains grossissent, ces deux paramètres de forme d'onde vont finir par diminuer une fois que les grains auront atteint une certaine taille et continueront à grossir.

Lacroix (2007) montre également que seul le signal en bande Ku montre une faible sensibilité à la température et qu'une augmentation de la température entraîne une diminution des trois paramètres. Cependant, cette simulation prend en compte des changements de température pour des caractéristiques de surface constantes, alors que les modifications de température entraînent sur le terrain des effets de compaction ou d'évolution de taille des grains.

La densification du manteau sous l'effet des changements de température ou par tassement entraîne quant à elle une augmentation du coefficient de rétrodiffusion ainsi qu'une diminution de la pente du front de montée et du flanc descendant.

Enfin, l'augmentation de la rugosité fera diminuer le coefficient de rétrodiffusion, et généralement augmenter la pente du flanc descendant ainsi que la largeur du front de montée, sauf si les grains de neige sont gros.

### ***Sensibilité empirique du vent sur les paramètres de forme d'onde***

Le modèle électromagnétique de Lacroix et al. (2008) permet de modéliser les liens entre variations des paramètres de forme d'onde et caractéristiques de la surface. Il reste néanmoins à comprendre comment les variables météorologiques comme le vent ou les précipitations perturbent l'état de la surface pour en déduire l'action du forçage météorologique sur les paramètres de forme d'onde.

Nous avons, à partir des variations des différents paramètres de forme d'onde, empiriquement reconstitué les variations d'amplitude de vent en tout point de la calotte. Les relations obtenues constituent une étape pour la compréhension des mécanismes liant variations de paramètres de forme d'onde, changements d'état de la surface et variations de vent. En effet, ces relations empiriques varient en fonction des différentes régions de la calotte, montrant qu'il existe différents forçages sur la calotte Antarctique.

L'étude de la pertinence du vent simulé en fonction du temps montre que les valeurs obtenues sont meilleures pendant l'hiver austral que pendant l'été. Cette saisonnalité suggère qu'un mécanisme autre que le vent influence les paramètres de forme d'onde de manière saisonnière. La température constitue un candidat potentiel, et nous avons amélioré nos résultats en introduisant dans nos calculs d'ajustement les variations de température issues des réanalyses NCEP.

Nous nous sommes également intéressés à la part d'information sur le forçage météorologique apportée par la bi fréquence, et avons évalué si elle était complémentaire ou non d'un paramètre de surface mesurable comme la température.

## Discussion et conclusion

Les paramètres de forme d'onde altimétrique contiennent de l'information concernant l'état de la surface neigeuse en Antarctique. Cet état évolue en fonction des conditions météorologiques, et il semble alors possible de comprendre les liens entre forçage météorologique et évolution des paramètres de forme d'onde.

Nous arrivons ainsi à reconstituer les variations d'amplitude du vent issu des réanalyses NCEP à partir des paramètres de forme d'onde et de la température. Nous avons remarqué que l'utilisation des paramètres de forme d'onde de la seule bande Ku n'était pas suffisant pour la reconstitution des variations d'amplitude du vent (avec un écart type de la différence entre vent des réanalyses et vent reconstitué de 2.2 m/s en moyenne sur la calotte) notamment du fait de variations saisonnières de la qualité de la reconstitution, meilleure en hiver austral qu'en été. L'utilisation des données altimétriques de deux longueurs d'onde permet d'améliorer les performances de l'ajustement (l'écart type de la différence atteint alors 0.9 m/s en moyenne), et atténue le caractère saisonnier de la performance de l'ajustement, sans le faire disparaître. Cette saisonnalité peut s'expliquer par une variation dans les caractéristiques des vents qui pourraient affecter différemment la surface en hiver ou en été, ou être plus difficiles à modéliser en été. Elle peut également provenir d'un mécanisme autre que le vent affectant la surface, et que l'utilisation de deux fréquences ne permet pas de discriminer. Le vent agit essentiellement sur la rugosité et la taille des grains de neige (en favorisant leur agglomération ou au contraire en les cassant), et nos ajustements ont alors pour objectif d'isoler la part de variation des paramètres de forme d'onde liée à ces modifications de surface. Ainsi l'évolution de la taille des grains non attribuable aux vents, de la compaction, de la hauteur des strates induisent des variations dans le signal altimétrique dont on cherche à s'affranchir. Or ces paramètres sont en partie contrôlés par les changements de température, et nous avons par conséquent introduit les variations de température (issues des réanalyses NCEP) dans nos calculs d'ajustements afin de différencier les variations des paramètres de forme d'onde attribuables aux changements d'état de la surface sous l'effet de la température. Les résultats sont satisfaisants puisque l'écart type de la différence entre le vent simulé et le vent NCEP dans ces conditions atteint 0.6m/s (lorsque l'on utilise les paramètres de forme d'onde en bande Ku et la température), ou 0.4m/s (avec les paramètres de forme d'onde en bande Ku et en bande S ainsi que la température) et le caractère saisonnier de la qualité de l'ajustement disparaît.

Il reste néanmoins à mieux étudier les relations empiriques obtenues afin de comprendre les contributions des différentes variables météorologiques affectant la surface dans les variations du signal altimétrique. Il convient également de mieux comprendre les spécificités locales de ces relations empiriques, qui peuvent être liées à des conditions météorologiques différentes. On sait par exemple que la stratification dépend des taux d'accumulation, et qu'elle est très variable (par exemple Frezzotti et al., 2007). L'enjeu est double puisque l'on espère pouvoir d'une part déduire des informations météorologiques à partir des données altimétriques et d'autre part mieux estimer la hauteur de la surface de la calotte Antarctique pour en déterminer son bilan de masse.

**Remerciements:** Les réanalyses NCEP sont fournies par NOAA/OAR/ESRL PSD, Boulder, Colorado, USA, et sont téléchargeables depuis leur site web <http://www.cdc.noaa.gov/>

## Références

- Frezzotti M., S.Urbini, M.Proposito, C.Sarchilli, S.Gandolfi (2007), Spatial and temporal variability of surface mass balance near Talos Dome, East Antarctica. *J. Geophys. Res.*, Vol 112, F02032, doi :10.1029/2003JF000638
- Kalnay et al., The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 77, 437-470, 1996.
- Lacroix P. (2007) Apport de l'altimétrie radar spatiale à l'étude de la neige de la calotte polaire Antarctique, Thèse, Université Paul Sabatier Toulouse III, 147 p.
- Lacroix P., M.Dechambre, B.Legrésy, F.Blarel, F.Rémy (2008), On the use of the dual-frequency altimeter of ENVISAT to determine snowpack properties of the Antarctic ice-sheet, *Remote Sensing of Environment*, doi:10.1016/j.rse.2007.08.022
- Legrésy B., F.Rémy (1997), Altimetric observations of surface characteristics of the Antarctic ice sheet, *J. of Glacio*, Vol.43, No.144
- Rémy F., B.Legrésy et E.Berthier (2008) Topographie des calottes et des glaciers polaires vue de l'espace, ce numéro.

## Topographie des calottes et des glaciers polaires par satellite

F. Rémy<sup>1</sup>, B.Legrésy<sup>1</sup>, E. Berthier<sup>1</sup>

<sup>1</sup> CNRS; LEGOS, Toulouse, France, 14 av. Edouard Belin, F-31400 Toulouse, [remy.omp@free.fr](mailto:remy.omp@free.fr)

**Résumé** La connaissance de la topographie des calottes polaires et des glaciers est capitale pour la compréhension de leur dynamique et l'estimation de leur bilan de masse. Autant l'altimétrie radar a permis la construction de la topographie des calottes polaires avec une bonne précision depuis quelques décennies autant il a fallu attendre pour celle des glaciers plus petits. Nous ferons le bilan de l'altimétrie radar sur les calottes polaires du Groenland et de l'Antarctique et présenterons le projet SPIRIT de l'Année Polaire Internationale proposant la cartographie globale des glaciers et zones marginales des calottes, non accessible par altimétrie classique, grâce au capteur HRS sur SPOT.

### Introduction

La surface des calottes polaires ou des glaciers est une surface libre qui est le résultat de tous les forçages météorologiques et de toutes les contraintes dynamiques. Ainsi, la topographie est le paramètre le plus pertinent pour la compréhension de ces objets. Sa connaissance est capitale pour améliorer notre connaissance de leur dynamique, contraindre les modèles d'évolution de la glace, détecter des zones particulières telles que des lacs sous-glaciaires ou des réseaux hydrologiques présents aussi bien dans les calottes que dans les glaciers. Par ailleurs, le suivi de la topographie et du volume de ces zones peut nous renseigner sur leur bilan de masse et nous indiquer leur état d'équilibre.

L'altimétrie sur les calottes polaires a démarré en 1977 avec le lancement de Seasat, mais il faudra attendre 1991 le lancement d'ERS-1, premier satellite embarquant un altimètre sur une orbite polaire (recouvrant de 82°N à 82°S) pour apprécier la force de cette observation. Cependant, l'altimétrie radar a une empreinte au sol de l'ordre du kilomètre et surtout réagit mal en présence de forte pente si bien que les zones marginales des calottes polaires, ainsi que tous les glaciers ne bénéficient pas de cette technique.

L'interférométrie radar a tenté de pallier cette lacune mais s'accompagne aussi de difficultés. Notamment pour espérer une bonne corrélation sur ces zones, il faut des passages rapprochés ce que n'a permis que la mission tandem entre ERS1 et 2. L'altimétrie laser permet en théorie de s'affranchir des erreurs inhérentes à l'altimétrie conventionnelle sur les continents mais la couverture spatio-temporelle est très faible et insuffisante pour beaucoup d'objectif.

La meilleure façon de cartographier la topographie des petites zones pentues est la stéréoscopie à partir d'un couple d'images visibles, par exemple issues de SPOT. Cette méthode a largement fait ces preuves en permettant par exemple d'estimer les variations de volume des glaciers alpins, (Berthier et al., 2004). Cependant, l'acquisition et le traitement de ces données ne sont pas faciles et nous exposerons un projet simplifiant ces étapes sur l'ensemble des glaciers polaires.

### Observations et résultats

#### *ERS1-2, Envisat*

La mission ERS1 a été mise en orbite dérivante (dite géodésique, sans recouvrement) pendant un an en 1993-94, si bien que la résolution spatiale a atteint 2 kilomètres. Depuis nous disposons d'une topographie d'une précision proche du mètre sur la presque totalité du Groenland et sur plus de 80% de l'Antarctique. Nous avons ainsi pu détecter de nombreuses signatures liées aux conditions limites de l'écoulement ou à la dynamique de la glace. Citons de façon non exhaustive : la présence de lacs sous-glaciaires, celle de réseaux hydrologiques sous-glaciaires reliant les lacs les uns aux autres, celle de bourrelet entourant les signatures en surface des lacs traduisant ainsi l'importance des contraintes longitudinales, l'alternance des chenaux d'écoulement rapides et lents à la côte avec une longueur d'onde de 250 km, l'impact des glaciers émissaires à plusieurs centaines de kilomètres en amont, etc...(Rémy et al.,

1999).

Par ailleurs, ERS-2 puis Envisat, ont été lancés depuis et assurent une couverture temporelle continue et homogène. Nous disposons donc maintenant de 17 ans de mesures continues ce qui permet de commencer à estimer le bilan de masse (Legrésy et al, 2005). Nous montrerons la grande variabilité temporelle de la hauteur de la calotte Antarctique mais aussi le recul de certains glaciers notamment en Antarctique de l'Ouest.

### ***SPIRIT***

Le projet SPIRIT (SPOT 5 stereoscopic survey of Polar Ice: Reference Images and Topographies) est une des contributions françaises à l'année polaire internationale. SPIRIT est un des maillons de l'ambitieux projet international GIIPSY qui vise à coordonner l'action de toutes les différentes agences spatiales internationales pendant la durée de l'année polaire. GIIPSY permettra des observations multiples et complémentaires (grande diversité de capteurs) afin de mieux comprendre le fonctionnement et la dynamique de la cryosphère polaire.

SPIRIT, sous la direction scientifique du Legos, est donc la contribution française à GIIPSY. Ce projet nous offrira la topographie mais aussi les images de référence pour étudier les évolutions passées et futures des glaces polaires en réponse aux fluctuations climatiques. Pour atteindre ces objectifs, un partenariat s'est établi avec SPOT image et le Cnes afin d'assurer l'acquisition de couples stéréoscopiques d'images SPOT5 pendant les deux années de l'année polaire internationale (de mars 2007 à mars 2009). Ces couples d'images seront ensuite traitées à IGN Espace pour en déduire des topographies grâce à des protocoles bien établis.

Nous avons déjà déterminé les zones d'intérêts avec leur ordre de priorité, réalisé les premières validations des produits SPIRIT et démontré les intérêts glaciologiques de ces données (Korona et al., 2008).

Nous montrerons l'exemple du glacier Jakoshavn Isbrae sur la côte Ouest du Groenland dont nous mesurons la perte de masse et avons mise en évidence la vidange d'un lac glaciaire en amont vers l'aval du glacier.

### **Discussion et conclusion**

La topographie des zones polaires est un outil capital autant pour l'étude de la dynamique et la modélisation que pour l'étude de leur réponse à l'altération climatique. Nous sommes en train de constituer une base de données de la topographie des calottes polaires et des glaciers polaires qui permet dès maintenant la description fine de ces zones et permettra dans les années à venir d'appréhender l'état d'équilibre de ces objets, leur perte ou leur gain de masse, notamment en termes de variation du niveau de la mer.

### **Références**

- Berthier, E., Aranud Y., Baratoux D., Vincent C and F. Rémy, 2004, Recent rapid thinning of the "Mer de Glace" glacier derived from satellite optical imagery, *Geophys. Res. Lett.*, 31 (17), L17401.
- Korana, J., Berthier, E., Bernard, M., Rémy, F. And Eric Thouvenot, 2008, SPIRIT: SPOT 5 Stereoscopic Survey of Polar Ice: Reference Images and Topographies during the International Polar Year, sous-presse ISPRS
- Legrésy B., F. Rémy, F. Papa, M. Van den Bossche and O.Z Zanife, 2005, Envisat radar altimeter measurements over continental surfaces and ice caps using the ICE-2 retracking algorithm, *remote sensing of environment*, 95, 150-163.
- Remy F., Shaeffer P. and Benoît Legresy, 1999, Ice flow physical processes derived from ERS-1 high-resolution map of Antarctica and Greenland ice sheet, *Geophys. J. Int.*, 139, 645-656.

## Premières mesures de la composition ionique des aérosols atmosphériques en temps réel à la station Arctique de Ny-Alesund (79°N, Pôle Nord)

J.Sciare<sup>1</sup>, R.Sarda-Esteve<sup>1</sup> et F.Delbard<sup>2</sup>

<sup>1</sup>LSCE/IPSL, Laboratoires des Sciences du climat et de l'environnement, CEA l'Orme des merisiers, Gif sur Yvette, 91191, France (Roland.Sarda-Esteve@lsce.ipsl.fr)

<sup>2</sup>IPEV, Institut Paul Emile Victor, Plouzane, 31000, France

### Résumé

De grandes incertitudes demeurent quand aux propriétés radiatives directes et indirectes <sup>[1]</sup> des aérosols dans l'atmosphère. A ces incertitudes liées à l'impact climatique des particules atmosphériques se rajoute l'impact de leur dépôt sur le manteau neigeux aux moyennes et hautes latitudes (rapport IPCC 2007).

On sait aujourd'hui qu'une part importante des aérosols émis dans l'atmosphère refroidit l'atmosphère terrestre en renvoyant directement les rayons du soleil vers l'espace ou indirectement via les nuages et les brumes. Une part non négligeable des aérosols de combustion (carbone suie) a des effets inverses et provoque un réchauffement de l'atmosphère, modifiant par la même la nature et la structure de certains nuages <sup>[3]</sup>. L'impact du carbone suie en régions polaires se traduira en plus par un dépôt (noir) sur le manteau neigeux qui provoquera un réchauffement (fonte partielle) de celui-ci.

De grandes incertitudes demeurent dans la quantification de ces différents impacts et soulignent la nécessité de mettre en œuvre dès à présent des moyens d'observations adéquats de la nature de ces particules atmosphériques. L'étude des différentes sources (naturelles/anthropiques) d'aérosols en régions polaires sera d'autant plus importante que des changements climatiques majeurs sont attendus sous ces latitudes (zone Arctique). La déconvolution de ces différentes sources nécessite des outils expérimentaux permettant de rendre compte en temps réel de la composition chimique des particules (ions et carbone). Une des spécificités du LSCE est d'avoir développé ce type d'outil permettant de mesurer la composition ionique des aérosols suivant deux classes de taille avec une résolution temporelle de 10 minutes.

Dans le cadre du programme IPEV - AEROBIPOLAR, en juin 2008, le LSCE a mis en œuvre une campagne de mesure à la station de Ny-Alesund (région Arctique 79°N, Norvège) pour évaluer les concentrations et la composition des particules fines et ultra-fines en région marine Arctique. Les premiers résultats obtenus montrent une grande variabilité des sources de particules (sources biogéniques / anthropiques d'aérosols soufrés) et mettent en évidence des processus de production distincts.

### Introduction

Il existe dans l'atmosphère des particules microscopiques en suspension dans l'air, que l'on appelle: **les aérosols**. Ils peuvent avoir une origine naturelle ou anthropique. Ils sont émis directement par les sources (particules primaires) ou formés dans l'atmosphère à partir de précurseurs gazeux (aérosols secondaires). Les aérosols atmosphériques proviennent des éruptions volcaniques, de la dégradation des algues marines mais aussi des processus de combustion comme les activités industrielles ou les feux de forêts. Ils ont un impact sanitaire <sup>[2]</sup> et jouent un rôle important dans la machine climatique car interviennent dans le calcul du forçage radiatif <sup>[1]</sup>. Avant l'industrialisation les aérosols soufrés (souvent appelés les sulfates,  $\text{SO}_4^-$ ) étaient uniquement formés de façon naturelle, principalement par les océans et les volcans. Aujourd'hui, les activités humaines et plus particulièrement les activités à base de combustion, ont perturbées cet équilibre et produisent une grande quantité d'aérosols soufrés et de suies. Pour documenter l'impact des émissions anthropiques et ses effets sur le réchauffement climatique global il est nécessaire de procéder à des mesures rapides de la composition chimique des aérosols étant donné la grande variabilité des sources en présence <sup>[1]</sup>.

### Observations et résultats

En juin 2008 nous avons réalisé une campagne de mesures intensive de la composition chimique des aérosols atmosphériques à la station de Ny-Alesund (78° 55' N, 11° 56) dans le cadre du programme IPEV AEROBIPOLAR. L'étude a porté plus particulièrement sur la mesure à haute résolution temporelle des aérosols soufrés. L'intérêt d'effectuer des mesures dans ces régions est illustrée par la figure 1 car c'est au niveau des régions polaires que les émissions de soufre biogénique sont les plus importantes. Elles peuvent représenter jusqu'à 100% des émissions

globales.

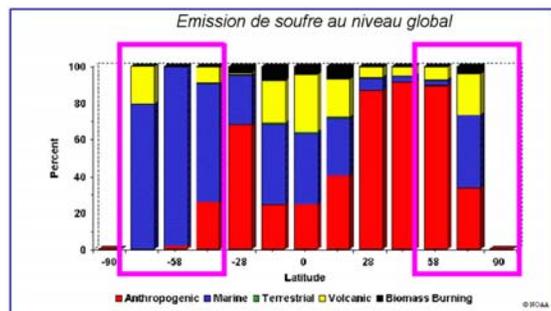


Figure1 Emission globales de soufre en fonction de la latitude

On sait que les sulfates sont d'excellents candidats pour agir comme noyaux de condensation nuageux (CCN) [1,3]. La figure 2 montre la relation qui existe entre les mesures de sulfure de diméthyle (DMS), principal pressueur gazeux des sulfates biogéniques et le nombre de CCN. On remarque que ces deux paramètres sont fortement interdépendants aux hautes et basses latitudes et correspondent aux régions polaires.

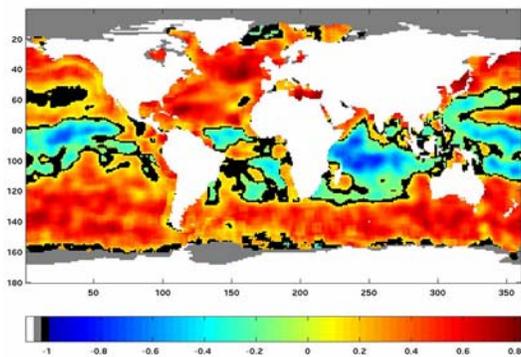


Figure2 Indice de corrélation entre DMS et CCN

Pour pouvoir évaluer cette production biogénique aux pôles et plus encore en arctique, il est indispensable de procéder à des mesures rapides de la composition chimique des aérosols. Dans cette région, on est en présence d'un mélange de sources complexes (biogéniques et anthropiques). C'est pourquoi l'instrumentation déployée doit permettre une caractérisation physico-chimique complète des aérosols. Pour répondre à cela nous avons développé au LSCE une chaîne analytique unique qui permet de réaliser une mesure rapide et par classe de taille des ions majeurs et plus particulièrement des ions chlorures ( $Cl^-$ ) et des ions sulfates ( $SO_4^{2-}$ ). Elle consiste au couplage d'un collecteur d'aérosols [4] (Particle Into Liquid Sampler, PILS), d'une chromatographie ionique de terrain (Ion chromatography, IC) et des vannes électriques automatisées équipées d'un impacteur en cascade. L'ensemble est illustré par la figure 3.



Figure3 Chaîne analytique développée au LSCE pour la mesure rapide des aérosols suivant deux classes de taille

## Discussion et conclusion

La figure 4 montre les premières mesures rapides de sulfates réalisées à la station de Ny-Alesund (78° 55' N, 11° 56) dans le cadre du programme IPEV AEROBIPOLAR. On remarque d'une part une grande variabilité de la concentration en ions sulfates d'un jour à l'autre mais également des concentrations jusqu'à 3 fois supérieures dans le mode fin (courbe rouge) par rapport au mode ultrafin (courbe noire). Cette disparité témoigne de processus de production différents en ce qui concerne les sulfates.

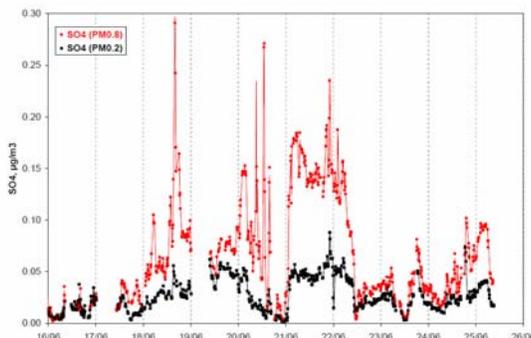


Figure4 Concentration en ion sulfates suivant le mode fin (0.8 µm) et le mode Ultra fin (0.2µm)

Les premières mesures rapides de la composition chimique des aérosols atmosphériques à la station de Ny-Alesund (78° 55' N, 11° 56) dans le cadre du programme IPEV AEROBIPOLAR ont révélées la complexité des processus de production d'aérosols soufrés dans cette région. Les méthodes de mesures intégratrices utilisées jusqu'à présent, comme les mesures sur filtres, ne permettent pas de rendre compte des processus de transformations qui se déroulent dans cette région. Les changements de sources varient rapidement (moins de 48 heures voir figure 4). Il est donc nécessaire de poursuivre cet effort de mesures rapides afin de documenter l'impact des activités humaines dans ces régions.

## Références

- [1] Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC, (2007), [www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch)
- [2] Dockery D.W and Stone P.H., (2007) Cardiovascular Risk from Fine Particulate air pollution NEJM, 356, 511-513
- [3] Kaufman Y.J., D. Tanré, O. Boucher, (2002), A satellite view of aerosols in the climate system, Nature, 419, 215-223
- [4] Orsini D A., Y. Ma, A.P. Sullivan, B. Sierau, K.Baumann, R.J Weber, Refinements of the Particle-Into-Liquid Sampler (PILS) for ground and airborne measurements of water soluble aerosol composition. Atmos. Environ. 37 (2003) 1243-1259

## Control hormonal de l'abandon du nid chez le manchot Adélie

M. Spée<sup>1</sup>, M. Beaulieu<sup>1</sup>, A. Dervaux<sup>1</sup>, O. Chastel<sup>2</sup>, Y. Le Maho<sup>1</sup>, T. Raclot<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institut Pluridisciplinaire Hubert Curien – Département d'Ecologie, Physiologie et Ethologie, UMR 7178 CNRS/ULP, Strasbourg, 67087, France ([marion.spee@c-strasbourg.fr](mailto:marion.spee@c-strasbourg.fr); [thierry.raclot@c-strasbourg.fr](mailto:thierry.raclot@c-strasbourg.fr))

<sup>2</sup>Centre d'Etudes Biologiques de Chizé, Villiers en Bois, 79360, France

### Introduction

Le jeûne à long terme pendant la reproduction est une caractéristique importante du cycle annuel des manchots Adélie. Trois phases métaboliques se produisent successivement pendant le jeûne prolongé : la phase I est une brève période d'adaptation, la phase II est associée à l'utilisation des lipides et la phase III est caractérisée par une élévation de l'utilisation des protéines corporelles. Cette fin de jeûne est également associée à une augmentation d'activité locomotrice. Le compromis entre l'effort de reproduction et la survie de l'adulte chez les oiseaux est modulé par plusieurs facteurs. La corticostérone et la prolactine ont des effets opposés sur le comportement reproducteur en stimulant le comportement de recherche alimentaire et les soins parentaux, respectivement. Chez les oiseaux jeûnant spontanément tels que les manchots, au-dessous d'un seuil de masse corporelle correspondant à la transition phase II - phase III, un changement métabolique et hormonal se produit et le comportement de recherche alimentaire est stimulé.

Cette étude porte sur la compréhension des processus impliqués dans la stimulation de la recherche alimentaire (« signal de réalimentation ») qui ont été suggérés comme fonctionnels en dessous d'un seuil de masse corporelle ou d'un statut métabolique critique chez des oiseaux jeûnant spontanément. De plus, ce travail examine dans quelle mesure une élévation de corticostérone plasmatique et/ou une diminution de prolactine pourraient être des composants de ce signal.

### Méthodes

Dans un intervalle de 5-6 à 3,5 kg, nous avons étudié les changements de vitesse de perte de masse, des concentrations plasmatiques de métabolites et d'hormones, de l'activité locomotrice ou du comportement d'incubation chez des manchots Adélie captifs en échec de reproduction et sauvages lors de l'incubation.

### Résultats

La masse corporelle des manchots est approximativement de 5-6 kg au début du jeûne de reproduction, et elle a diminué ensuite jusqu'à atteindre environ 3,7-3,5 kg chez les oiseaux les plus maigres à la transition PII-PIII. La majeure partie du jeûne (phase II) a été caractérisée par le maintien d'un niveau très bas d'activité locomotrice, par une vitesse de perte de masse corporelle quasi-constante, et par des niveaux plasmatiques réguliers d'acide urique, de  $\beta$ -hydroxybutyrate, de prolactine et de corticostérone. En dessous d'une masse corporelle d'environ 3,5 kg (entrée en phase III), l'activité locomotrice spontanée a augmenté de 2 à 5 fois. Ceci reflète probablement une augmentation de la motivation à se réalimenter. Simultanément, la perte de masse quotidienne et les niveaux plasmatiques d'acide urique et de corticostérone ont augmenté, tandis que les niveaux plasmatiques de  $\beta$ -hydroxybutyrate et de prolactine ont diminué.

En dépit de leur entrée en PIII du jeûne et ainsi pour une concentration plasmatique élevée de corticostérone, les oiseaux jeûnant spontanément en cours de reproduction avec des niveaux plasmatiques élevés de prolactine n'ont pas abandonné l'incubation, ce qui n'est pas le cas des oiseaux avec une faible prolactinémie.

### Conclusion

Ces données prouvent que l'abandon du nid n'est pas déclenché par l'élévation seule de la corticostérone plasmatique mais nécessite également concomitamment des niveaux bas de prolactine. Il est proposé qu'une diminution de prolactine liée à un épuisement marqué des réserves corporelles puisse participer à l'ajustement à long terme du comportement d'incubation chez les manchots Adélie.

## **Implication de la corticostérone dans l'induction du signal de réalimentation: approche expérimentale chez le manchot Adélie**

M. Spée, L. Marchal, A.M. Thierry, D. Lazin, M. Beaulieu, Y. Le Maho, T. Raclot

Institut Pluridisciplinaire Hubert Curien – Département d'Ecologie, Physiologie et Ethologie, UMR 7178 CNRS/ULP, Strasbourg, 67087, France. ([marion.spee@c-strasbourg.fr](mailto:marion.spee@c-strasbourg.fr); [thierry.raclot@c-strasbourg.fr](mailto:thierry.raclot@c-strasbourg.fr))

### **Introduction**

Lors de leur reproduction, les manchots Adélie jeûnent spontanément et peuvent être amenés à abandonner leur nid pour se réalimenter. Le jeûne prolongé comprend trois phases : la phase I d'adaptation, la phase II (PII) d'utilisation des lipides et la phase III (PIII) caractérisée par une augmentation de la protéolyse, de la corticostéronémie et concomitamment de l'activité locomotrice. Cette dernière phase est dite critique mais est cependant réversible par la réalimentation. Il existe en effet un « signal de réalimentation » qui inciterait l'oiseau à entreprendre une activité de recherche alimentaire pour assurer sa survie, et ce, aux dépens de la reproduction en cours. La corticostérone est connue pour stimuler l'activité locomotrice et la recherche alimentaire. De ce fait, cette hormone pourrait avoir un rôle clé en fin de jeûne prolongé dans l'induction du signal de réalimentation et par voie de conséquence dans l'expression du comportement de désertion spontanée observé chez des oiseaux couveurs.

Le but de cette étude est de déterminer dans quelle mesure la corticostérone est impliquée dans les différentes modifications métaboliques et comportementales survenant lors de la phase III du jeûne et conduisant à l'abandon de la reproduction.

### **Méthodes**

Des manchots Adélie mâles en échec de reproduction sont maintenus en captivité et implantés avec 0, 10, 50, 100 ou 200 mg de corticostérone (témoins, C10, C50, C100, C200). Les implantations de corticostérone (diffusant sur 21 jours) ont été effectuées chez des animaux en PII du jeûne prolongé afin d'éviter tout effet cumulé du traitement avec l'atteinte de la masse critique inférieure. Des pesées, des prises de sang et des relevés de l'activité locomotrice ont été effectués régulièrement en PII, fin de PII et en PIII. Chez des animaux sauvages mâles en cours de reproduction, les pesées, les prises de sang et les implants (C10 ou C100) ont été effectués avant la ponte et au moment du départ en mer (relève ou abandon).

### **Résultats**

Chez les individus témoins captifs, la corticostérone et l'activité locomotrice augmentent significativement d'un facteur 2 à 3 lors de la PIII. Pour les paramètres mesurés (hormones, métabolites, activité locomotrice), les effets des traitements étaient proches de la réponse maximale entre le 2<sup>ème</sup> et le 4<sup>ème</sup> jour. A l'exception des C200, l'implantation de corticostérone induit une augmentation de l'activité locomotrice de façon dose dépendante ; celle-ci atteignant des valeurs similaires à la PIII chez les C100 (induction d'un facteur proche de 2,5).

Chez les animaux sauvages, le pourcentage d'abandons de la reproduction est de 70% chez les C100 contre 7% chez les témoins, et ce pour une masse corporelle moyenne de 4,2 kg nettement supérieure à la masse d'entrée en PIII. Contrairement à l'effet rapide du traitement obtenu chez les captifs, l'abandon provoqué suite à l'implantation (C100) se produit après 14 jours en moyenne, indiquant un effet différé (indirect). Parmi les manchots n'ayant pas abandonné, les modifications hormonales ne semblent pas ou peu avoir d'influence sur la durée des voyages alimentaires ni sur le succès reproducteur.

### **Conclusion**

Cette approche expérimentale montre que la corticostérone mime les modifications caractéristiques de la PIII et joue un rôle prépondérant dans l'induction du signal de réalimentation. Cependant, d'autres facteurs semblent également impliqués et il conviendrait de les identifier et d'en préciser le rôle dans le cadre de futurs travaux.

## Interactions des pêcheries à la légine avec les orques et les cachalots dans la Zone Economique Exclusive de l'Archipel de Crozet

Paul Tixier<sup>1</sup>, Christophe Guinet<sup>1</sup>, Nicolas Gasco<sup>2</sup>, Guy Duhamel<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Centre d'Etudes Biologiques de Chizé, CNRS, UPR 1934, Villiers-en-Bois, 79360, France ([tixier@cebc.cnrs.fr](mailto:tixier@cebc.cnrs.fr); [guinet@cebc.cnrs.fr](mailto:guinet@cebc.cnrs.fr))

<sup>2</sup> MNHN, Paris, 75005, France ([gasco@hotmail.com](mailto:gasco@hotmail.com); [duhamel@mnhn.fr](mailto:duhamel@mnhn.fr))

**Résumé.** L'analyse de données de pêche collectées sur les palangriers industriels ciblant la légine australe (*Dissostichus eleginoides*) dans la ZEE de l'Archipel de Crozet révèle que les orques (*Orcinus orca*) et les cachalots (*Physeter macrocephalus*) ont interagi avec 71,6% des 2888 lignes mises à l'eau entre 2003 et 2007. La comparaison des rendements de pêche en présence et en absence de cétacés a abouti à des estimations de taux de déprédation de 13,5% par les orques seules, 3,7% par les cachalots seuls et 16% par les deux espèces associées. Un travail de photo-identification sur les orques de l'Archipel de Crozet entre 1977 et 2007 a permis d'évaluer la dynamique de cette population. Des modèles de capture-marquage-recapture indiquent une diminution continue de la survie apparente des individus entre 1977 et 2007, ainsi qu'un effet marqué des interactions avec des palangriers illégaux entre 1996 et 2000 accentuant le déclin général. La taille de la population est estimée à seulement 69 individus en 2007, ce qui soulève un important problème de conservation.

### Introduction.

Des interactions entre mammifères marins et pêcheries sont répertoriées dans plusieurs régions du monde (Northridge & Hofman, 1999). La déprédation est un type d'interaction directe qui se définit comme le prélèvement de poissons sur les lignes ou dans les filets par les mammifères marins (Fertl, 2002). Aujourd'hui, le phénomène touche plusieurs types de pêcheries dont les principales sont les pêcheries à la palangre et au filet artisanal (Yano & Dalheim, 1995). Dans la Zone Economique Exclusive (ZEE) de l'Archipel de Crozet, les pêcheries à la légine australe (*Dissostichus eligenoides*), poisson bathypélagique vivant à des profondeurs comprises entre 800 et 1500m, voient leurs palangres démersales touchées par la déprédation de deux espèces de cétacés : les orques *Orcinus orca* et les cachalots *Physeter macrocephalus*. Ces pêcheries sont caractérisées par un déclin marqué du rendement depuis leur commencement au milieu des années 1990. La surexploitation des stocks par de nombreux palangriers illégaux opérant dans la ZEE entre 1996 et 2000 pourrait en être la cause principale (Duhamel, comm. pers.). Le phénomène de déprédation, documenté dès l'arrivée des premiers palangriers, peut être un facteur participant à cette tendance.

La démographie de la population d'orques de Crozet est suivie depuis la fin des années 1980. Dans une étude récente, Poncelet *et al.* (2008) décrivent une forte diminution de l'abondance des individus entre 1988 et 2002, ainsi qu'un très faible taux de fécondité. Parmi les causes responsables de ce déclin avancées par les auteurs, il y a la possible interaction entre les orques et les palangriers illégaux, ces derniers étant suspectés d'avoir directement éliminé un certain nombre d'individus interagissant avec eux.

L'objectif de cette étude sur les interactions des pêcheries à la légine avec les orques et les cachalots est double. Nous nous intéressons d'une part à l'aspect socio-économique en quantifiant les pertes dues à la déprédation, et d'autre part, à l'aspect conservation-démographie de la population d'orques en évaluant l'impact qu'a eu le braconnage à la légine sur la survie des individus.

### Observation et résultats.

#### *Quantification des pertes dues à la déprédation*

Entre Juillet 2003 et Juillet 2007, un total de 2888 évènements de pêche ont été réalisés dans la ZEE de l'Archipel de Crozet. L'effort est exprimé en nombre d'hameçons par ligne sachant qu'en moyenne, les palangriers mettent à l'eau  $7253 \pm 2917$  hameçons par ligne ( $n=2888$ ). Ceci constitue des lignes de  $9,3 \pm 3,4$  km de longueur ( $n=2888$ ). Les orques ont interagi avec un total de 41,9% des lignes, les cachalots avec 55,8% et les deux espèces ont interagi ensemble avec 26,1% des lignes.

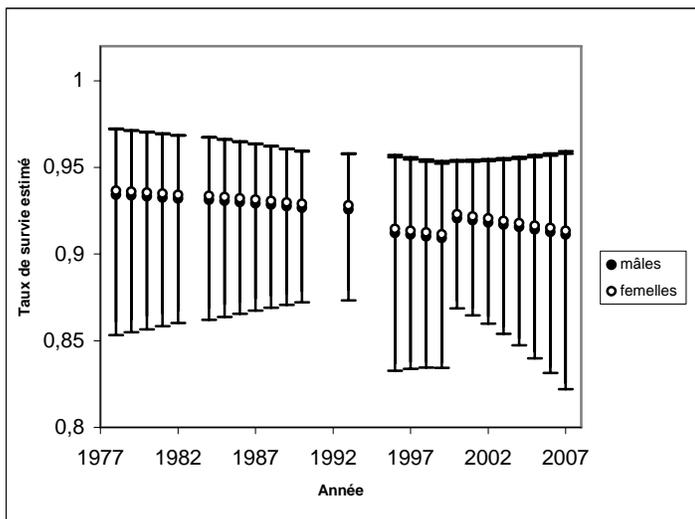
Un effet significatif de la présence de cétacés sur le rendement (biomasse pêchée par unité d'effort) a été détecté. L'effet est négatif pour les trois cas de figure, à savoir les orques seules ( $t = -255$  ;  $p < 0,001$ ), les cachalots seuls ( $t = -12,3$  ;  $p < 0,001$ ), les deux espèces associées ( $t = -76,19$  ;  $p < 0,001$ ).

Entre 2003 et 2007, un total de 2134 tonnes de légine a été pêchée. Les prises étant entièrement décrochées des hameçons par les orques et les cachalots lorsqu'il y a déprédation, le seul moyen d'estimer les pertes est de comparer les valeurs de rendement en présence et en absence de cétacés. Cette technique, réalisée à fine échelle spatiale, a abouti à des estimations de 288, 79 et 347 tonnes de légine perdues à cause des orques seules, des cachalots seuls et des deux espèces associées respectivement. Ainsi, on a pu estimer des taux de déprédation (rapport de la biomasse perdue sur la biomasse pêchée) de 13,5%, 3,7% et 16% pour ces même trois cas de figure, ce qui souligne un impact des orques nettement supérieur à celui des cachalots.

### Démographie des orques.

Selon le principe de la photo-identification, chaque orque peut être identifiée par les caractéristiques de son aileron dorsal et de sa tâche dorsale. Ainsi, l'analyse de photographies prises depuis les côtes de l'île de la Possession et depuis les palangriers a permis d'identifier un total de 199 individus entre 1977 et 2007. En utilisant

des modèles de Capture-Marquage-Recapture sélectionnés par comparaison des valeurs d'AICc, on a pu estimer l'évolution du taux de survie ( $\phi$ ) des individus sur cette même période (figure 1). Les estimations varient de 0,934 (IC 95% 0,853-0,972) en 1977 à 0,911 (IC 95% 0,822-0,958) en 2007 pour les mâles, et de 0,937 (IC 95% 0,861-0,972) à 0,914 (IC 95% 0,826-0,960) pour les femelles. L'effet du braconnage est marqué par une diminution brutale de la survie sur la période 1996-2000 pour les deux sexes ( $\phi = 0,912$  IC 95% 0,833-0,956 pour les mâles,  $\phi = 0,915$  IC 95% 0,837-0,957 pour les femelles). Après cette période là, bien que le taux de survie revienne à des valeurs élevées, on observe une accentuation de la tendance générale à la diminution.



**Figure 1. Evolution du taux de survie des orques de l'Archipel de Crozet entre 1977 et 2007.**

### Discussion et Conclusion.

L'estimation du taux de déprédation global par les orques et les cachalots est de 33,2% de la biomasse de légine pêchée. Ceci soulève l'importance d'un problème à plusieurs niveaux. Au niveau économique d'abord, avec des pertes en biomasse se chiffrant à 5,4 millions d'Euros au prix actuel à la revente. Au niveau de la gestion de la ressource ensuite, la biomasse pêchée et prélevée par les cétacés n'est pas prise en compte ni dans les rapports de pêche, ni dans l'attribution des quotas, ce qui peut mener à une surexploitation des stocks. Au niveau des espèces de cétacés impliquées, d'une part la déprédation accroît le risque d'accidents liés aux équipements de pêche, et d'autre part, elle modifie le comportement naturel de prédateur et l'équilibre énergétique en leur donnant accès à une ressource d'ordinaire inaccessible ou ne faisant pas partie de leur régime alimentaire habituel. Ceci est particulièrement vrai pour les orques qui, contrairement au cachalots, ne peuvent pas atteindre les profondeurs auxquelles vit la légine. Il devient alors nécessaire de réfléchir aux solutions possibles devant la déprédation. Le changement radical de technique de pêche, avec le remplacement de la palangre par une méthode alternative telle que l'utilisation de casiers de fond peut être envisageable. En effet, une telle technique permettrait d'empêcher les orques et les cachalots d'accéder aux poissons pêchés, et d'autre part de diminuer considérablement la mortalité des oiseaux marins liée à l'utilisation des palangres. Une campagne expérimentale, qui sera conduite en 2009 à partir d'un caseyeur industriel dans la ZEE de Crozet, apportera des éléments de réponse quant à l'efficacité de ce système.

Outre un effet du sexe des individus, les femelles ayant un taux de survie supérieur à celui des mâles ce qui semble propre à la biologie de l'espèce puisque déjà répertorié dans plusieurs autres populations du monde (Olesiuk, 1990), les analyses démographiques révèlent une situation préoccupante des orques observées dans l'Archipel de Crozet. Le braconnage à la légine entre 1996 et 2000, par l'élimination directe d'un certain nombre d'orques

interagissant avec les palangriers, se présente comme un effet aggravant une tendance à la diminution commencée bien avant. D'autres causes peuvent alors être envisagées, comme le déclin de la ressource par exemple, les populations d'éléphants de mer et de grands cétacés de Crozet, sur lesquelles se nourrissent les orques, ayant fortement décliné au cours des 20 dernières années (Guinet *et al.*, 1999). La mortalité des individus apparaît comme l'hypothèse la plus plausible. En effet, d'une part, les individus manquants à Crozet ne sont pas réobservés ailleurs. D'autre part, la très faible valeur du taux de fécondité estimé par Poncelet (2008) de 0,017 nouveaux-nés par orque de plus de 1 an par année en 1998-2000 suggère le vieillissement de cet effectif. Aussi, la taille de l'effectif, estimé à seulement 69 individus en 2007 renforce l'inquiétude quant au devenir de cette population. L'augmentation et l'amélioration de l'effort photographique dans les années futures permettra de définir si cette population peut se stabiliser voire se rétablir.

#### **Remerciements.**

Nous remercions le personnel de terrain, sur l'île de la Possession et à bord des palangriers pour toutes les données récoltées en particuliers les photographies d'orques. Nous remercions le Muséum National d'Histoire Naturelle pour nous avoir donné accès aux données de pêche, ainsi que les Terres Australes et Antarctique Françaises et les Armements de l'île de La Réunion pour leur collaboration dans ce programme.

#### **Références**

- Fertl, D., Leatherwood S. 1997. Cetacean interactions with trawls : a preliminary review. *Journal of Northwest Atlantic Fisheries Science*, 22 : 219-248.
- Guinet, C., Jouventin P., H. Weimerskirch. 1999. Recent population change of the southern southern elephant seal at îles Crozet and îles Kerguelen. : the end of the decrease ? *Antarctic Science*, 11 (2) : 193-195.
- Northridge, S. P., Hofman, R. J. 1999. Marine mammal interactions with fisheries. *In: Conservation and Management of Marine Mammals*. (Eds J. R. Twiss and R. R. Reeves.) pp. 99-119. Smithsonian Institution Press, Washington, D.C.
- Olesiuk, P.F., Bigg M.A., Ellis G.M. 1990. Life history and population dynamics of resident killer whales (*Orcinus orca*) in the coastal waters of British Columbia and Washington State. *Reports of the International Whaling Commission*, Special Issue 12 : 209-243.
- Poncelet, E., Barbraud C., Guinet C. 2008. Population dynamics of killer whales (*Orcinus orca*) in Crozet Archipelago, southern Indian Ocean : a mark recapture study from 1977 to 2002. *Marine Mammal Science*, Sous Presse.
- Yano, K. Dalheim M.E. 1995. Behavior of killer whales *Orcinus orca* during longline fisheries interactions in the southeastern Bering sea and adjacent waters. *Fisheries Science*, 61(4) : 584-589.

## Du flotteur Ice-T au projet OPTIMISM

F. Vivier, A. Lourenço, P. Bouruet-Aubertot, Y. Cuypers, J-C. Gascard, L. Eymard, F. Jardon (1)

A. Guillot, S. Letourneur, R. Loisil (2)

B. Alessandrini, P. Ferrant, L. Gentaz, D. Le Touzé, F. Bonnefoy, J-M. Rousset (3)

A. Weill, M. Dechambre (4)

<sup>1</sup> LOCEAN/IPSL, Université Pierre et Marie Curie, Paris, 75005, France (frederic.vivier@locean-ipsl.upmc.fr)

<sup>2</sup> INSU - Division Technique, Brest et Meudon, France

<sup>3</sup> Laboratoire de Mécanique des Fluides (LMF), École Centrale de Nantes, Nantes, 44000, France

<sup>4</sup> CETP/IPSL, Velizy-Villacoublay, 78140, France

**Résumé** Après deux ans de développement, le flotteur prototype Ice-T a été déployé avec succès au cours de la campagne Ice-Dyn au Storffjord (Svalbard) en mars-avril 2007. Nous présentons le concept de l'instrument et les 6 semaines d'observations collectées au cours de cette expérience, où tous les paramètres mesurés par l'instrument ont pu être validés. Ce flotteur permet une mesure en temps réel de l'épaisseur de glace et d'une partie des flux entrant dans le bilan de masse de glace. Instrument flottant, il est adapté aux nouvelles conditions de glace prévalant en Arctique. Nous introduisons ensuite le projet OPTIMISM, réunissant 4 laboratoires, qui, dans la continuité de ces développements, propose de (1) compléter l'instrument pour une mesure de l'ensemble des flux aux interfaces océan-glace-atmosphère (2) déployer cet instrument dans le contexte d'études de processus, appuyées par des expériences numériques.

### Introduction

Des changements spectaculaires ont été observés ces dernières années en Arctique, région particulièrement sensible au réchauffement climatique en cours. L'épaisseur moyenne de la glace de mer a diminué de 40% depuis les années 70 (Rothrock et al, 1999). La superficie de la glace diminue parallèlement de façon tout aussi substantielle, le minimum d'extension de glace de fin d'été se réduisant d'année en année. Septembre 2007 est à cet égard un record absolu, avec une superficie de glace de seulement 4.13 millions de km<sup>2</sup>. Cette tendance devrait se poursuivre comme l'indiquent les modèles de climat, qui s'accordent à prévoir un Arctique libre de glace estivale d'ici la fin du siècle. Les observations suggèrent cependant que cette disparition des glaces pérennes s'effectue à un rythme beaucoup plus rapide que celui prédit par les projections IPCC les plus pessimistes (Stroeve et al, 2007). Devant de tels bouleversements et leurs conséquences potentielles sur le climat global (ice albedo feedback), il existe un réel besoin d'améliorer nos capacités d'observation des régions polaires, non seulement pour mieux appréhender l'amplitude des changements en cours, mais également pour améliorer notre compréhension et représentation des processus physiques qui régissent les échanges de chaleur entre océan, glace et atmosphère, afin d'améliorer la capacité de prévision des modèles de climat. Des efforts internationaux sans précédent ont été entrepris dans cette direction (Année Polaire Internationale, DAMOCLES, SEARCH...).

Dans ces régions particulièrement difficiles d'accès, les satellites constituent la plate-forme la mieux adaptée pour mesurer ces changements sur de grandes étendues spatiales avec une répétitivité temporelle élevée. Cependant, si la mesure satellite fournit désormais de façon routinière la superficie de glace ainsi que d'autres paramètres essentiels (age, concentration, dérive), la mesure de l'épaisseur de glace depuis l'espace reste plus difficile, et fait l'objet en particulier de la future mission CryoSat-2 (2009). Il reste cependant éminemment nécessaire de collecter des observations in situ d'épaisseur de glace et de charge neigeuse pour valider les algorithmes permettant de relier la mesure satellite à des grandeurs géophysiques exploitables. Par ailleurs seule une mesure in situ permet de documenter directement les échanges thermiques entre océan, glace et atmosphère.

Les changements massifs observés en Arctique imposent de nouvelles contraintes sur l'instrumentation polaire de surface. La glace de mer pérenne disparaissant à un rythme de plus en plus rapide au profit de la glace saisonnière,

il devient indispensable de développer une instrumentation flottante, adaptée à ces nouvelles conditions.

### **Le flotteur Ice-T: concept et validation lors de la campagne Ice-Dyn**

Le projet Ice-T (Ice Thickness) a été initié en 2005 au LOCEAN. L'objet était de concevoir, construire, et tester un prototype de flotteur dérivant, destiné à mesurer de façon autonome et transmettre en temps réel l'évolution de l'épaisseur de la glace de mer (discriminant changements à la base de la glace et changements en surface), les flux conductifs et le contenu thermique de la glace, les flux thermiques glace-mer, et la dérive de la glace, autant de termes dont l'estimation est nécessaire à l'étude des processus intervenant dans le bilan thermodynamique de masse de la glace. L'idée était de concevoir un instrument flottant, donc mieux adapté à la glace saisonnière, d'un coût raisonnable, susceptible d'être déployé non seulement dans la banquise déjà formée, mais également en eau libre, avant la formation de glace. Ce dernier point est d'un intérêt tout particulier pour étudier les processus d'échange thermique en glace mince, moins bien connus car plus difficiles à mesurer, et également en ce qu'il permet d'étudier les zones de polynies, régions extrêmement importantes pour la formation d'eau dense, où la présence de glace est intermittente.

En collaboration avec la DT-INSU et le LMF, un prototype de cet instrument a été achevé en mars 2007, et a été déployé au Storfjord (Svalbard) pendant six semaines dans le cadre de la campagne Ice-Dyn. Nous présentons le concept de l'instrument et les observations collectées permettant de valider la mesure d'épaisseur de glace, de neige, de profils thermiques, et de courant à la base de la glace (paramètre nécessaire en particulier à l'estimation des flux thermiques océan-glace).

### **Le projet OPTIMISM**

Dans la continuité de ces travaux, le projet OPTIMISM (Observing dynamical and thermodynamical Processes involved in The sea Ice Mass balance from In Situ Measurements), réunissant 4 laboratoires, vise à contribuer à l'observation des régions polaires en développant un flotteur automatique mesurant l'ensemble des flux aux interfaces océan-glace-atmosphère. Il est donc proposé dans ce projet de nouveaux développements technologiques en particulier pour mesurer les flux d'énergie de surface, radiatifs et turbulents. Cette mesure pose un défi technologique étant donné les contraintes en termes de masse et d'énergie embarquées, souhaitant rester sur le schéma d'un instrument léger, facile à déployer et d'un coût raisonnable. Les autres développements proposés concernent la mesure de salinité, et la mesure du champ thermique dans la couche de mélange océanique via une courte drogue de thermistances. Profitant des mesures d'un accéléromètre embarqué (nécessaire pour corriger les mesures atmosphériques), nous voulons également tester la capacité de cet instrument à mesurer les propriétés spectrales de la houle en présence de glace, en lien avec des travaux de modélisation numérique.

Cet instrument aurait vocation à s'insérer dans un futur réseau opérationnel d'observation des zones polaires, servant également de plate-forme de validation pour les mesures satellites d'épaisseur de glace de mer et de neige. D'une importance toute aussi grande est l'utilisation de cet instrument dans le contexte d'études de processus. Nous proposons plusieurs déploiements de cet instrument, dans le pack d'une part, pour valider son intérêt dans le cadre d'un réseau d'observation de la banquise arctique, et dans une polynie côtière d'autre part, pour une étude ciblée de processus. Cette étude, sur la base d'observations et de modélisation, s'intéressera en particulier à l'influence de la dynamique océanique haute-fréquence sur la glace, et au mélange associé, qui influence potentiellement le sort des eaux denses formées et leur export vers l'océan profond.

**Remerciements.** Le développement du flotteur Ice-T a été financé par l'IPSL et l'INSU. Les tests de terrain ont été réalisés grâce au soutien de l'IPEV (programme 1058 « Ice-Dyn ») et à une logistique mise en place par le projet européen intégré DAMOCLES. Nous remercions Eric Brossier et France Pinzon du Seil du voilier "Vagabond".

### **Références**

Rothrock, DA, Y Yu and G A Maykut, 1999. Thinning of the arctic sea-ice cover, *Geophys. Res. Lett.*, 26(23), 3469-72.  
Stroeve, J., et al., 2007. Arctic sea ice decline: Faster than forecast, *Geophys. Res. Lett.*, 34, L09501, doi:10.1029/2007GL029703