

# 8<sup>èmes</sup> Journées scientifiques du CNFRA

Comité national français des  
recherches arctiques et antarctiques



Judi 10 et Vendredi 11  
Mai 2012

Plouzané - IUEM

Institut universitaire Européen de la Mer  
Technopole Brest Iroise, Rue Dumont D'Urville

Recherche en Milieux Polaires  
avec la participation de l'IPEV

Programme et inscription: [www.cnfra.org/spip.php?article20](http://www.cnfra.org/spip.php?article20)





*Comité National Français  
des Recherches  
Arctiques et Antarctiques*

## **8<sup>èmes</sup> Journées Scientifiques**

**10 et 11 mai 2012, Plouzané**

## **Résumés des présentations**

# Sommaire

Brown trout life history and habitat use in the Kerguelen Islands as revealed by otolith microchemistry .....	5
Evolution des dépôts des lobes sédimentaires sous-marins du glacier Lovenbreen dans le Kongsfjorden (Spitsberg) entre 2009 et 2011 .....	6
Cartographie des structures tectoniques de Pointe Géologie : apport de l'anisotropie de susceptibilité magnétique (ASM)...	9
Evolution des traits de vie de la truite commune introduite à Kerguelen, 1970-2012 .....	11
Réponses physiologiques du krill à une augmentation de la température de l'Océan Antarctique.....	12
Microstructure de la coquille et environnement hétérogène : le premier exemple de polymorphisme mis en évidence chez l'escargot <i>Notodiscus hookeri</i> par une approche pluridisciplinaire .....	13
L'hydrothermalisme sur les Iles de Kerguelen : minéralogie, géochimie des fluides et gaz hydrothermaux et nouveaux écosystèmes microbiens.....	15
New Data on Crustal Rocks from the Kerguelen Archipelago .....	18
2048, et si le Protocole au Traité sur l'Antarctique relatif à la protection de l'environnement en Antarctique était en danger ? .....	21
Importance de la dynamique mésoéchelle sur l'écologie des prédateurs marins .....	23
L'alimentation en O <sub>2</sub> des fonds océaniques en période glaciaire par la plongée des saumures en Antarctique validée par CLIMBER-2, un modèle climatique de complexité intermédiaire .....	24
L'obésité transitoire : une stratégie de survie en conditions hostiles .....	26
Identifications morphologique et moléculaire d'Annélides prélevées au cours de la campagne CEAMARC .....	28
A la poursuite de la monophylie perdue (Nototheniidae, Teleostei) à l'aide de marqueurs moléculaires multiples .....	29
Ecorégionalisation benthique en Terre Adélie.....	31
Premier raid scientifique entre Dome C et Vostok en antarctique de l'Est dans le cadre du programme VANISH (Vulnerability of the ANTarctic Ice Sheet and its atmosphere).....	33
Ontogenèse des processus bioénergétiques musculaires chez le poussin manchot Adélie ( <i>Pygoscelis adeliae</i> ).....	35
Nouvel éclairage sur la systématique des Bathydraconidae (Notothenioidei, Teleostei) .....	36
Nouvelles données sur le complexe intrusif syénitique du Sud de Rallier du Baty, Kerguelen. ....	37
Impact of short-lived pollutants on the regional climate of the Arctic .....	40
Relativistic charged particles from the Sun – the role of neutron monitors.....	42
Modelling invasion dynamics in virgin ecosystems: brown trout in Kerguelen Islands.....	44
Formation d'eau dense sur le plateau Antarctique au large de la Terre Adélie de 2008 à 2011.....	45
Bilan des Recherches menées sur le Renard Arctique ( <i>Vulpes lagopus</i> ) à l'île Bylot, Nunavut (Canada): Objectifs, Protocoles et Résultats.....	46
Tolérance et réponses physiologiques aux variations de température chez un carabique d'origine australe envahissant les Îles Kerguelen.....	48

Quantifier les flux de glace Antarctique à la mer à travers la compréhension et la modélisation des glaciers émissaires en vue d'une meilleure estimation du futur niveau des mers - Le Projet DACOTA (Dynamique COTière en Terre Adélie, projet IPEV N° 1053) .....	51
Aliens in Antarctica : les scientifiques font les poches ! .....	54
Application des critères de reconnaissance des « bouffées d'espèces » (« <i>species flocks</i> ») aux organismes benthiques du plateau continental antarctique .....	56
INDIEN SUD-2: une campagne de carottages sédimentaires au large des îles Kerguelen pour étudier les variations passées du courant circum Antarctique au cours des derniers cycles climatiques.....	57
Chronologie de la dernière déglaciation dans l'océan Austral : circulation océanique et cycle du carbone.....	60
ECOTAB - Effect of Climate change On The Arctic Benthos - Effets des changements climatiques sur le benthos Arctique .....	61
Etude expérimentale de l'impact des apports terrigènes sur le plancton arctique, Spitsberg, campagne été 2012.....	63
Etude de la microflore procaryotique et virale des sources chaudes terrestres et marines des Terres australes et antarctiques françaises .....	64
Le Carbone 13, un témoin de la pénétration du carbone anthropique dans l'Océan Indien Sud [30°S-60°S].....	67
Le passage de la vie terrestre à la vie marine : un défi énergétique pour le Manchot Royal juvénile ( <i>Aptenodytes patagonicus</i> ). .....	68
L'expérience vécue de l'hivernage polaire .....	70
ROSAME : bientôt 20 ans d'observation in situ du niveau de la mer dans l'océan austral.....	71
Hormones et comportement chez le manchot Adélie en fonction des conditions environnementales.....	77
Océan Austral : export d'acide silicique et impact sur l'océan mondial.....	78
Les procédures de passations de consignes entre hivernants durant la relève à DDU .....	79
Antarctic cyanobacterial diversity: how important are the geographical and ecological factors? .....	82
Index des auteurs .....	84

## Disciplines

La discipline à laquelle se rapporte chaque communication est indiquée par un carré de couleur après son titre:

Sciences Physiques ■ Sciences Humaines ■ Sciences de la Terre ■ Sciences de la Vie ■

## Durées de présentation

La durée de présentation de chaque communication est indiquée entre parenthèses après sa discipline.

## Brown trout life history and habitat use in the Kerguelen Islands as revealed by otolith microchemistry

■ (15 minutes)

J-C Aymes<sup>1,2</sup>, E. Beall<sup>1,2</sup>, M. Jarry<sup>2,1</sup>, P. Gaudin<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> INRA, UMR ECOBIOP, INRA/UPPA, Pôle d'Hydrobiologie de l'INRA, Quartier Ibarron 64310 Saint Pée sur Nivelle, France

<sup>2</sup> Univ Pau & Pays Adour, UMR ECOBIOP, INRA/UPPA, UFR Côte Basque, Allée du Parc Montaury, 64600 Anglet, France

### Résumé

Characterization of the life history traits of introduced brown trout (*Salmo trutta* L.) in the Kerguelen Islands is fundamental to understand the success of the islands invasion by this fish species. The capacity to use marine habitats (Anadromy) by brown trout is one of the most critical traits in the invasion process and its study is essential to understand how marine habitats contribute to dispersal in trout populations. Otoliths are calcified structure (aragonite) located in the inner ear of fishes; they record seasonal growth as scales but are also inert and able to trap trace element present in the fish environment (Campana and Thorrold, 2001). Strontium, particularly the Sr:Ca ratio, is a common indicator used to trace brackish/salt water migrations of salmonids (Limburg et al., 2001; Milton et al., 2008). We studied Sr:Ca ratios on otoliths of brown trout captured in specific habitats (lake, upstream and downstream zones of rivers, marine coastal waters) to characterize life history traits linked to freshwater or salt water migration (resident/migrant status, age at migration, homing, maternal origin). Results showed that the method is relevant because water and otolith present correlated chemical signatures across each selected Kerguelen habitat. A strong diversity of life histories appeared, ranging from pure residency in freshwater to permanent use of saltwater. Intermediate phenotypes were observed in downstream populations taking benefit of the highly productive estuarine habitats whereas specific migratory phenotypes could contribute to colonize new pristine aquatic systems.

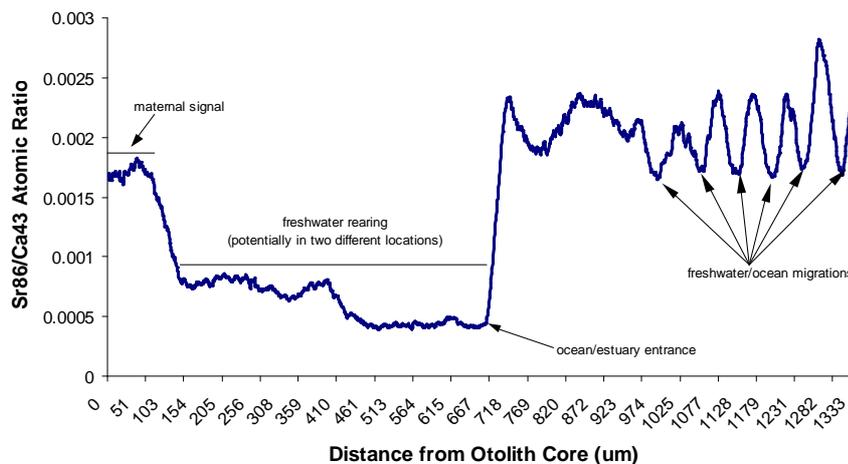


Figure 1: Anadromous Brown trout otolith atomic ratio (Sr86/Ca43). Lines and arrows represent zones of maternal signal, freshwater residency, ocean entrance and freshwater homing for reproduction.

### Références

- Campana, S.E., 1999. Chemistry and composition of fish otoliths: pathways, mechanisms and applications. Marine Ecology Progress Series 188, 263-297.
- Limburg, K.E., Landergren, P., Westin, L., Elfman, M., Kristiansson, P., 2001. Flexible modes of anadromy in Baltic sea trout: making the most of marginal spawning streams. Journal of Fish Biology 59 (3), 682-695.
- Milton, D.A., Chenery, Simon R, 2001. Sources and uptake of trace metals in otoliths of juvenile barramundi (*Lates calcarifer*). Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 264 (1), 47e65.

## Evolution des dépôts des lobes sédimentaires sous-marins du glacier Lovenbreen dans le Kongsfjorden (Spitsberg) entre 2009 et 2011

■ (15 minutes)

A. Baltzer<sup>1</sup>, D. Mercier<sup>2</sup>, L. Perez<sup>1</sup>, S. Haquin<sup>1</sup>, M. Jensen<sup>3</sup>, D. Laffly<sup>4</sup>, R. Lafite<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Laboratoire M2C-UMR 6143 24 rue des Tilleuls, 14 000 Caen, France (agnes.blatzer@unicaen.fr)

<sup>2</sup> Laboratoire LETG-Nantes-Géolittomer UMR 6554, Université de Nantes, Nantes, 44 312, France (denis.mercier@univ-nantes.fr)

<sup>3</sup> Arctic Geology, The University Centre in Svalbard UNIS, Svalbard (maria.jensen@unis.no)

<sup>4</sup> Laboratoire GEODE UMR 5602, Université de Toulouse, France (dominique.laffly@univ-toulouse.fr)

### Introduction

Les régions de très hautes latitudes sont les plus sensibles actuellement au réchauffement climatique. Notre étude est ainsi basée sur l'enregistrement de l'évolution de la ligne de rivage d'un fjord du Spitsberg : "le Kongsfjorden" qui borde la station scientifique de Ny Ålesund (79°N 12°E).

Dans ce fjord (Fig. 1), les glaciers du Lovenbreen ont reculé de plus de 1 kilomètre depuis la fin du Petit Age Glaciaire. Ce recul s'accompagne de dépôts de lobes sédimentaires dans la zone intertidale, directement alimentés par les chenaux pro-glaciaires qui érodent les moraines frontales ainsi que les dépôts du sandur adjacent.

Ainsi cette modification ou progradation de la ligne de rivage a été suivie de 1936 à 2009 grâce à l'étude de photos aériennes. Grâce à la réalisation de 2 mosaïques sonar en août 2009 et août 2011, nous avons pu enregistrer cette évolution rapide du stock sédimentaire sous-marin sous forme de lobes de dépôts.

Mots Clefs : évolution de la ligne de rivage, processus sédimentaires glaciaires, réchauffement climatique

### Observations et résultats

#### La mission SONNYII

Le Spitzberg a été étudié depuis plusieurs années par différentes équipes internationales. Dans le cadre de la coopération Franco-Allemande, la station scientifique de l'AWIPEV est située dans le village de Ny Ålesund qui abrite différentes stations pour différents pays au bord du Kongsfjorden.

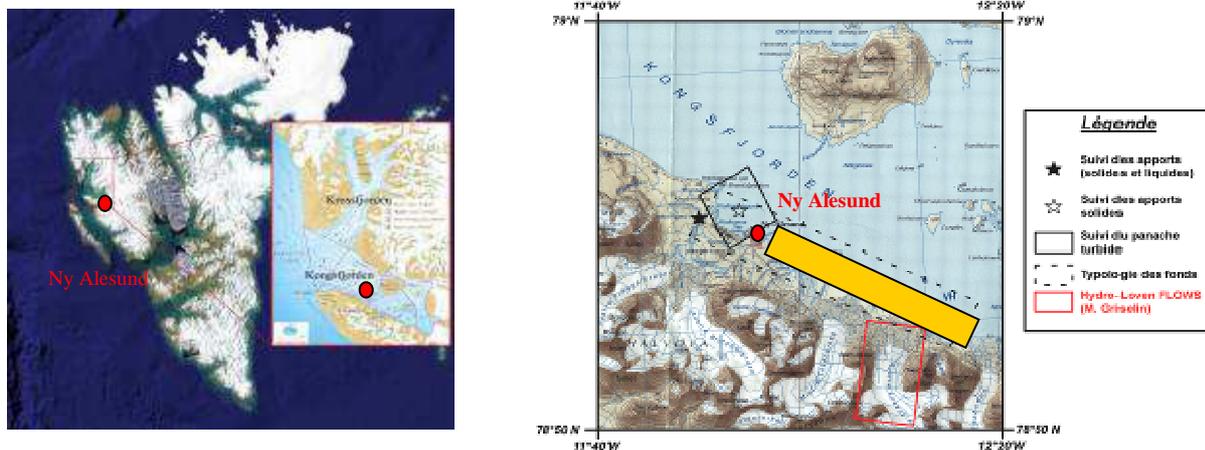


Figure 1 : localisation de la base scientifique de Ny Ålesund au bord du Kongsfjorden.

Zone d'étude prospectée (en jaune) à l'aide du Sonar latéral Edgetech272 TD

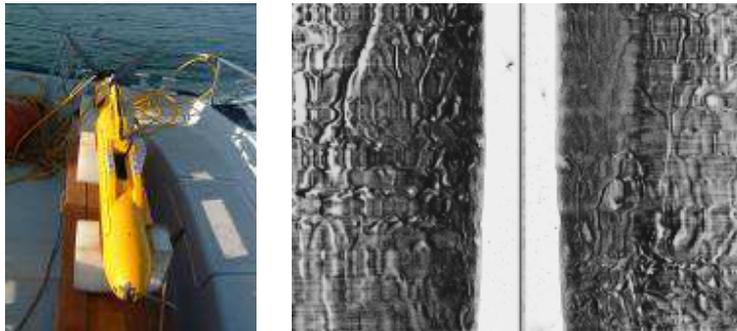
Depuis les années 80, M. Griselin (CNRS, Université de Besançon), conduit des études sur le glacier du *Lovenbreen* situé à 6 km à l'Est de la base de Ny Ålesund base (Fig. 1) au front du Kongsfjorden. Depuis 2005, ce glacier est instrumenté pour mesurer les variations du volume de glace. De 2006 à 2009, une étude conduite par J. Deloffre et R. Lafite (Université de Rouen) s'est intéressée aux flux provenant des chenaux sous glaciaires issus du glacier de Lovenbreen. Notre objectif est ainsi d'étudier la dernière partie de ce système : les dépôts sédimentaires dans le domaine

marin. Dans cette optique une première mission d'acquisition sonar a été réalisée en 2009 à Ny Ålesund. En août 2011, une seconde mission d'acquisition sonar a été réalisée, en voilier cette fois ci.

### ***Le sonar latéral Edgetech 272 TD***

Le sonar Edgetech 272 TD (figure 7) fournit des photos acoustiques du fond sous marin avec une résolution horizontale de 20 cm.

Tiré à partir d'un bateau, le sonar latéral permet l'acquisition d'une bande insonifiée de 200 m de large. Les différents gris de ces photos dépendent de la nature des sédiments, de la topographie, de l'état de compaction des sédiments. La juxtaposition de ces images (des sonogrammes) constitue une mosaïque. Cette approche sonar a été réalisée en août 2009 et 2011 sur la côte sud du Kongsfjorden.



*Figure 2 :Le sonar lateral Edgetech 272 TD et un exemple de sonogramme à droite. La partie blanche centrale est la zone aveugle (non insonifiée), et de part et d'autre une image acoustique de 100 m de large montre des traces d'icebergs sur le fond.*

### **Discussion et conclusion**

La comparaison de ces deux mosaïques nous montre l'évolution des dépôts en 2 ans. La figure 3 montre les parties des lobes sous-marins qui ont nettement progradé. Dans le cadre 1, les dépôts sont essentiellement composés d'éléments grossiers et représentent une extension d'environ 20 m sur 170 m du « Midre Lovenbreen ». Le cadre 2 nous montre la formation d'un petit lobe de 50 m de long sur 110 m de large qui est probablement relié à l'activité de « l'Austre Lovenbreen ». Enfin le cadre 3 nous montre la progradation de 40 m sur 70 m d'un lobe situé nettement plus à l'Est, connecté au Pedersenbreen.

Pour l'instant il nous est impossible de déterminer l'épaisseur de ces dépôts, mais la prochaine mission programmée en août 2012 devrait nous permettre de répondre à cette question, grâce à l'acquisition de profils sismiques très haute résolution, à l'aide d'un Boomer (IKB Seistec) dans la zone côtière. Il nous sera ainsi possible de quantifier les volumes sédimentaires déposés *offshore* et de mieux contraindre les processus de déglaciation.

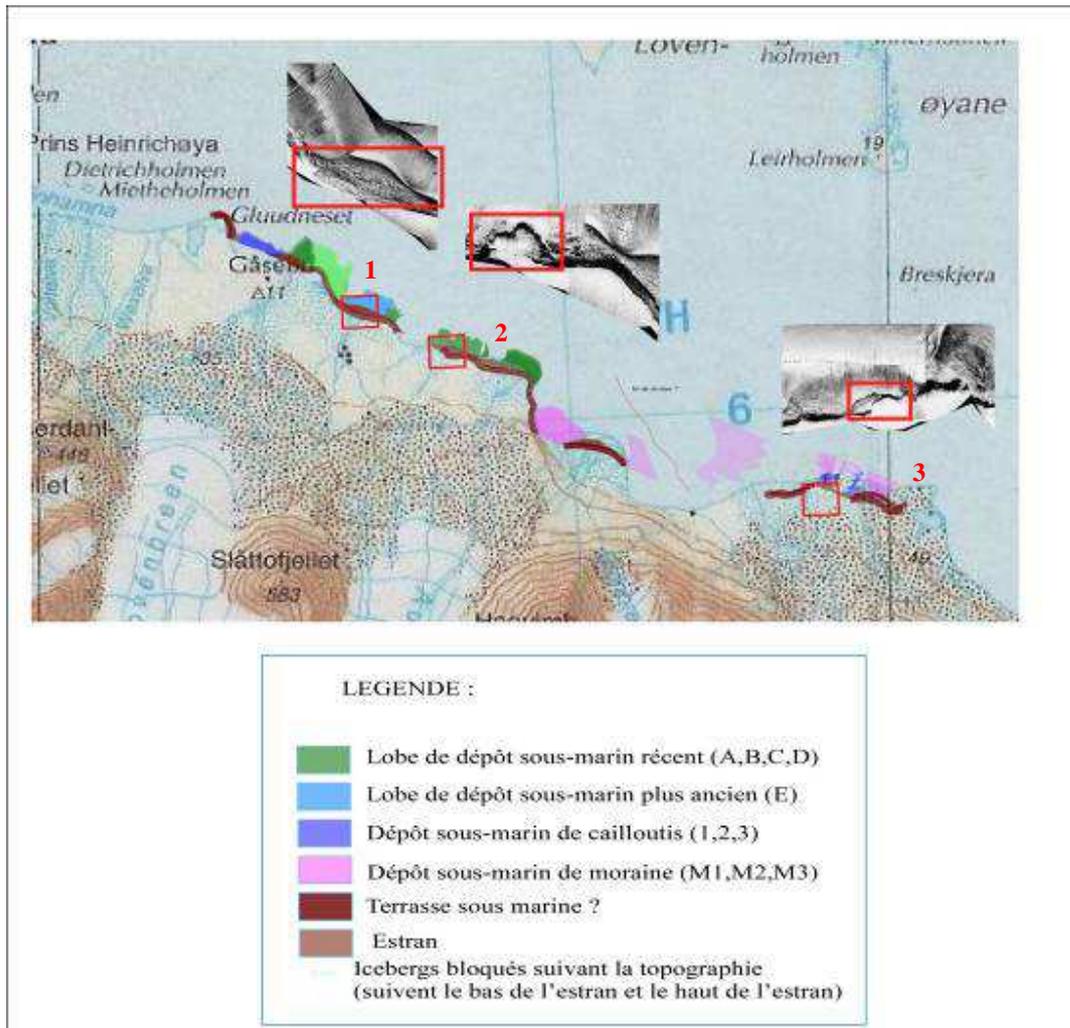


Figure 3 : Les 3 carrés rouges matérialisent les progradations les plus marquées des lobes sédimentaires sur les images sonar, en lien direct avec les chenaux glaciaires.

### Remerciements

Un grand merci tout particulier à Damien Isambert qui a fait que la mission Sonny11 soit un succès.

### Références

- Mercier, D., and D. Laffly, (2005), Actual paraglacial progradation of the coastal zone in the Kongsfjorden area, western Spitsbergen (Svalbard) . Geological Society London, Special publication, 242, 111-117.
- Griselin, M., C. Marlin, D. Laffly, E. Bernard, E. Delangle, JM Friedt, G. Schwamborn, F. Tolle (2012), Austre Loven Glacier during variation in surface and volume (1964-2008) through remote sensing, DEM, maps and field measurements during the IPY program Hydro-Sensor-FLOWS », *Canadian Journal of Remote Sensing*, special issue "Remote Sensing Innovations During the International Polar Year", 10 p.

## Cartographie des structures tectoniques de Pointe Géologie : apport de l'anisotropie de susceptibilité magnétique (ASM)

■ (5 minutes)

J. Bascou<sup>1</sup>, B. Henry<sup>2</sup>, R. P. Ménot<sup>1</sup>, M. Funaki<sup>3</sup>, G. Barruol<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Université de Lyon, Université Jean Monnet and UMR-CNRS 6524, Laboratoire Magmas et Volcans, 23 rue du Dr P. Michelon, 42023 Saint Etienne, France ([jerome.bascou@univ-st-etienne.fr](mailto:jerome.bascou@univ-st-etienne.fr))

<sup>2</sup>Paléomagnétisme, Institut de Physique du Globe de Paris and CNRS, 4 avenue de Neptune, 94107 Saint-Maur cedex, France )

<sup>3</sup>National Institute of Polar Research, 10-3 Midori-cho Tachikawa Tokyo 190-8518, Japan

<sup>4</sup> Université de la Réunion, CNRS and IPG Paris, Géosciences Réunion, 97715 Saint Denis cedex 9, La Réunion, France )

### Résumé

Cette étude présente les résultats de mesures d'Anisotropie de Susceptibilité Magnétique réalisées à partir de carottages de roche dans les formations gneissiques et granitiques de Pointe Géologie. Les données obtenues ont permis de compléter les cartes géologiques structurales, en particulier dans les granites roses qui ne présentent pas, à l'affleurement, de traces évidentes de déformation.

### Introduction

L'archipel de Pointe Géologie (PG) en Terre Adélie est constitué de gneiss variés, recoupés par des filons de granite rose, d'épaisseur métrique à décamétrique et à épontes nettes. Ces différents gneiss se distinguent par la nature de leurs protolites, pélitiques ou grauwackeux, et surtout par le degré de la fusion partielle (migmatization) [1, 2, 3]. On rencontre ainsi des gneiss migmatitiques fortement foliés et rubanés et des anatexites dont l'orientation floue des structures n'est marquée que par quelques passées micacées. Les gneiss migmatitiques montrent un rubanement aux limites diffuses associant des niveaux clairs quartzo-feldspathiques (leucosomes) et des lits sombres (mélanosomes) riches en minéraux ferromagnésiens, micas noirs et grenat, associés à la sillimanite et à la cordiérite. Ces lits représentent respectivement le produit et le résidu de la fusion partielle. Localement les niveaux clairs s'anastomosent et s'individualisent en filonets centimétriques traduisant le processus de collecte et d'extraction des liquides. Cette anatexite est associée à une pic de métamorphisme, caractérisé par des assemblages minéralogiques à cordiérite,  $\pm$ sillimanite,  $\pm$ grenat,  $\pm$ K-feldspath,  $\pm$ plagioclase,  $\pm$ quartz,  $\pm$ biotite,  $\pm$ ilménite,  $\pm$ magnétite qui indiquent des conditions d'une croûte moyenne particulièrement chaude (facies amphibolite ; Températures : 700-750°C ; Pressions : 4-6 kbar, [1, 3]).

### Observations et résultats

Sur le terrain, les plans structuraux préférentiels (foliations) parfaitement observables dans les gneiss ont été systématiquement cartographiés au cours des missions du programme IPEV-GEOLETA. Ces structures définissent de grandes zones de cisaillement qui juxtaposent de grands dômes d'échelle kilométrique qui sont interprétés comme résultant d'un événement tectonique en régime de transpression et d'âge Paléoproterozoïque (1.7 Ga, [2, 4]).

Les structures de déformation linéaire (linéations) des gneiss ainsi que les structures linéaires et planaires des filons pluri-centimétrique à kilométrique de composition granitique restaient mal-cartographiées car difficilement identifiables à l'affleurement. Afin de pouvoir intégrer les structures de l'ensemble des terrains de PG, une étude structurale basée sur des mesures d'anisotropie de susceptibilité magnétique (ASM) a donc été menée dans le cadre du programme IPEV-ArLiTA. Les mesures d'ASM ont été réalisées en laboratoire, dans une enceinte en champ magnétique faible (200 A/m), sur des spécimens provenant de carottes prélevées au cours de trois missions (par M. Funaki il y a une quinzaine d'années, et pour le programme ArLiTA en 2009 et 2011). Du fait de la proximité du pôle sud magnétique, l'orientation des carottes a été réalisée en utilisant un compas solaire.

Les lithologies gneissiques et granitiques sont marquées par des propriétés magnétiques très contrastées. Dans les niveaux sombres des gneiss, les valeurs de susceptibilité magnétique (Km) sont très élevés (Km de l'ordre de  $10^2 - 10^1$  SI) associées à des concentrations plus ou moins fortes de grains de magnétite alors que dans les leucosomes et les filons granitiques les valeurs de susceptibilité magnétique sont relativement faibles (Km de l'ordre de  $10^4$  SI). De plus, les gneiss et les filons granitiques se distinguent par leurs structures magnétiques. Dans les gneiss, l'orientation des foliations magnétiques est conforme à celle mesurée sur le terrain : plans de direction N-S, fortement inclinés dans les couloirs de cisaillement et faiblement inclinés au niveau des dômes. Les mesures d'ASM dans les gneiss indiquent une linéation sub-horizontale et de direction dominante N-S. Dans les zones les plus affectées par l'anatexite, les mesures d'ASM révèlent des linéations magnétiques sub-verticales. Ces structures magnétiques qui caractérisent les produits de

fusion chenalisés dans des filons de taille centimétrique à kilométrique (granites roses) sont associées à la mise en place des magmas au cours de l'évènement Paléoproterozoïque à 1.7 Ga.

#### Remerciements

Cette étude a été réalisée grâce au soutien de l'IPEV (programme IPEV-ArLiTA)

#### Références

- [1] MONNIER O., MÉNOT R. P., PEUCAT J.J., FANNING M., GIRET A. (1996) - Actualisation des données géologiques sur Terre Adélie (Antarctique Est) : mise en évidence d'un socle protérozoïque hétérogène. . C.R. Acad. Sci., Paris, 322, IIa, 55-62.
- [2] GAPAIS D., PELLETIER A., MÉNOT R.P., PEUCAT J.J., (2008) - Paleoproterozoic tectonics in the Terre Adélie Craton (East Antarctica). Precambrian Research, 162, 3-4, 531-539, doi: 10.1016/j.precamres2007
- [3] PELLETIER A., GUIRAUD M., MÉNOT R.P. (2005) – From partial melting to retrogression in the Pointe Géologie migmatitic complex (East Antarctica): a history of heterogeneous distribution of fluids. Lithos, 81, 153-166
- [4] PEUCAT J.J., MÉNOT R.P., MONNIER O., FANNING M., (1999) – The Terre Adélie basement in the East-Antarctica Shield : geological and isotopic evidence for a major 1.7 Ga thermal event ; comparison with the Gawler Craton in South Australia. Precamb. Res. .94, 205-224

## Evolution des traits de vie de la truite commune introduite à Kerguelen, 1970-2012

■ (15 minutes)

Edward Beall<sup>1,2</sup>, Jean-Christophe Aymes<sup>1,2</sup>, Marc Jarry<sup>2,1</sup>, Philippe Gaudin<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> INRA, UMR ECOBIOP, INRA/UPPA, Pôle d'Hydrobiologie de l'INRA, Quartier Ibarron 64310 Saint Pée sur Nivelle, France ([beall@st-pee.inra.fr](mailto:beall@st-pee.inra.fr), [jcaymes@st-pee.inra.fr](mailto:jcaymes@st-pee.inra.fr), [gaudin@st-pee.inra.fr](mailto:gaudin@st-pee.inra.fr))

<sup>2</sup> Univ Pau & Pays Adour, UMR ECOBIOP, INRA/UPPA, UFR Côte Basque, Allée du Parc Montaury, 64600 Anglet, France ([marc.jarry@univ-pau.fr](mailto:marc.jarry@univ-pau.fr))

### Résumé

Scales of salmonids are used to interpret their way of life and decipher the various stages of their life cycle (age, habitat changes, age and frequency of reproductions, growth).

An important data base of scales was constituted by the ECOBIOP laboratory (INRA, Saint Pée sur Nivelle) with samples collected from 1970 to 2012 in various rivers of the Kerguelen Islands where brown trout (*Salmo trutta* L.) had been introduced in the 1950's and early 60's. The aim of this study is to monitor eventual changes in life history traits of the Kerguelen trout as it colonizes freshwater ecosystems and adapts to the subantarctic environment.

Among the anadromous (migratory) trout of the Château River, age of sea migration is higher for recent captures than for trout collected in the 70's (Fig. 1). Likewise, analysis of spawning marks on scales indicates that the mean age of first reproduction has been put back by at least one year. The comparison with other populations established for a long time or more recently gives some precious indications on the adaptive capacities of those fish in a changing environment at different stages of the colonization process. Age at migration and at first spawning is strongly dependent on growth rates in the preceding years. A comparison of growth increments, as determined by back-calculation on scales, will allow testing hypotheses concerning increased competition for limited food resources as fish densities increase, or on the role of trophic subsidies potentially provided by anadromous fish.

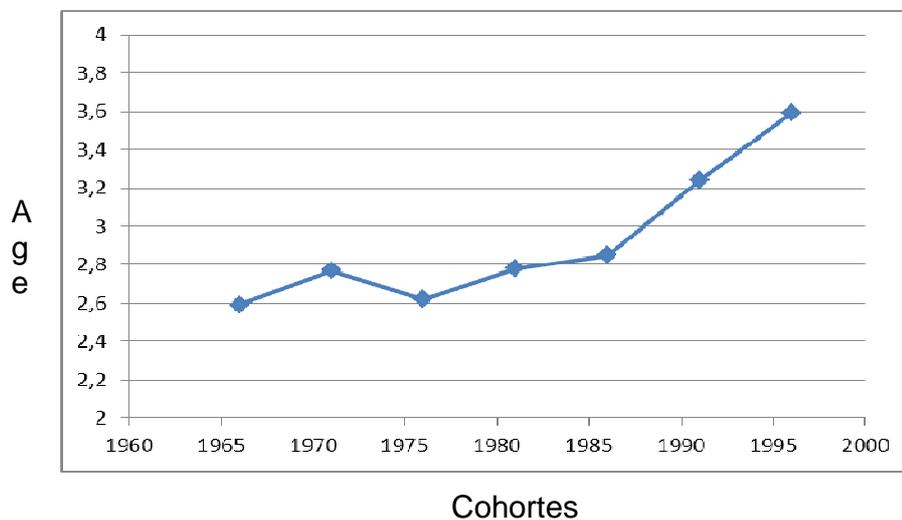


Figure 1. Evolution de l'âge moyen de départ en mer des truites de mer de la Baie Norvégienne sur la période 1966-2000. Chaque point représente l'âge moyen pour 5 cohortes, pour les truites d'âge supérieur ou égal à 5 ans.

## Réponses physiologiques du krill à une augmentation de la température de l'Océan Antarctique

■ (5 minutes)

K. Cascella<sup>1</sup>, E. Corre<sup>2</sup>, J-Y. Toullec<sup>3</sup> **Erreur ! Signet non défini.**

<sup>1</sup>Adaptation et Diversité en Milieu Marin, Université Pierre et Maris Curie, Roscoff, 29682, France ([kevin.cascella@sb-roscoff.fr](mailto:kevin.cascella@sb-roscoff.fr))

<sup>2</sup> Plateforme ABiMS (Analyses and Bioinformatics for Marine Sciences), Université Pierre et Maris Curie, Roscoff, 29682, France ([erwan.corre@sb-roscoff.fr](mailto:erwan.corre@sb-roscoff.fr))

<sup>3</sup>Adaptation et Diversité en Milieu Marin, Université Pierre et Maris Curie, Roscoff, 29682, France ([jean-yves.toullec@sb-roscoff.fr](mailto:jean-yves.toullec@sb-roscoff.fr))

### Résumé

Le Krill constitue le maillon indispensable des chaînes trophiques en Antarctique. Très abondant, il nourrit tout aussi bien le plancton carnivore que les grands mammifères et les oiseaux de la région. La réponse physiologique de ces Euphausiacés (*Euphausia superba* et *Euphausia crystallophias*) face à une augmentation de la température des océans revêt un caractère prioritaire en terme de gestion de la biodiversité. Une approche alliant conditionnement des animaux sur le terrain et transcriptomique a été mise en œuvre afin d'étudier la réponse moléculaire des deux espèces de krill à un stress thermique. Le séquençage haut débit (illumina - 454) a permis d'identifier, dans un premier temps, les membres de la famille des Heat Shock Protein (HSP) chez les deux espèces. Le niveau d'expression des différentes HSP70 est ensuite analysé par qPCR, pour chaque type de stress thermique effectué. Le présent travail traitera des résultats obtenus chez *E. crystallophias*.

## Microstructure de la coquille et environnement hétérogène : le premier exemple de polymorphisme mis en évidence chez l'escargot *Notodiscus hookeri* par une approche pluridisciplinaire.

■ (5 minutes)

M. Charrier<sup>1</sup>, D. Guillaume<sup>2</sup>, A. Marie<sup>3</sup>, S. Berland<sup>3</sup>, C. Roiland<sup>4</sup>, J. Le Lannic<sup>5</sup>, Y. Frenot<sup>6</sup>, M. Lebouvier<sup>7</sup>

<sup>1</sup>Université de Rennes 1, Université Européenne de Bretagne, UMR CNRS 6553, Campus de Beaulieu, CS74205, 35042 Rennes Cedex, France ([maryvonne.charrier@univ-rennes1.fr](mailto:maryvonne.charrier@univ-rennes1.fr))

<sup>2</sup>Université de Toulouse, Observatoire Midi-Pyrénées, GET UMR5563, Géosciences Environnement Toulouse, (CNRS/UPS/IRD/CNES), 31400 Toulouse, France ([damieng.guillaume@get.obs-mip.fr](mailto:damieng.guillaume@get.obs-mip.fr))

<sup>3</sup>Muséum National d'Histoire Naturelle, Plateforme de Spectrométrie de Masse et de Protéomique, MNHN / CNRS 7245, Département Régulation Développement et Diversité Moléculaire, 75005 Paris, France ([armarie@mnhn.fr](mailto:armarie@mnhn.fr); [berland@mnhn.fr](mailto:berland@mnhn.fr))

<sup>4</sup>Université de Rennes 1, Université Européenne de Bretagne, UMR CNRS 6226 Sciences Chimiques de Rennes, Campus de Beaulieu, CS74205, 35042 Rennes Cedex, France ([claire.roiland@univ-rennes1.fr](mailto:claire.roiland@univ-rennes1.fr))

<sup>5</sup>Université de Rennes 1, Université Européenne de Bretagne, Service Commun de Microscopie Electronique à Balayage et micro-Analyse, CS74205, 35042 Rennes Cedex, France ([joseph.lannic@univ-rennes1.fr](mailto:joseph.lannic@univ-rennes1.fr))

<sup>6</sup>Institut Polaire Français Paul Émile Victor, Technopôle Brest-Iroise, BP 75, 29280 Plouzané, France ([yfrenot@ipev.fr](mailto:yfrenot@ipev.fr))

<sup>7</sup>Université de Rennes 1, UMR CNRS 6553, Station Biologique, 35380 Paimpont, France ([marc.lebouvier@univ-rennes1.fr](mailto:marc.lebouvier@univ-rennes1.fr))

### Résumé

Pour vivre dans des environnements hétérogènes, les organismes peuvent adopter 3 types de réponses : (1) la plasticité phénotypique, (2) des phénotypes adaptés à des conditions locales ou (3) un phénotype fixe généraliste (Hollander et al. 2006). La plasticité phénotypique engendre des coûts pour un organisme (DeWitt et al. 1998) et ne représente pas toujours la solution optimale d'adaptation à son environnement. Les réponses des organismes sont fonction de leur capacité de dispersion par rapport à l'échelle des variations environnementales, que Levins (1968) nomme « the grain-size ». Ainsi, des organismes à faible capacité de dispersion peuvent passer leur vie dans un environnement immuable en apparence du fait que la variation spatiale de leur environnement est à une échelle supérieure à leur échelle de dispersion. Dans ce cas, le modèle de Levins (1968) prévoit du polymorphisme génétique et par voie de conséquence des populations localement adaptées à des conditions environnementales peu fluctuantes.

Chez les gastéropodes terrestres, le polymorphisme de la coquille a été l'objet de très nombreuses études démontrant des phénotypes induits par des pressions environnementales, comme par exemple les gradients altitudinaux et latitudinaux (Madec et Bellido, 2007), les effets de la prédation et de l'hydrodynamisme de la zone intertidale (Hollander et al. 2006). Cependant, outre les modifications des contours de la coquille et donc de sa géométrie, l'hypothèse de polymorphisme de la microstructure de la coquille des gastéropodes n'a pas reçu l'attention des chercheurs alors que sa formation est contrôlée génétiquement (Hinman et al. 2003).

L'objectif de notre étude est donc de définir comment un biomatériau tel qu'une coquille de gastéropode est capable de modifier ou non sa microarchitecture en réponse à des contraintes environnementales.

Notre modèle biologique est l'escargot terrestre *Notodiscus hookeri*, endémique des îles subantarctiques et répandu notamment sur l'île de la Possession (Archipel Crozet) où se situe cette étude. A partir de 30 sites échantillonnés sur l'île, nous considérons deux paramètres environnementaux à fortes contraintes: d'une part le gradient altitudinal car l'espèce se rencontre depuis la côte jusqu'à 800 m d'altitude et, d'autre part l'habitat dont la typologie est basée sur la couverture végétale (Bryophytes, Fougères, Angiospermes, Lichens) et sur la minéralogie du sol de surface. Les mollusques n'ayant pas la capacité d'accumuler des minéraux tel que le calcium dans leurs tissus, la diversité des ressources minérales dans le sol est supposée influencer sur le processus de biominéralisation. Or, *N. hookeri* est capable d'extraire du calcium de la litière végétale (Smith et al. 1992) et utilise le sol comme une ressource trophique.

Chez cet escargot de petite taille (grand diamètre de coquille  $\leq 7$  mm) l'hypothèse retenue est celle d'une capacité de dispersion inférieure à la taille du grain environnemental. La réponse attendue est la coexistence de phénotypes adaptés localement et dont les traits sont transmis de génération en génération. Pour répondre à l'objectif, nous avons adopté une approche pluridisciplinaire incluant (1) l'observation de la microstructure de la coquille par microscopie à balayage sur chaque site et en tenant compte de l'âge des escargots, (2) l'étude des sols par diffraction aux rayons X en ciblant sur leur disponibilité en calcium, (3) une analyse multivariée (RDA) pour associer les mesures morphométriques aux paramètres environnementaux, (4) la composition organique des couches de la coquille par résonance magnétique nucléaire à l'état solide, par chromatographie en phase liquide (UPLC) et par analyse protéomique.

A notre connaissance, cette étude est la première du genre chez les gastéropodes. Elle révèle l'importance de la microstructure de la coquille en tant que trait d'histoire de vie illustrant la pression de sélection sur des organismes dans un environnement hétérogène et contraignant. Par sa présence sur plusieurs îles subantarctiques (Kerguelen, Heard Island, Marion Island et South Georgia Island) *N. hookeri* est un excellent modèle pour appréhender dans le futur (1) l'histoire de la colonisation des îles par l'espèce grâce à une approche phylogéographique et (2) les valeurs adaptatives (comportementales, physiologiques) d'un polymorphisme microstructural de la coquille entre populations au sein de l'île de la Possession ainsi qu'entre les populations d'îles différentes.

#### Références

- DeWitt T.J., A. Sih and D.S. Wilson (1998), Costs and limits of phenotypic plasticity, *TREE*, 13, 77-81.
- Hinman, V. F., E.K. O'Brien, G.S. Richards and B.M. Degnan (2003), Expression of anterior Hox genes during larval development of the gastropod *Haliotis asinina*, *Evol. Dev.*, 5, 508-521.
- Hollander, J., M.L. Collyer, D.C. Adams and K. Johannesson, (2006), Phenotypic plasticity in two marine snails: constraints superseding life history, *J. Evol. Biol.*, 19, 1861-1872.
- Levins R. (1968) *Evolution in changing environments: some theoretical explorations*. Princeton University Press, 120pp.
- Madec, L. and A. Bellido (2007), Spatial variation of shell morphometrics in the subantarctic snail *Notodiscus hookeri* from Crozet and Kerguelen Islands, *Polar Biol.*, 30, 1571-1578.
- Smith, V. R. and M. Steenkamp (1992) Macroinvertebrates and litter nutrient release on a sub-Antarctic island. *S. Afr. J. Bot.*, 58, 105-116.

## L'hydrothermalisme sur les Iles de Kerguelen : minéralogie, géochimie des fluides et gaz hydrothermaux et nouveaux écosystèmes microbiens

■ (15 minutes)

V. Chavagnac<sup>1</sup>, C. Boulart<sup>1</sup>, D. Guillaume<sup>1</sup>, A. Gramain<sup>2</sup>, M. Le Romancer<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Géosciences Environnement Toulouse (GET UMR5563, CNRS/UPS/IRD/CNES), Observatoire Midi-Pyrénées, Université de Toulouse, Toulouse, 31400, France ([chavagnac@get.obs-mip.fr](mailto:chavagnac@get.obs-mip.fr); [boulart@get.obs-mip.fr](mailto:boulart@get.obs-mip.fr); [guillaume@get.obs-mip.fr](mailto:guillaume@get.obs-mip.fr))

<sup>2</sup> Université de Brest, Institut Universitaire Européen de la Mer, UMR 6197, Technopôle Brest-Iroise, Plouzané, 29280, France ([marc.leromancer@univ-brest.fr](mailto:marc.leromancer@univ-brest.fr))

### Résumé

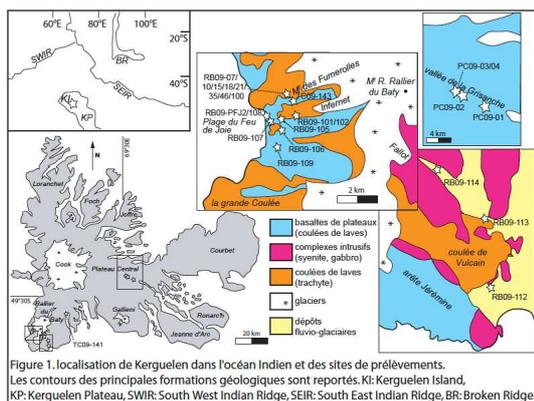
L'activité volcanique moderne sur les îles Kerguelen est attestée par la présence de nombreuses fumerolles et des décharges hydrothermales acides et basiques (<100°C). Les fluides hydrothermaux sont très majoritairement de type Na-Cl, dérivés d'un réservoir souterrain d'eau de mer datant probablement de la dernière glaciation. Ils représentent le dernier stade atteint lors de l'interaction eau de mer - basalte, à différentes températures et dilués avec des eaux météoriques superficielles, conduisant à la formation de groupes de fluides hydrothermaux distincts. Ils sont affectés à différentes profondeurs soit par l'oxydation de gaz réducteur, exprimé par l'ajout de sulfate, ou par l'interaction avec des fumerolles riches en CO<sub>2</sub> d'origine magmatique, conduisant à la conversion du CO<sub>2</sub> dissous à de l'HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Les émissions de gaz observées au sein de ces rejets hydrothermaux sont riches en N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> et H<sub>2</sub> dont les deux derniers dérivent du dégazage magmatique et des interactions eau - roche, et d'hydrocarbures (CH<sub>4</sub>), principalement produits par des réactions de Fischer-Tropsch en profondeur. Ces fluides sont associés avec des communautés microbiennes extrémophiles composées de nombreux nouveaux taxons archéens représentant de nouvelles lignées non décrites à ce jour.

### Introduction

Nous présentons les résultats préliminaires sur la composition chimique des fluides et gaz hydrothermaux ainsi que sur la caractérisation minéralogique des dépôts hydrothermaux associés. En outre, nous apportons des évidences pour des communautés microbiennes extrémophiles et jusqu'alors non identifiées en plein essor dans ces fluides.

### Observations, résultats et discussion

#### Les sites hydrothermaux



Les sites hydrothermaux étudiés sont situés sur le Plateau Central (PC) et sur la péninsule Rallier du Baty (RB) (Fig. 1). Ils ont été échantillonnés au cours de deux campagnes d'été des programmes IPEV-HOTVIR 408 et IPEV-DYLIOKER 444, en 2008-2009 et 2009-2010. Les fluides hydrothermaux se déchargent à travers les basaltes de plateau pour PC, ou des basaltes de plateau et des complexes magmatiques différenciés et des laves récentes pour RB. Tous les sites d'événements sont situés au-dessus du niveau de la mer à des altitudes de 0 à 300m. Des émissions de gaz peuvent être observées soit par bullage dans les décharges hydrothermales, soit la production de fumerolles expulsées des zones de fracturation.

#### Les associations minéralogiques hydrothermales

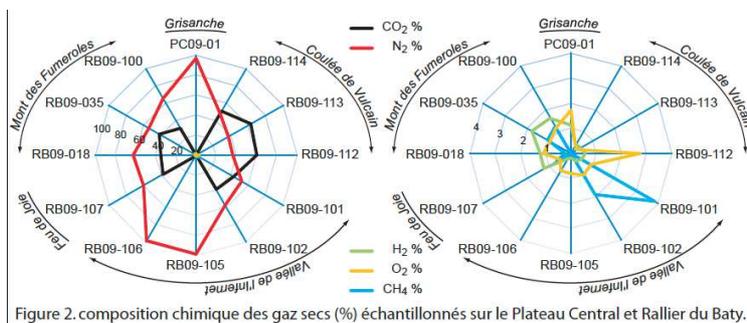
Les précipités se présentent sous forme d'un dépôt non-induré déposé dans des flaques, de dépôts recouvrant des graviers et des roches, ou de cônes indurés construits. Des minéraux argileux sont observés dans la plupart des échantillons. Les précipités sont également composés de mélanges variables de silicates, de calcite, d'oxydes de Fe-Ti-Mn et des sulfures. Les silicates sont de la silice amorphe (RB09-107 et RB09-108) ou feldspaths (Vallée de l'Infernet et le Mont des fumerolles). La calcite est seulement présente dans les échantillons provenant de la Vallée de l'Infernet. Le soufre est présent sous forme de pyrite dans des échantillons provenant du Mont des fumerolles, sous forme de gypse et de barytine dans RB09-108 et de soufre- $\alpha$  dans RB09-107. Les dépôts enrobant des graviers ou des roches sont

constitués de couches alternées de silice amorphe et de la calcite avec de la pyrite, des oxydes de Fe, des argiles et des silicates intercalées. Dans le cas des cônes indurés, des tubes constitués de silice amorphe sont observés, avec parfois de la calcite remplissant la porosité.

### La composition chimique des fluides hydrothermaux

Les fluides hydrothermaux sont généralement répartis en trois grands types de fluides primaires (type Na-Cl, l'acide-sulfate et saumures (Arnorsson et al., 2007), dont la composition chimique peut être modifiée par différents processus tels que, entre autres, la séparation de phase des fluides, le mélange avec un gaz enrichi en CO<sub>2</sub> à partir d'une source en profondeur, ou un mélange à moindre profondeur avec des eaux de surface. À Kerguelen, les fluides hydrothermaux sont de type Na-Cl, comme l'atteste la relation linéaire positive entre les concentrations en Na et Cl. Les concentrations en cations peuvent être utilisées pour évaluer le degré d'équilibrage thermodynamique du fluide percolant avec la roche hôte, selon le modèle de Giggenbach (Giggenbach, 1988). L'essentiel des échantillons (en dehors de RB09-108, RB09-RB09 et PFJ2-18) ne suivent pas la courbe d'équilibre ce qui indique que la dissolution de roche agit comme le processus principal pour modifier la composition chimique des fluides, i.e. des fluides immatures. Dans l'ensemble, le rapport molal Cl/B diminue avec une température croissante des fluides hydrothermaux et varie de 10 (Plateau Nord des fumerolles) à 160 (Vallée de l'Infernet et Manchotière). Leurs compositions chimiques sont modifiées en raison de l'adsorption du CO<sub>2</sub> et l'oxydation des gaz réducteurs (par exemple H<sub>2</sub>S, H<sub>2</sub>), comme en témoignent des valeurs de pH essentiellement centrées autour de 6 et la présence de calcite.

### La composition chimique des gaz hydrothermaux



Tous les échantillons de gaz contiennent de la vapeur d'eau à des concentrations supérieures à 73,2% et jusqu'à 93,4%. Le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) est le principal composant des gaz secs, en lien avec l'activité volcanique, suivis par le méthane (CH<sub>4</sub>) et de l'hydrogène (H<sub>2</sub>). L'oxygène (O<sub>2</sub>) est présent à des concentrations bien en dessous des niveaux atmosphériques (382 à 3850 ppmv) ainsi que l'azote (N<sub>2</sub>, 5 à 26,4%). Les échantillons de gaz prélevés dans la Vallée de l'Infernet, sur le Plateau Nord des fumerolles et à la

Manchotière contiennent de fortes concentrations en CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> et H<sub>2</sub> par rapport à d'autres sites (Figure 2). Les concentrations élevées en N<sub>2</sub> sont expliquées par un enrichissement important en eau météorique superficiel. Dans tous les échantillons, les rapports O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> (0,21 à 1,83) sont beaucoup plus faibles que les valeurs atmosphériques de 3,73, ce qui est probablement dû à la consommation d'O<sub>2</sub> lors de l'oxydation des gaz réducteurs. Les concentrations en CO<sub>2</sub> présentent une importante variabilité d'un échantillon à l'autre (111 ppmv dans la Vallée de la Grisanche jusqu'à 84170 ppmv dans la Coulée de Vulcain), principalement en raison des degrés variables d'interaction entre les eaux, des vapeurs riches en CO<sub>2</sub>, les eaux souterraines et les roches encaissantes. Le CO<sub>2</sub> est considéré comme un traceur du processus de dégazage de source magmatique. Les valeurs du δ<sup>13</sup>C du CO<sub>2</sub> varient de -7,5 à -3,6‰ (Delorme et al., 1994), caractéristique du carbone mantellique (Moore et al., 1977). Une contribution à partir d'un réservoir profond est confirmée par les fortes concentrations en H<sub>2</sub> et CO<sub>2</sub> et par la relation linéaire entre les concentrations en CH<sub>4</sub> et H<sub>2</sub>. Le CH<sub>4</sub> est principalement d'origine abiogénique et produit par réaction Fisher-Tropsch selon la réduction du CO<sub>2</sub> par l'H<sub>2</sub> à des températures comprises entre 200°C et 400°C. Nous pouvons exclure une origine biogénique du méthane puisque la couverture végétale est très faible, les archaées méthanogènes sont absentes dans les communautés microbiennes résidentes, et le δ<sup>13</sup>C des fumerolles a une valeur mantellique.

### Les écosystèmes microbiens associés aux décharges hydrothermales

Les sources hydrothermales terrestres accueillent une diversité de microorganismes hyper/thermophiles appartenant aux domaines Bacteria et Archaea. Ces communautés procaryotes sont en grande partie influencées par la température, bien que d'autres facteurs abiotiques, tel le pH par exemple, jouent aussi un rôle. La composition chimique et les concentrations en gaz (CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S et CH<sub>4</sub>) suggèrent que les métabolismes anaérobies prévalent dans ces environnements. Nous avons évalué la diversité microbienne sur le Plateau Nord des Fumerolles et à la Manchotière dans des fluides hydrothermaux acide (RB09-07 : 97,8°C, pH = 5,52), neutre (RB09-21 : 96,4°C, pH = 7,47) et alcalin (RB09-PFJ2 : 99,4°C, pH = 9,73), en identifiant les séquences du gène codant l'ARNr 16S. Les communautés archéennes présentent dans les vapeurs émanant de ces sources d'eau chaude ainsi dans une fumerolle (RB09-46, 100°C) ont également été étudiés.

L'analyse des séquences obtenues à partir des différents échantillons a montré qu'à l'exception de quelques rares séquences affiliées au phylum des Euryarchaeota, plus précisément à l'ordre des Thermoplasmatales (microorganismes spécifiquement acidophiles), la grande majorité s'enracine au contraire dans le phylum des Crenarchaeota. De plus, et à l'exception d'un petit groupe de séquences, très minoritairement représentées, affiliées à la crenarchée hyperthermophile neutrophile *Ignisphaera aggregans* (une bactérie anaérobie thermophile modérément acidophile et hétérotrophe (Niederberg et al., 2006) toutes les autres séquences appartiennent à des archées hyperthermophiles phylogénétiquement distantes des taxons jusqu'alors isolé et décrit. Des résultats novateurs, comme la détection de signatures ADN d'archées thermophiles et hyperthermophiles non classifiées, la découverte de signatures potentiellement affiliées à la classe des Thermoprotei ou encore de séquences ADN probablement affiliées à un phylum récemment découvert (les Thaumarchaeota), contribuent à élargir notre connaissance de la diversité archéenne vivant dans ce type d'environnement (Gramain et al., 2010 et 2011).

## Conclusion

Nous décrivons la composition chimique des fluides et gaz hydrothermaux de l'Ile de Kerguelen. Nous montrons que ces décharges sont toutes des eaux immatures, qui proviennent d'un réservoir d'eau de mer souterraine. Ils remontent à la surface, selon des trajectoires individuelles, interagissant avec les roches volcaniques à différentes températures et avec des vapeurs riches en CO<sub>2</sub>, puis dilués, à des niveaux plus superficiels, avec des eaux météoriques. Les émissions de gaz sont riches en CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> (produit par dégazage du magma et l'altération du basalte) et de CH<sub>4</sub>, principalement produit par réaction Fisher-Tropsch. Selon la composition chimique des fluides hydrothermaux, l'assemblage minéralogique varie de soufre- $\alpha$  associé à la silice amorphe à la précipitation de silicates conjointement avec la calcite, les oxydes, les sulfures et les minéraux argileux. En outre, les fluides hydrothermaux sont associés avec des communautés microbiennes hyper/thermophiles dont la richesse et la singularité spécifique est extrêmement forte. Enfin, nous calculons que l'activité hydrothermale peut produire un flux total de Fe dissous du même ordre de grandeur que celui des sources hydrothermales sous-marines profondes, suggérant le rôle crucial des sources hydrothermales dans le cycle géochimique global du Fe dissous.

## Références

- Arnórsson, S., Stefánsson, A., Bjarnason J.O., 2007. Fluid-fluid interactions in geothermal systems. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry* 65, 259-312.
- Delorme, H., Verdier, O., Cheminée, J.-L., Giret, A., Pineau, F., Javoy, M., 1994. Etude chimique et rapport isotopique du carbone des fumerolles de la péninsule Rallier du Baty (Iles Kerguelen). *Mémoire de la Société Géologique de France*, 166, 25-30.
- Giggenbach, W.F., 1988. Geothermal solute equilibria: Derivation of Na-K-Mg-Ca geothermometers. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 52, 2749-2765.
- Gramain, A., Brillet, F., Birrien, J.L., Le Chevalier, P., Saragoni, G., Le Romancer, M. 2010. From hot spring to steam: dispersal of the thermophilic archaeal communities of the Kerguelen Archipelago. 8th International Conference on Extremophiles, Sao Miguel, Azores, Portugal, September 12-16
- Gramain, A., Brillet, F., Birrien, J.L., Le Romancer, M. 2011. Novel hyperthermophilic Archaea flying over from the cold Kerguelen Islands: a dissemination study. *Thermophiles 2011*, Big Sky, USA, September 10-16.
- Moore, J.G., Barchelder, J.N., Cunningham, C.G., 1977. CO<sub>2</sub>-filled vesicles in mid-ocean basalts. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 2, 309-327.
- Niederberger, T.D., Gotz, D.K., McDonald, I.R., Ronimus, R.S., Morgan, H.W., 2006. *Ignisphaera aggregans* gen.nov., sp. Nov., a novel hyperthermophilic crenarchaeote isolated from hot springs in Rotorua and Tokaanu, New Zealand. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology* 56, 965-971.

## New Data on Crustal Rocks from the Kerguelen Archipelago

■ (5 minutes)

J. Chevet<sup>1</sup>, M. Grégoire<sup>2</sup>, M.C. Gerbe<sup>3</sup>, D. Guillaume<sup>4</sup>, S.Y. O'Reilly<sup>5</sup>, J.Y. Cottin<sup>6</sup>

<sup>1</sup>(june\_chevet@hotmail.com)

<sup>2</sup>GET, CNRS-IRD-Université Paul Sabatier, Toulouse, 31400, France (gregoire@lmtg.obs-mip.fr)

<sup>3</sup>LTL, Université Jean Moulin, Saint-Etienne, 42023, France (gerbe@univ-st-etienne.fr)

<sup>4</sup>GET, CNRS-IRD-Université Paul Sabatier, Toulouse, 31400, France (damien.guillaumeSPAMFILTER@get.obs-mip.fr)

<sup>5</sup>GEMOC, Macquarie University, Sydney, 2109, Australia (sue.oreilly@mq.edu.au)

<sup>6</sup>LTL, Université Jean Moulin, Saint-Etienne, 42023, France (Jean.Yves.Cottin@univ-st-etienne.fr)

### Résumé

Les études préalables sur l'Archipel de Kerguelen ont permis d'acquérir une bonne connaissance de la nature et de l'évolution du manteau lithosphérique ainsi que des basaltes de surface. Cependant la nature de la croûte océanique située entre ces deux niveaux dans un contexte de croûte océanique épaissie reste relativement mal connue. Cette étude présente de nouvelles données pétrographiques et géochimiques de cumulats mafiques et ultramafiques provenant de différents niveaux de la croûte océanique. Ces données ont permis de montrer une évolution génétique depuis le manteau lithosphérique jusqu'aux basaltes de surface mais également de mettre en évidence une percolation par des magmas alcalins des couches profondes de la croûte océanique.

### Introduction

The Kerguelen Islands have been the topic of many petrologic, geochemical, isotopic, petrophysical and seismic studies, which have mainly focused on flood basalts and ultramafic xenoliths brought up to the surface by alkaline basalts. These studies have resulted in a large improvement of the nature and evolution of the Kerguelen Archipelago basalts and lithospheric mantle. The aim of the present study is to investigate the nature and evolution of intermediate levels of a thick oceanic crust (15-20 km) in this particular (oceanic plateau) geological setting. Previous studies on the Kerguelen plutonic rocks focused on the differentiated plutonic massifs at the archipelago scale (Giret, 1983; Giret and Lameyre, 1984; Weis and Giret, 1994) or on a particular massif (Val Gabbro, Scoates et al., 2007). This work presents a comprehensive petrographic and geochemical study of mafic/ultramafic magmatic crustal xenoliths, which have been transported to the surface by the Kerguelen alkaline magmas.

### Observations and Results

#### *Petrography*

Mafic xenoliths (Vallée Ring and Ile Haute) are relatively homogeneous and mostly consist of various modal proportions of clinopyroxene and plagioclase, resulting in typical modes of gabbroic rocks +/- opx. Ultramafic xenoliths (Aubert de la Rue) are made of large alternating clusters of olivine and pyroxene in variable proportions. Olivine clusters often contain interstitial clinopyroxene and sometimes orthopyroxene. Pyroxenes clusters are mainly made of orthopyroxene with rare interstitial or neoblastic clinopyroxene but the latter might also occur as coarse grains. Both mafic and ultramafic rocks show secondary minerals due to low-temperature alteration.

In ultramafic xenoliths, magmatic percolation after the main crystallisation stage is suggested by common interstitial clinopyroxene and by the occurrence of clinopyroxene exclusively as neoblasts in some samples. It is also evidenced by the resorption of orthopyroxene during crystallisation of secondary clinopyroxene, which indicates that the orthopyroxene is not in equilibrium with the percolating parental melt of clinopyroxene. Such secondary clinopyroxene occur in all the studied ultramafic cumulates from Aubert de la Rue Peninsula, however primary clinopyroxene also occurs in some samples. The evidence presented above for investigated ultramafic samples indicate an origin as deep-seated cumulates around from the mantle/crust boundary that underwent melt percolation at the end stages of crystallization to form hybrid rocks.

#### *Whole-rock trace-element compositions*

The rare-earth elements (REE) chondrite-normalised patterns of the xenoliths from Aubert de la Rue are relatively homogeneous but the one of the clinopyroxenite CT02-346 is different (Fig. 1a, b and c). REE concentrations are low for the four homogeneous samples (close to chondritic values) but higher for the clinopyroxenite. The REE patterns of gabbroic xenoliths from Vallée Ring and Ile Haute are relatively homogeneous (Fig. 1). The similarity of REE patterns from Vallée Ring and Ile Haute gabbroic xenoliths and from Aubert de la Rue ultramafic xenoliths with those of the

tholeiitic-transitional mantle/crust cumulates and tholeiitic-transitional frozen basaltic melt xenoliths (Grégoire et al., 1998) rather than with the Val Gabbro ultramafic cumulates (Scoates et al., 2007) suggest a tholeiitic-transitional affinity.

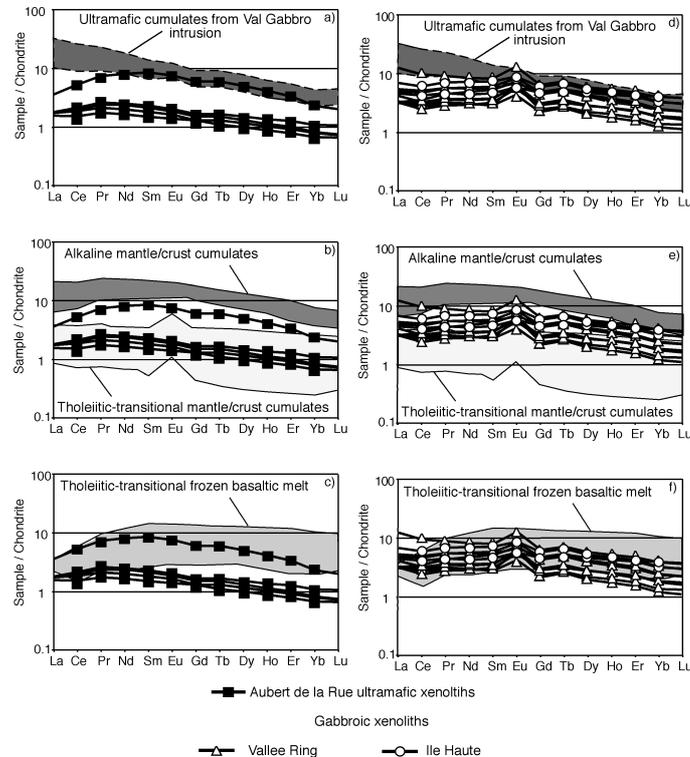


Fig. 1: Whole-rock REE patterns of ultramafic xenoliths from Aubert de la Rue (a, b and c) and of gabbroic xenoliths from Vallée Ring and Ile Haute (d, e and f).

### Trace-element compositions in clinopyroxene

Cpx from the Aubert de la Rue ultramafic samples display REE patterns similar to those from cpx of alkaline cumulates and lavas from the Kerguelen Archipelago (Moine 2000, Grégoire, personal communication) but their REE concentration is slightly lower (LREE around 10 times the chondrites). Cpx from gabbroic rocks display lower REE concentrations (LREE around 1 to 10 times the chondrites) and their patterns are similar to those from tholeiitic-transitional cumulates and lavas from the Kerguelen Archipelago.

### Discussion and Conclusion

The mineralogical and geochemical studies provided evidences that investigated ultramafic and gabbroic xenoliths are cumulates. Ultramafic cumulates from Aubert de la Rue probably crystallised at shallower levels than the mantle/crust cumulates, they might represent deep cumulates from the mantle-crust boundary and the lower crust.

Whole-rock and *in situ* data have evidenced geochemical evolution from the mantle/crust cumulates (Grégoire et al., 1994, 1998 and 2001) to the ultramafic and gabbroic cumulates and ultimately to the intrusive rocks. Therefore deep and shallow crustal cumulates are genetically linked to both the mantle/crust cumulates and to the intrusive rocks and therefore to the basalts of the Kerguelen Archipelago.

The whole-rock REE patterns of the ultramafic cumulates from Aubert de la Rue indicate a tholeiitic-transitional magmatic affinity, consistent with the presence of opx in those rocks but not with the REE patterns of their cpx that are more indicative of an alkaline affinity. The whole-rock and cpx REE patterns of Vallée Ring and Ile Haute gabbroic cumulates both display a tholeiitic-transitional affinity.

The theoretical liquids in equilibrium with cpx from Aubert de la Rue ultramafic cumulates represent a highly alkaline magmatic affinity. As already argued, the petrographic study has evidenced that cpx crystallised at the expense of opx probably during a second stage melt infiltration and circulation. Therefore the discrepancy observed between the magmatic affinity evidenced by the whole-rock data and that evidenced by cpx, might be explained by such a second

stage circulation involving an alkaline magma, that crystallised cpx, in the pre-existing tholeiitic-transitional ultramafic cumulates. The deep tholeiitic-transitional ultramafic cumulates from the Kerguelen Archipelago are probably early cumulates of the Kerguelen tholeiitic-transitional basaltic series occurring at the surface of the Archipelago.

The second-stage circulation of alkaline magma into pre-existing tholeiitic-transitional cumulates from Aubert de la Rue likely occurred at deep levels before the xenoliths were brought up to the surface. Indeed some of the secondary cpx are neoblasts indicating that their host rocks had undergone deformation and/or recrystallisation. The alkaline magmas that percolated the deep tholeiitic-transitional ultramafic cumulates from Aubert de la Rue are probably related to the Kerguelen Plume activity. Indeed the REE patterns of the theoretical liquids in equilibrium with cpx are relatively similar to the whole-rock REE patterns of Aubert de la Rue intrusive rocks and display highly alkaline magmatic affinity, as recorded by the more recent magmatic events of the Kerguelen Archipelago.

The calculated liquids in equilibrium with cpx from the Vallée Ring and Ile Haute gabbroic cumulate display a tholeiitic-transitional affinity. These rocks are probably cumulates from the early tholeiitic-transitional basaltic series of the Kerguelen Archipelago similar to the early tholeiitic-transitional mantle/crust cumulates. They do not display evidence of any second stage magmatic percolation process.

### References

- Giret, A., (1983). Le plutonisme océanique intraplaque, exemple des îles Kerguelen. *Comité National Français des Recherches Antarctiques* 54, 290p.
- Giret, A. and Lameyre, J., (1984). A study of Kerguelen plutonism: petrology, geochronology and geological implications. *Antarctic Earth Science: Cambridge University Press*, 646-651.
- Grégoire, M., Mattielli, N., Nicollet, C., Cottin, J.-Y., Leyrit, H., Weis, D., Shimizu, N. and Giret, A., (1994). Oceanic mafic granulite xenoliths from the Kerguelen Archipelago. *Nature (London)*, 367, no.6461, 360-363.
- Grégoire, M., Cottin, J.Y., Giret, A., Mattielli, N. and Weis, D., (1998). The meta-igneous xenoliths from Kerguelen archipelago: evidence of continent nucleation in an oceanic setting. *Earth and Planetary Science Letters* 133, 259-283.
- Grégoire, M., Jackson, I., O'Reilly S.Y. and Cottin J.Y., (2001). The lithospheric mantle beneath the Kerguelen Islands (Indian Ocean): Petrological and petrophysical characteristics of mantle mafic rock types and correlation with seismic profiles. *Contrib. Mineral Petrol.* 142, 244-259.
- Moine, B. N., Cottin, J.-Y., Sheppard, S. M. F., Grégoire, M., O'Reilly, S. Y. and Giret, A. (2000). Incompatible trace element and isotopic (D/H) characteristics of amphibole- and phlogopite-bearing ultramafic to mafic xenoliths from Kerguelen Islands (TAAF, South Indian Ocean). *European Journal of Mineralogy* 12, 761-777.
- Scoates, J.S., Weis, D., Franssens, M., Mattielli, N., Ansell, H., Frey, F.A., Nicolaysen, K. and Giret, A., (2007). The Val gabbro plutonic suite: A Sub-volcanic Intrusion emplaced at the end of Flood Basalt Volcanism on the Kerguelen Archipelago. *Journal of Petrology*, 01-27.
- Weis, D. and Giret, A., (1994). Kerguelen plutonic complexes: Sr, Nd, Pb isotopic study and inferences about their sources, ages and geodynamic setting. *Bulletins de la Société Géologique de France* 166, 47-59.

## **2048, et si le Protocole au Traité sur l'Antarctique relatif à la protection de l'environnement en Antarctique était en danger ?**

■ (15 minutes)

A. Choquet<sup>1</sup>,

<sup>1</sup>Enseignant chercheur en droit à l'Ecole Supérieure de Commerce, Brest, (anne.choquet@esc-bretagne-brest.com)

### **Résumé**

Lorsqu'on évoque l'Antarctique, on se représente souvent des explorateurs et également des scientifiques bien emmitoufflés à observer des oiseaux ou à percer les glaces à la recherche d'éléments pour mieux comprendre notre passé et mieux appréhender le futur. On oublie souvent le fait que, comme toute région du monde, les entreprises s'intéressent aussi aux régions polaires pour leurs ressources naturelles et minérales.

Que ce soit au Nord, en Arctique, ou au Sud, en Antarctique, les appétits d'appropriation et d'exploitation s'amplifient. En Arctique, la fonte des glaces laisse envisager l'ouverture de nouvelles routes maritimes mais également l'exploitation de ressources minérales. En Antarctique, les activités touristiques et non-gouvernementales sont en pleine expansion. En 1991, elles sont devenues, avec la pêche, les seules activités commerciales que connaisse aujourd'hui la région australe.

### **L'Antarctique, une réserve naturelle consacrée à la paix et à la science**

C'est d'ailleurs en ce sens qu'a été saluée l'adoption en 1991 du Protocole de Madrid au Traité sur l'Antarctique relatif à la protection de l'environnement en Antarctique. Les Etats y ont fait de l'Antarctique une réserve consacrée à la paix et à la science. Le Protocole constitue ainsi une réponse aux critiques sévères formulées à l'encontre de la Convention sur la réglementation des activités relatives aux ressources minérales de l'Antarctique (Wellington, 1988) qui aurait offert un cadre juridique aux activités minières antarctiques.

Le Protocole de Madrid interdit ainsi toute activité relative aux ressources minérales de l'Antarctique, autres que la recherche scientifique. Certes des considérations environnementales ont certainement été déterminantes dans le choix d'une telle prohibition. Il ne faut cependant pas négliger le fait que le coût de l'exploitation des ressources et les problèmes de logistique pour opérer dans la région ont certainement également contribué à un tel accord. Il est en effet toujours plus facile d'empêcher une activité qui n'a pas encore commencé.

### **De la difficulté de dates butoirs dans un traité**

Vingt ans ont passé. On sait que la technologie a fortement évolué. Les contraintes techniques ne seraient plus aussi contraignantes qu'elles ont pu l'être. On sait également qu'en période de récession économique, les préoccupations économiques risquent de l'emporter sur les préoccupations purement environnementales. L'augmentation du prix du pétrole et des minerais fait qu'aujourd'hui certaines activités effectivement coûteuses deviennent économiquement viables. La région antarctique peut ainsi faire l'objet de nouvelles pressions afin d'en exploiter ses ressources minérales.

L'année 2048 est souvent mise en avant comme une année butoir à partir de laquelle tout serait possible. Comme le Traité sur l'Antarctique (Washington, 1959) l'avait fait avec une mention à une période s'étendant « trente ans après son entrée en vigueur », le Protocole contient lui aussi une référence à ce qui peut être envisagé avant et après « cinquante ans après son entrée en vigueur ». A partir de cette date, les conditions pour lever l'interdiction des activités relatives aux ressources minérales seraient plus souples. Adopté en 1991, le Protocole de Madrid est entré en vigueur en 1998. 2048, serait ainsi une année clé dans la vie du traité.

Face à une telle échéance, les entreprises et les Etats s'épient, s'intéressent de près aux initiatives de chacun. On reparle d'activités minières futures en Antarctique. La Fédération de Russie serait ainsi prête à des investigations sur les ressources minérales, les hydrocarbures et d'autres ressources naturelles de l'Antarctique.

Dans la mesure où la région pourrait devenir une destination intéressante pour notamment des compagnies pétrolières, il importe de voir la valeur qu'a aujourd'hui l'interdiction des activités relatives aux ressources minérales. Le Protocole au Traité sur l'Antarctique relatif à la protection de l'environnement en Antarctique serait-il en danger ?

Deux questions méritent ainsi d'être étudiées :

- Pourrait-on lever facilement l'interdiction des activités relatives aux ressources minérales de l'Antarctique ?
- Que se passerait-il si un Etat décidait unilatéralement d'ignorer le Traité sur l'Antarctique et le Protocole qui lui est associé et envisageait des activités minières plus tôt ?



Les Etats sont confrontés aux velléités d'entreprises avides de nouvelles activités commerciales dans des espaces qui se caractérisent par la fragilité de leur milieu naturel. Les risques de dommages à l'environnement sont manifestes. Les Etats ont à nouveau à relever le défi de prise de décisions internationales concrètes et contraignantes, ce qui suppose un mode de gouvernance approprié dans lequel protection de l'environnement et besoin de toujours plus de ressources s'opposent.

## Importance de la dynamique mésoéchelle sur l'écologie des prédateurs marins

■ (15 minutes)

C. Cotté<sup>1,2</sup>, F. d'Ovidio<sup>1</sup>, M. Lévy<sup>1</sup>, CA. Bost<sup>2</sup>, YH. Park<sup>3</sup>, AC. Dragon<sup>1</sup>, C. Guinet<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>CEBC-CNRS, Villiers en Bois, 79360, France (cecotte@cebc.cnrs.fr)

<sup>3</sup>LOCEAN/IPSL, Université Pierre et Marie Curie, MNHN, Paris, 75005, France

### Résumé

Le Courant Circumpolaire Antarctique (CCA) est dominé par une intense turbulence responsable de la structuration des masses d'eau et des écosystèmes. Cet environnement dynamique influence la production primaire, mais nous ignorons comment il conditionne les niveaux trophiques supérieurs. Ces vingt dernières années, le développement de la télémétrie a permis une avancée considérable de nos connaissances sur l'écologie des prédateurs en mer. Conjointement, les avancées de la technologie satellitaire pour la mesure des paramètres océanographiques a été essentiel pour appréhender la dynamique marine à l'échelle de l'océan mondial. Ces mesures ont rapidement constitué la base des études menées sur la dynamique mésoéchelle (de l'ordre de la centaine de kilomètres) et submésoéchelle (du kilomètre à la dizaine de kilomètres), le plus souvent définies par les tourbillons océaniques et les filaments. Nos études consistent donc à comprendre comment ces tourbillons et ces filaments influencent la distribution, les trajets, et le comportement des prédateurs marins par une approche pluridisciplinaire. En développant ici le cas des éléphants de mer de Kerguelen et des manchots royaux de Crozet, les tourbillons semblent ainsi jouer un rôle majeur dans le déplacement et la stratégie de recherche alimentaire des prédateurs marins supérieurs au niveau du CCA.

## L'alimentation en O<sub>2</sub> des fonds océaniques en période glaciaire par la plongée des saumures en Antarctique validée par CLIMBER-2, un modèle climatique de complexité intermédiaire

■ (5 minutes)

M.J.J. Couapel<sup>1</sup>, N. Bouttes<sup>2</sup>, D. Roche<sup>1</sup>, D. Paillard<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement CNRS-IPSL, France (martine.couapel@lsce.ipsl.fr)

<sup>2</sup>NCAS-Climate, Meteorology Department, University of Reading, Reading, UK

### Résumé

Il existe 3 principaux réservoirs de carbone dans le système terrestre : l'atmosphère, la biosphère et l'océan. La végétation étant réduite en période glaciaire, il est couramment admis que l'océan, qui est le plus gros réservoir, absorbe davantage de carbone durant cette période. L'oxydation de ce carbone supplémentaire dans l'océan aurait dû générer des périodes d'anoxie qui ne sont pas retrouvées dans les sédiments marins. Notre hypothèse est que cet important flux de carbone a été associé à un flux concomitant d'oxygène. Le mécanisme de formation accrue de saumures en période Glaciaire, lors de la prise de glace de mer sur de plus grandes surfaces, et leur plongée autour de l'Antarctique permet d'expliquer comment le carbone atmosphérique se retrouve piégé au fond de l'océan (Bouttes et al., 2010). Ce flux descendant de saumures riches en carbone vers l'océan profond augmente aussi sa stratification, améliorant ainsi le phénomène de piégeage du carbone. Cette théorie de la plongée des saumures a été testée avec succès pour le cycle du carbone, en ajoutant un mécanisme de formation de saumure (Bouttes et al., 2009) à *CLIMBER-2* un modèle climatique de complexité intermédiaire qui comprend atmosphère, océans, glace de mer et végétation. L'étude courante présente l'impact de la plongée de ces saumures sur le cycle de l'oxygène dans l'océan pour différents niveaux de saturation en oxygène de ces flux sombrant.

### Introduction

Les carottes de glace venant d'Antarctique ont enregistré des concentrations en CO<sub>2</sub> de l'atmosphère plus faible pendant les périodes Glaciaires que durant les Interglaciaires. L'étude de ces carottes montre aussi que le CO<sub>2</sub> a varié de façon très semblable à la température antarctique, au moins durant les 800 000 dernières années. En tant que gaz à effet de serre, le CO<sub>2</sub> joue un rôle important sur le climat et participe à expliquer les variations Glaciaire-Interglaciaire et il est important de comprendre quel est le mécanisme à l'origine des fluctuations de la teneur en CO<sub>2</sub> de l'atmosphère. Différentes hypothèses ont été émises pour expliquer les changements du cycle du carbone entre les périodes Glaciaires et Interglaciaires, mais aucune n'était totalement satisfaisante (eg. Hain et al., 2011) jusque récemment. L'augmentation de la formation de saumures au niveau de l'Antarctique lorsque la glace de mer est plus étendue pendant les périodes froides, et leur transport rapide vers l'océan profond est un mécanisme qui a été validé pour expliquer environ 60% des variations de CO<sub>2</sub> atmosphérique enregistrées dans les carottes de glaces (Bouttes et al., 2011). Ce mécanisme permet de transférer de grandes quantités de carbone vers l'océan profond mais aussi d'augmenter la stratification et donc d'être un puits de carbone particulièrement efficace en période glaciaire (Bouttes et al., 2009, 2010). Cette plongée rapide de carbone a dû être associée à une plongée concomitante d'oxygène puisque les sédiments marins déposés pendant les périodes glaciaires n'ont pas enregistré de période d'anoxie. Cette étude se concentre donc sur l'impact de la plongée des saumures en période glaciaire sur le cycle de l'oxygène dans l'océan.

### Méthodes et résultats

*CLIMBER-2* est utilisé pour tester l'impact de la plongée des saumures en période glaciaire dans l'Océan Austral, sur le cycle de l'oxygène. Pour cela la saturation systématique dans le modèle de la zone euphotique est remplacée par le calcul du flux d'oxygène entre atmosphère et océan qui est proportionnel à la différence de pression partielle d'oxygène entre ces 2 réservoirs, plus la production d'oxygène par la biosphère marine diminuée de la consommation par oxydation de la matière organique dans cette zone. Différentes concentrations en oxygène sont testées dans les saumures (0 à 120% de saturation en oxygène) pour définir l'impact de la plongée des saumures sur le cycle de l'oxygène océanique. Les simulations démarrent à -21 ka et tournent sur 25 ka, 60% des sels relâchés lors de la formation de glace de mer plongent dans les saumures et un facteur de 0.7 est appliqué à la dynamique verticale pour traduire l'augmentation de la stratification. Ces deux derniers paramètres ont été optimisés d'après le travail de Bouttes et al., 2010.

## Discussion et conclusion

Les différentes simulations prouvent l'importance du taux d'oxygène dans les saumures qui plongent sous la glace de mer dans l'Océan Austral pendant les périodes Glaciaires. Lorsque le mécanisme de formation des saumures n'est pas sélectionné, les simulations définissent l'océan profond comme partiellement anoxique. Au contraire lorsque les saumures plongent, l'océan profond respire et sa teneur en oxygène est fonction du taux de saturation en oxygène des eaux denses sombrant. Plus les saumures qui plongent au niveau de l'Océan Austral sont saturées en oxygène, plus l'océan profond global respire et plus la stratification verticale de l'océan est importante. Une légère sursaturation en oxygène des saumures permet d'obtenir un océan profond mondial totalement oxygéné. Ces résultats sont en parfait accord avec des observations océaniques actuelles où les teneurs en oxygène mesurées dans des saumures à Storfjorden au sud du Svalbard par Anderson et al., (2004) sont supérieures à la celles observées dans les eaux de surface.

Cette étude permet de valider le scénario de l'intensification de la formation et de la plongée de saumures sous la glace de mer de l'Océan Austral en périodes froides, au niveau du cycle de l'oxygène. Lorsque ce mécanisme est en place, un important transfert par les saumures de sels et de gaz dissous de la surface vers l'océan profond entraîne une diminution du CO<sub>2</sub> atmosphérique, une augmentation de la production biologique et une stratification de l'océan qui favorise le stockage de carbone dans l'océan profond pendant les périodes Glaciaires. La plongée concomitante du carbone et de l'oxygène dissous vers le fond océanique explique l'absence d'événements anoxiques dans les archives marines.

## Remerciements

Cette étude est financée par le CNRS dans le cadre de l'ANR CITRONNIER.

## Références

- Anderson, L.G., Falk, E., Jones, E.P., Jutterson, S. and Swift, J.H., (2004) Enhanced uptake of atmospheric CO<sub>2</sub> during freezing of seawater: A field study in Storfjorden, Svalbard, *Journal of Geophysical Research*, 109, C6, C06004.
- Bouttes, N., Paillard, D. and Roche, D., (2010), Impact of brine-induced stratification on the glacial carbon cycle, *Climate of the Past*, 6, 575-589.
- Bouttes, N., Roche, D. and Paillard, D., (2009), Impact of strong deep ocean stratification on the glacial carbon cycle, *Paleoceanography*, 24, PA3203.
- Bouttes, N., Paillard, D., Roche, D., Brovkin, V. and Bopp, L., (2011) Last Glacial Maximum CO<sub>2</sub> and  $\delta^{13}\text{C}$  successfully reconciled, *Geophysical Research Letters*, 38, L02705.
- Hain, M.P., Sigman, D.M., and Haug G.H., (2011) Shortcomings of the isolated abyssal reservoir model for deglacial radiocarbon changes in the mid-depth Indo-Pacific Ocean, *Geophysical Research Letters*, 38, L04604.

## L'obésité transitoire : une stratégie de survie en conditions hostiles

■ (5 minutes)

Cyril Degletagne<sup>1</sup>, Sophie Moitié<sup>1</sup>, Coralie Blanc<sup>1</sup>, Alain Géloën<sup>2</sup>, Mireille Raccurt<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Université de Lyon, UMR5023 Ecologie des Hydrosystèmes Naturels et Anthropisés, CNRS, Villeurbanne, 69622, France ([Cyril.degletagne@gmail.fr](mailto:Cyril.degletagne@gmail.fr))

<sup>2</sup> Université de Lyon, laboratoire CarMeN, Unité Mixte de Recherche 1060, INSERM, INSA de Lyon, France ([alain.geloen@insa-lyon.fr](mailto:alain.geloen@insa-lyon.fr))

### Contexte

Les espèces endémiques de l'Antarctique ont dû développer des adaptations physiologiques particulières pour assurer leur succès reproducteur. C'est le cas du manchot Adélie, naturellement adapté à des contraintes énergétiques sévères et dont le tissu adipeux blanc joue un rôle essentiel dans le maintien de l'équilibre de la balance énergétique face à l'alternance des phases de nourrissage intense et de restriction alimentaire qu'il subit tout au long de sa vie. Un adulte mâle peut grossir de 2 kg en 18 jours soit une augmentation de sa masse corporelle de 36% et peut perdre plus d'un tiers de sa masse lors de la couvaison. Ceci suggère une plasticité importante de son tissu adipeux blanc. Or, il est bien établi maintenant que le tissu adipeux blanc est constitué d'adipocytes hétérogènes en tailles. Il existe dans un même dépôt adipeux des petits et des gros adipocytes. Des travaux récents ont montré notamment chez l'homme que les gros adipocytes, cellules de stockage des triglycérides secrètent plutôt des adipokines pro-inflammatoires, alors que les petits adipocytes secrètent plutôt des adipokines anti-inflammatoires telle l'adiponectine. Chez l'humain obèse, le tissu adipeux est riche en gros adipocytes, la sécrétion alors majoritaire d'adipokines pro-inflammatoires pourrait créer un terrain favorisant le développement de maladies métaboliques. L'étude de la répartition en fréquence de tailles des adipocytes est donc un paramètre important qui permet de quantifier le potentiel pro ou anti-inflammatoire du tissu adipeux.

Le manchot a dû non seulement optimiser son rendement énergétique mais aussi développer des systèmes de protection pour gérer l'alternance d'obésité transitoire et de jeûne prolongé qui caractérise son cycle reproducteur. Nous avons d'abord analysé la plasticité du tissu adipeux blanc chez des manchots Adélie adultes par l'étude de la répartition en fréquences de tailles des adipocytes et ceci en fonction de leur état physiologique et nutritionnel. Quelles sont les variations de l'expression d'un homologue aviaire de l'adiponectine dans le tissu adipeux blanc ? Peut-elle être corrélée aux variations de la masse grasse, ou au contraire reste-elle constante quel que soit l'état nutritionnel du manchot?

### Résultats préliminaires

La plasticité du tissu adipeux a été mesurée à partir de biopsies de tissu adipeux sous-cutané prélevées sur deux groupes de manchots Adélie adultes : un premier groupe de manchots bien nourris (plus de 6 Kg, n = 10) capturés dès leur arrivée sur la colonie, un second groupe de manchots en restriction calorique (4 Kg, n = 10), car capturés en fin de période de reproduction, lors de la mue. Les échantillons préalablement fixés en acide osmique en Terre Adélie et rapatriés au laboratoire ont été analysés sur un « Multisizer Coulter Counter IV », qui permet de compter plusieurs milliers de cellules (en moyenne 20000 par échantillon) et d'établir une courbe de répartition en fréquences de taille des adipocytes. Nous avons observé une diminution globale de la taille des adipocytes chez les animaux en restriction alimentaire, en accord avec la diminution des réserves lipidiques. Une première étude par PCR semi quantitative montre une légère augmentation des ARNm codant pour un homologue aviaire de l'adiponectine dans le tissu adipeux des animaux en fin de mue par rapport aux animaux prélevés en début de saison. Si l'on prend en compte la densité cellulaire de la même masse de tissu dont les adipocytes sont plus ou moins riches en triglycérides (nourris/à jeun), cette augmentation des transcrits pourrait s'estomper. Il en résulterait une expression d'adiponectine quasiment stable qui signifierait le maintien d'un potentiel anti-inflammatoire protecteur.

### Conclusion et perspectives

Ces résultats préliminaires suggèrent que la grande plasticité du tissu adipeux blanc du manchot Adélie s'accompagne d'une régulation fine des processus pro/anti-inflammatoires que nous précisons dans la suite de notre étude. Une exploration de facteurs pro-inflammatoires comme le TNF alpha, l'utilisation de marqueurs cellulaires, *via* la détermination de la composition membranaire des adipocytes, et endocriniens, en mesurant la concentration plasmatique d'adiponectine devraient nous renseigner sur la réelle capacité du manchot Adélie à se protéger des effets délétères de l'obésité.



**Remerciements**

Ces recherches ont reçu le soutien logistique et financier de l'institut Paul Emile Victor (IPEV programme 131, Ornitho-thermo)

## Identifications morphologique et moléculaire d'Annélides prélevées au cours de la campagne CEAMARC

■ (5 minutes)

DENIS Françoise<sup>1,2</sup> – ETIENNE Claire<sup>1</sup>

<sup>1</sup> UMR BOREA 7208 Station de biologie marine MHNH Concarneau (fdenis@mnhn.fr)

<sup>2</sup> Université du Maine 72000 Le Mans

### Résumé

Au cours de la campagne CEAMARC, 112 lots d'annélides ont été prélevés sur 52 stations. Plus de 1000 individus ont été répertoriés. La plupart d'entre eux appartiennent à la classe des Polychètes. Cependant, certains d'entre eux semblent appartenir au taxon des Clitellata et certains vers à d'autres phylla. Treize familles ont été morphologiquement identifiées. Trois d'entre elles représentent près de 85% des individus. La localisation de ces échantillons montrent que ces familles ne présentent pas de répartition géographique claire quelque soit le critère environnemental retenu. Dans chacune de ces 3 familles, des échantillons morphologiquement différents ont été retenus pour réaliser une analyse d'identification génétique par barcoding. Les analyses génétiques de l'ensemble des échantillons sont en cours dans le but, soit de confirmer leur appartenance taxonomique par le 16s et la 18S, pour les spécimens d'autres taxons, soit dans le cadre d'une étude phylogéographique pour les espèces à large répartition.

## A la poursuite de la monophylie perdue (Nototheniidae, Teleostei) à l'aide de marqueurs moléculaires multiples

■ (15 minutes)

A. Dettai<sup>1</sup>, M. Berkani<sup>1</sup>, A.-C. Lautredou<sup>1</sup>, B. Li<sup>1</sup>, A. Couloux<sup>2</sup>, G. Lecointre<sup>1</sup>, C. Ozouf-Costaz<sup>1</sup>, C. Gallut<sup>1</sup>

<sup>1</sup> UMR 7138, Département Systématique et Évolution, MNHN, Paris, 75005, France ([adettai@mnhn.fr](mailto:adettai@mnhn.fr), [mohamed.berkani@hotmail.fr](mailto:mohamed.berkani@hotmail.fr), [lautredou@mnhn.fr](mailto:lautredou@mnhn.fr), [blaise.li@normalesup.org](mailto:blaise.li@normalesup.org), [lecointr@mnhn.fr](mailto:lecointr@mnhn.fr), [ozouf@mnhn.fr](mailto:ozouf@mnhn.fr), [cyril.gallut@upmc.fr](mailto:cyril.gallut@upmc.fr))

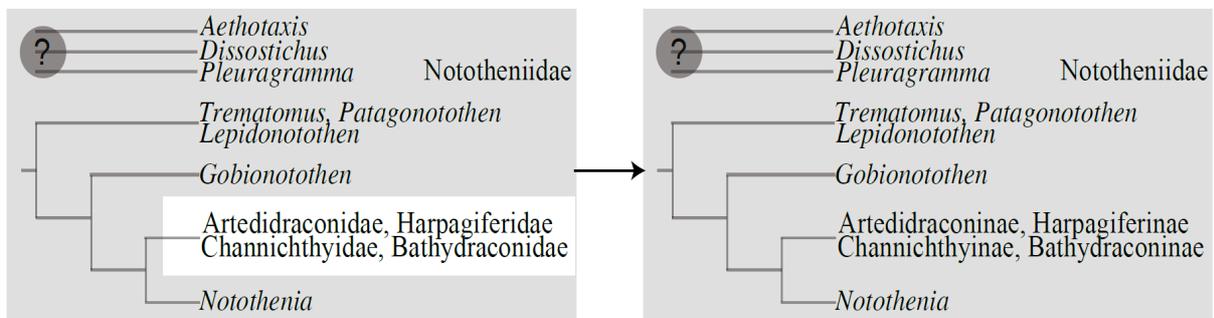
<sup>2</sup> Genoscope, Centre National de Séquençage, 91057 Évry cedex, France

### Introduction

Depuis 1994, les relations de parenté à l'intérieur du sous-ordre des Notothenioidei ont été largement étudiées par les méthodes moléculaires. Les premiers groupes à se séparer ont été établis de manière stable et convaincante (Bovichthidae, Pseudaphritidae, et Elegendinopidae dans cet ordre). Cependant, en ce qui concerne la famille des Nototheniidae, à de très rares exceptions près, toutes les études incluant un nombre suffisant de taxons ont indiqué que les quatre familles restantes du sous-ordre (Channichthyidae, Artedidraconidae, Bathydraconidae et Harpagiferidae) sont en fait incluses dans la famille. Or ces groupes sont très étudiés aussi bien pour leur importance dans les écosystèmes antarctiques que pour leurs adaptations exceptionnelles au milieu extrême qu'est l'Océan Austral. Une mauvaise connaissance des relations de parenté a des conséquences sur la validité de l'interprétation de toutes les données comparatives sur ces groupes. Des études récentes ont également manqué de retrouver la monophylie du groupe, mais avec relativement peu de marqueurs moléculaires (Near and Cheng 2008) ou un échantillonnage réduit (Rutschmann et al. 2011).

### Observations et résultats

Nous avons collecté de nouvelles données pour un large échantillonnage couvrant la plupart des genres de notothenioidei, aussi bien à l'intérieur des Nototheniidae que dans les autres familles. Quatre marqueurs nucléaires (le rétrogène de la rhodopsine, Pkd1, HECW2, et SSRP1) et un marqueur mitochondrial (COI) déjà décrits ont été séquencés, ainsi qu'un marqueur nucléaire qui n'avait jamais été utilisé auparavant en phylogénie, PPM1d.



Les analyses combinées pour tous les marqueurs, ainsi que celles pour la combinaison des marqueurs nucléaires donne une topologie semblable à celle obtenue dans les papiers précédents : les Channichthyidae, Artedidraconidae, Bathydraconidae et Harpagiferidae sont intégrés à l'intérieur des Nototheniidae, avec pour groupe frère le genre *Notothenia*, puis comme groupe frère de l'ensemble le genre *Gobionotothen*. De la même manière que dans les études précédentes, les genres *Trematomus*, *Lepidonotothen* et *Patagonotothen* forment un clade qui inclut également *Indonotothenia cyanobrancha*. Les positions de *Pleuragramma antarctica*, des deux espèces de *Dissostichus* et d'*Aethotaxis mitopteryx* ne sont pas stables et dépendent des marqueurs inclus dans l'analyse. *Paranotothenia magellanica* est inclus dans le genre *Notothenia*.

### Discussion et conclusion

Etant donné la répétabilité des résultats avec des études qui ne partagent ni échantillons, ni marqueurs moléculaires avec

la notre (Near and Cheng 2008 and Rutschmann et al. 2011), il est maintenant nécessaire de prendre en compte que pour comprendre l'histoire des Nototheniidae, il est indispensable d'inclure des quatre familles Channichthyidae, Artedidraconidae, Bathydraconidae et Harpagiferidae. Nous avons dans un article actuellement sous presse proposé de réunir ces cinq familles en une seule, les Nototheniidae, et de transformer les Channichthyidae, Artedidraconidae, Bathydraconidae et Harpagiferidae en sous-familles pour mieux rendre compte des relations de parenté et de l'évolution du groupe.

#### Remerciements

The present work was partly based on samples collected during the ICEFISH 2004 cruise (NSF grant OPP 01-32032), the CAML-CEAMARC cruises (IPY project no. 53, AAD, JSF, IPEV, CNRS, MNHN, ANR ANTFLOCKS USAR no. 07-BLAN-0213-01), the EPOS cruise (1989, Alfred Wegener Institute and ESF), samples from C. Cheng. This project is a contribution to the EBA-SCAR program. This work was supported by a BQR from the Muséum national d'Histoire naturelle "Isolation de marqueurs moléculaires pour la phylogénie inter-ordinale et la cytogénétique intra-familiale des acanthomorphes (teleostéens)"; ANR ANTFLOCKS USAR no. 07-BLAN-0213-01, the 'Service de Systématique Moléculaire (UMS 2700 CNRS) and the Consortium National de Recherche en Génomique (agreement number 2005/67 between the Genoscope and the Muséum national d'Histoire naturelle on the project 'Macrophylogeny of life').

#### Références

- Dettai, A., Berkani, M., Lautredou, A.-C., Li, B., Couloux, A., Lecointre, G., Ozouf-Costaz, C., Gallut, C. (In press). Tracking the elusive monophyly of nototheniid fishes (Teleostei) with multiple mitochondrial and nuclear markers. *Marine Genomics*.
- Near, T.J., Cheng, C.-H.C., (2008). Phylogenetics of nototheniid fishes (Teleostei: Acanthomorpha): inferences from mitochondrial and nuclear gene sequences. *Mol. Phylogenet. Evol.* 47, 832–840.
- Rutschmann, S., Matschiner, M., Damerau, M., Muschik, M., Lehmann, M.F., Hanel, R., Salzburger, W., (2011). Parallel ecological diversification in Antarctic nototheniid fishes as evidence for adaptive radiation. *Mol. Ecol.* 20, 4707–4721.

## Ecorégionalisation benthique en Terre Adélie

■ (15 minutes)

M. Eléaume<sup>1</sup>, A. Martin<sup>1</sup>, L. Hemery<sup>1</sup>, N. Améziane<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Muséum national d'Histoire naturelle, UMR7208-BOREA MNHN-CNRS-UPMC-IRD, Département Peuplement et Milieux Aquatiques, 43 rue Cuvier, 75005 Paris, France

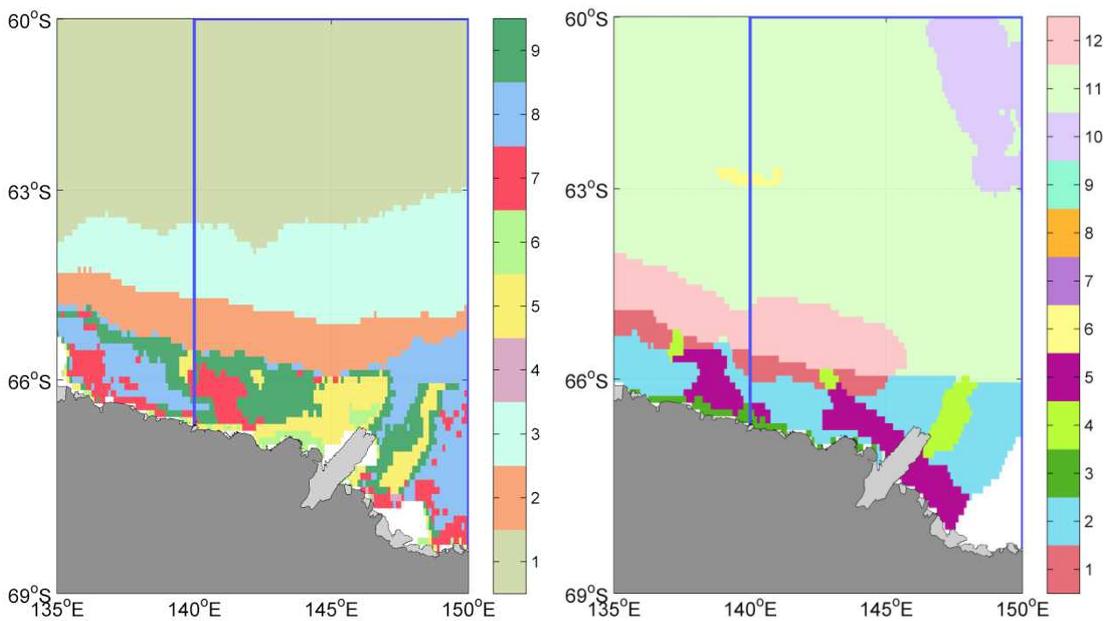
### Résumé

Dans le cadre de la création d'un réseau d'Aires Marines Protégées en Antarctique, la zone CEAMARC (Mer Dumont d'Urville) a été retenue comme pouvant faire partie de ce réseau circumpolaire. Les analyses des structures géomorphologiques et des communautés pélagiques de la région suggèrent que la zone CEAMARC présente de forts gradients écologiques. A cet argument nous proposons d'ajouter les arguments dérivés 1- de l'analyse des structures des communautés benthiques et de leur distribution ; et 2- de l'analyse de la structure génétique des populations d'invertébrés marins.

### Introduction

La problématique des Aires Marines Protégées (AMPs) dans l'océan Austral a été discutée dès 2005 au sein du groupe Ecosystem Monitoring Management (EMM) de la CCAMLR. En effet, l'océan Austral représente environ 10 % la surface des océans, et c'est une région marine très productive, encore peu anthropisée avec une diversité spécifique riche et des communautés particulières. Lors du SC CAMLR de 2008, onze zones d'intérêt potentiel pour des aires marines protégées dans l'océan Austral ont été définies. La définition de ces zones a été déterminée à partir de la biorégionalisation pélagique de l'océan Austral. Celle-ci a été conduite à partir de données abiotiques satellitaires ou issues de bases de données internationales (température, salinité, couverture de glace, bathymétrie, sels nutritifs) et de la chlorophylle (mesure par satellite) comme « proxy » biotique. En 2010, la France a fait part officiellement, auprès de la CAMLR, de son engagement à participer à la création d'AMPs en milieu austral dans le contexte international. Les objectifs français sont de passer de la biorégionalisation à l'écoringionalisation en intégrant : (a) les assemblages d'espèces et en modélisant également les habitats de ceux-ci et/ou des communautés ; (b) les informations sur le milieu benthique et les prédateurs supérieurs.

L'une de ces aires couvrira une partie de l'Est-Antarctique et pourrait inclure la mer Dumont d'Urville (Fig 1). Afin de permettre l'identification de zones d'intérêt écologique, nous avons mis en œuvre une écorégionalisation benthique de la zone CEAMARC. Cette écorégionalisation fait intervenir une série de paramètres abiotiques issus d'un modèle océanographique, ainsi que les données géoréférencées sur la présence des taxons mises à disposition par les experts impliqués. Différentes méthodes de modélisation permettent d'étudier la relation entre les gradients environnementaux et la présence des espèces. Le GDM (general dissimilarity model) permet de regrouper les taxons en assemblages cohérents suivant un gradient de dissimilarité lié à l'évolution des facteurs environnementaux mesurés. Le BRT (boosted regression tree) se focalise sur des taxons cibles. Il permet d'évaluer l'impact des facteurs abiotiques sur la probabilité de présence de chaque taxon, autorisant alors, via le calcul de grilles prédictives, de spatialiser les enjeux biologiques identifiés.



**Figure 1 Ecorégionalisation A) pélagique et B) géomorphologique de la mer Dumont d'Urville. Les couleurs indiquent des assemblages différents**

### Observations et résultats

Les paramètres abiotiques (bathymétrie, température, salinité, courants, nature du substrat) permettent de mettre en évidence une série de gradients environnementaux dans la mer Dumont d'Urville (Fig. 1A). Ces gradients sont associées à la topographie de la zone : le Banc Adélie riche en sable et carbonate, la pente aux eaux plus chaudes et sédiments riches en gravier, le bassin George V froid et salé, la zone côtière plus irrégulière. Ces gradients apparaissent structurant des assemblages pélagiques (Fig1B) et benthiques observés. Le bassin semble associé à des assemblages principalement détritivores, les pentes du bassin présentent des communautés benthiques riches et diverses, la pente du plateau continental, moins riche, présentent des communautés apparemment sans liens avec les communautés du plateau.

### Discussion et conclusion

L'intégration des données benthiques permet de mettre en évidence des zones d'intérêt écologique et d'affiner l'approche pélagique et géomorphologique. La protection de cette zone permettrait de préserver un « écosystème » complet constitué d'écorégions contrastées, de communautés riches et diverses modelées par une histoire évolutive particulière.

## **Premier raid scientifique entre Dome C et Vostok en antarctique de l'Est dans le cadre du programme VANISH (Vulnerability of the ANTArctic Ice Sheet and its atmosphere)**

■ (5 minutes)

M. Fily<sup>1</sup>, L. Arnaud<sup>1</sup>, E. Lefebvre<sup>1</sup>, E. Le Meur<sup>1</sup>, and G. Teste<sup>1</sup>

<sup>1</sup>LGGE, Université Grenoble 1/ CNRS, Grenoble, France

### **Résumé**

Le projet VANISH était de réaliser un raid scientifique dans une région centrale de l'Antarctique jamais explorée à ce jour. Les objectifs étaient de documenter la vulnérabilité de la calotte polaire et de son atmosphère aux changements climatiques et plus particulièrement à l'influence anthropique. Ce raid a eu lieu pendant la saison 2011-2012 : c'est une première et un succès.

### **Introduction**

Depuis 1990 le programme international ITASE: (International Trans-Antarctic Scientific Experiment) coordonne les raids scientifiques organisés par différents pays. Les objectifs majeurs de ITASE sont de cartographier la variabilité spatio-temporelle des paramètres climatiques et environnementaux en Antarctique pour les derniers siècles. A cela il faut rajouter la contribution à la détermination du bilan de masse de la calotte polaire, le déploiement de stations météorologiques et la validation des mesures satellitales.

Dans ce cadre le projet VANISH contribue à plusieurs objectifs. L'accumulation de neige est mesurée au moyen d'un radar dédié ; des carottages de 20 m environ permettent de dater les couches observées sur environ 300 ans. Les variations récentes de température sont étudiées par plusieurs moyens : station météo, grappe de thermistance dans la neige, approche indirecte au travers de la composition isotopique de la neige. La variabilité de l'activité solaire est explorée à partir de l'isotope cosmogénique <sup>10</sup>Be. Les caractéristiques physiques de la neige en surface et jusqu'à 20 m sont observées pour une meilleure interprétation des données satellite. La chimie de l'atmosphère est documentée à la fois par des prélèvements atmosphériques et des prélèvements de neige.

Ce programme se place d'emblée dans un cadre de coopération internationale indispensable en Antarctique. Le navire de desserte, la station scientifique Dumont d'Urville et les véhicules sont mis en oeuvre par l'IPEV. La base Concordia est franco-italienne et les « Expéditions Russes Antarctiques » nous offrent l'accès à la base Vostok.

### **Résultats**

Des opérations ont eu lieu à Vostok, à Concordia et lors d'un raid logistique entre Dumont d'Urville et Dome C. Le point d'orgue du programme est le raid scientifique Dome C à 3200 m d'altitude et Vostok (3600 m) car c'est une première scientifique et logistique dans cette région de l'Antarctique encore inexplorée par moyens terrestres. La distance parcourue aller-retour est au total de 1300 kilomètres sur un terrain vierge. Au-delà du défi scientifique se rajoute donc un défi technologique. Le raid est parti de Concordia le 20 décembre 2011 avec un retour le 24 janvier 2012 pour environ 15 jours de travail scientifique dont 7 jours au Point Barnola où a été effectué un forage de 110 m (ANR Explore). La plupart des mesures, prises d'échantillons, carottages, installation de matériel se font en station et quelques mesures ont été effectuées en continu par des instruments attachés aux véhicules.

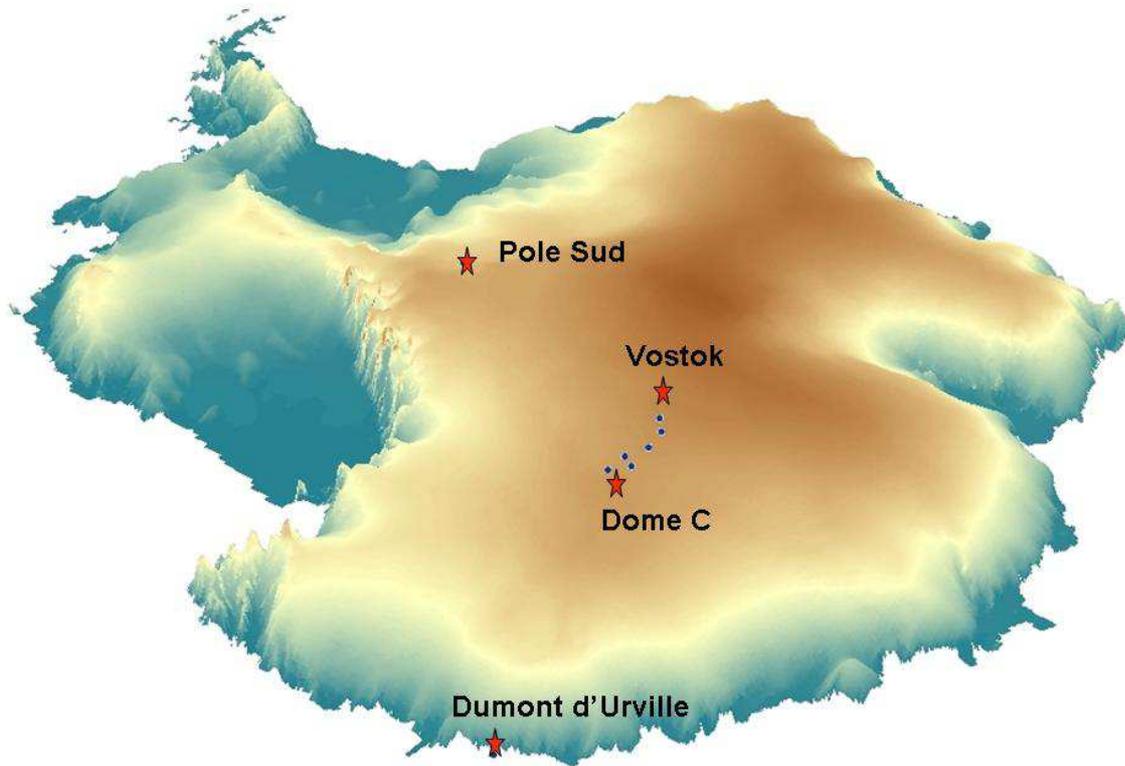


Figure 1 : Vue en 3D de la calotte polaire Antarctique : les activités du projet VANISH se sont déroulées entre Dumont d'Urville, Dome C et Vostok. La distance entre Dumont d'Urville et Dôme C est de 1100 km. Le raid entre Dôme C et Vostok, effectué lors de l'été austral 2011-2012 est une première scientifique et technologique. (carte effectuée par G. Durand, CNRS/LGGE)

### Conclusion

L'intérêt majeur du programme a été la collecte de données et de mesures dans une zone totalement inexplorée de l'Antarctique. Malgré des conditions logistiques particulièrement difficiles (bateau coincé dans les glaces, annulation de nombreux vols avions et donc retards importants) la majeure partie des objectifs a été atteinte. L'analyse des données sera d'une grande richesse pour la connaissance de cette partie du continent Antarctique. Un atout pour le futur a été la mise en place par l'IPEV de moyens de raids scientifiques qui seront disponibles pour l'ensemble de la communauté dans les années futures.

## Ontogenèse des processus bioénergétiques musculaires chez le poussin manchot Adélie (*Pygoscelis adeliae*)

■ (5 minutes)

Anais Fongy, Caroline Romestaing, Coralie Blanc, Nicolas Lacoste-Garanger, Jean Louis Rouanet, Mireille Raccurt, Claude Duchamp

Laboratoire d'Ecologie des Hydrosystèmes Naturels et Anthropisés, CNRS-Université de Lyon

### Introduction

Le succès reproducteur des espèces endémiques de l'Antarctique se reproduisant pendant le court été antarctique, comme le manchot Adélie (*Pygoscelis adeliae*), repose pour partie sur la croissance rapide des poussins. Relativement immature à l'éclosion, le jeune poussin manchot Adélie est incapable de maintenir sa température corporelle sans la protection thermique des parents. Après 2 semaines de vie, protégé par un duvet épais, le poussin sort de la poche incubatrice et ce n'est qu'après un mois et la maturation des processus thermogènes que le poussin acquiert son autonomie thermique. Souvent regroupés en crèche, à l'abri d'un rocher, ils peuvent attendre les deux parents qui multiplient les voyages alimentaires en mer. Les poussins peuvent alors terminer leur croissance et muer afin d'acquérir le plumage nécessaire à leur passage en mer vers l'âge de 2 mois. Cette croissance accélérée dans un environnement polaire contraignant doit impliquer une forte plasticité des processus bioénergétiques qui interviennent dans la croissance et la thermorégulation. Nous avons cherché à caractériser l'ontogenèse des processus bioénergétiques musculaires entre l'éclosion et le stade adulte en mesurant pour la première fois chez le manchot, la respiration cellulaire sur fibres isolées perméabilisées. Cette technique permet de conserver l'architecture des mitochondries musculaires en réseaux, une organisation qui joue un rôle clé dans les processus bioénergétiques cellulaires.

### Résultats

A partir de biopsies de muscle pectoral obtenues sous anesthésie générale chez des poussins de différents âges (<7, 15, 30 jours) et chez des adultes revenant de mer, des paquets de fibres musculaires (4-5 mg) ont été isolés et leur membrane plasmique a été perméabilisée à la saponine. La respiration des fibres obtenues a été mesurée à 38°C avec un oxygraphe Oroboros® de haute résolution. Les résultats montrent que les fibres isolées de manchots adélie étaient fonctionnelles et capables d'oxyder des substrats carbonylés (pyruvate/malate/succinate) ou d'origine lipidique (palmitoyl-carnitine). Comme attendue, la respiration des fibres était accrue (x 2) par l'ajout d'adénosine diphosphate stimulant les oxydations phosphorylantes mitochondriales. L'intégrité des membranes mitochondriales a été vérifiée par l'absence de stimulation de la respiration par l'ajout de cytochrome c. La respiration des fibres augmentait avec l'âge des poussins mais seulement entre 15 et 30 jours (x 2,5) sans atteindre le niveau maximal observé chez l'adulte (4 fois supérieur au niveau mesuré chez des poussins de moins d'une semaine). L'activité respiratoire à l'état phosphorylant était plus fortement stimulée avec les substrats carbonylés qu'avec les substrats d'origine lipidique mais l'augmentation de la respiration avec l'âge était similaire (x 4).

### Conclusions

La technique d'oxygraphie haute résolution sur fibres isolées perméabilisées est donc fonctionnelle sur le terrain ce qui ouvre un large éventail de possibilités d'exploration des processus bioénergétiques sur de minuscules échantillons de tissu. Les résultats obtenus confortent les observations antérieures réalisées sur l'animal entier et sur mitochondries isolées montrant une forte augmentation des capacités métaboliques avec la croissance entre l'éclosion et le stade adulte. L'augmentation relativement tardive des processus bioénergétiques est cohérente avec la stratégie d'allocation séquentielle des ressources alimentaires tout d'abord à la croissance et l'isolation thermique puis au développement tardif des processus thermogènes qui a été décrite chez le poussin manchot Adélie. La forte plasticité bioénergétique observée chez les poussins manchots adélie peut être un élément clé pour minimiser l'effort parental de nourrissage et pour assurer la survie des poussins à terre et en mer.

### Remerciements

Ces recherches ont reçu le soutien logistique et financier de l'Institut Paul Emile Victor (IPEV, programme 131)

## Nouvel éclairage sur la systématique des Bathydraconidae (Notothenioidei, Teleostei)

■ (15 minutes)

C. Gallut<sup>1</sup>, C. Ozouf-Costaz<sup>1</sup>, M. Koch<sup>1</sup>, A. de Palaminy<sup>1</sup>, C. Cruaud<sup>2</sup>, A. Dettai<sup>1</sup>, G. Lecointre<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Équipe « Phylogénie », UMR 7138 CNRS-IRD-MNHN-UPMC, Département Systématique et Évolution, CP26, 57 rue Cuvier 75231 PARIS CEDEX 05, France (cyril.gallut@upmc.fr, ozouf@mnhn.fr, melanie.ad@free.fr, alix.depalaminy@laposte.fr, adettai@mnhn.fr, lecointr@mnhn.fr)

<sup>2</sup>Génoscope, Centre National de Séquençage, 2 rue Gaston Crémieux, CP 5706, 91057 EVRY, France. (cruaud@genoscope.cns.fr)

### Résumé

La famille des Bathydraconidae, téléostéens antarctiques, se distingue morphologiquement des autres notothenioïdes par l'absence de la première nageoire dorsale, interprétée comme une perte. Les Bathydraconidae sont classiquement considérés comme le groupe frère des Channichthyidae. Sur la base des séquences de deux gènes mitochondriaux et de caractères anatomiques Derome *et al.* retrouvaient en 2002 trois sous-familles, les Bathydraconinae, Gymnodraconinae et Cygnodraconinae. Les Bathydraconinae et Gymnodraconinae étaient monophylétiques mais les relations entre ces derniers, les Cygnodraconinae et les Channichthyidae n'étaient pas résolues.

Afin d'éclairer ces relations. Nous avons apporté de nouvelles données : trois gènes nucléaires indépendants (PKD1, PPM1d, Rhodopsine) et un nouveau gène mitochondrial (COI) pour 78 spécimens soit 11 espèces sur 17 et 10 genres sur 11 représentés. Chaque gène a été analysé indépendamment et la matrice résultant de la concaténation des quatre gènes a été analysée également.

Notre travail apporte des données indépendantes de Derome *et al.*, sur un échantillonnage beaucoup plus large et qui corroborent leurs résultats. La monophylie de toutes les espèces incluses est retrouvée, ainsi que celle de presque tous les genres. Nos résultats confirment les trois sous familles de Derome *et al.*, ainsi que l'inclusion de *Akarotaxis nudiceps* par Near *et al.* et de *Vomeridens infuscipinnis* par Balushkin dans les Bathydraconinae. Néanmoins, la monophylie de la famille demeure incertaine. Ainsi, seule la perte de la nageoire antérieure soutient la monophylie des Bathydraconidae.

### Références

- Balushkin, A. 2000. Morphology, classification, and evolution of notothenioid fishes of the Southern Ocean (Notothenioidei, Perciformes). *Journal of Ichthyology*, 40, S74–S109.
- Derome, N., Chen, W.-J., Dettai, A., Bonillo, C., & Lecointre, G. 2002. Phylogeny of Antarctic dragonfishes (Bathydraconidae, Notothenioidei, Teleostei) and related families based on their anatomy and two mitochondrial genes. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 24, 139–152.
- Near, T. J., Pesavento, J. J., & Cheng, C.-H. C. 2004. Phylogenetic investigations of Antarctic notothenioid fishes (Perciformes: Notothenioidei) using complete gene sequences of the mitochondrial encoded 16S rRNA. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 32, 881–891.

## Nouvelles données sur le complexe intrusif syénitique du Sud de Rallier du Baty, Kerguelen.

■ (15 minutes)

D. Guillaume<sup>1</sup>, N. Ursule<sup>2</sup>, S. Couzinié<sup>3</sup>, L. Mathieu<sup>4</sup>, M. Benoit<sup>5</sup>, S. Rousse<sup>6</sup>, M. Grégoire<sup>7</sup>

<sup>1</sup>GET, CNRS-IRD-Université Paul Sabatier, Toulouse, 31400, France ([damien.guillaume@get.obs-mip.fr](mailto:damien.guillaume@get.obs-mip.fr))

<sup>2</sup>GET, CNRS-IRD-Université Paul Sabatier, Toulouse, 31400, France ([nicolas.ursule@get.obs-mip.fr](mailto:nicolas.ursule@get.obs-mip.fr))

<sup>3</sup>ENS Lyon ([simon.couzinie@ens-lyon.fr](mailto:simon.couzinie@ens-lyon.fr))

<sup>4</sup>Department of Geology, Trinity College Dublin, Ireland ([mathiel@tcd.ie](mailto:mathiel@tcd.ie))

<sup>5</sup>GET, CNRS-IRD-Université Paul Sabatier, Toulouse, 31400, France ([mathieu.benoit@get.obs-mip.fr](mailto:mathieu.benoit@get.obs-mip.fr))

<sup>6</sup>GET, CNRS-IRD-Université Paul Sabatier, Toulouse, 31400, France ([sonia.rousse@get.obs-mip.fr](mailto:sonia.rousse@get.obs-mip.fr))

<sup>7</sup>GET, CNRS-IRD-Université Paul Sabatier, Toulouse, 31400, France ([michel.gregoire@get.obs-mip.fr](mailto:michel.gregoire@get.obs-mip.fr))

### Résumé

Les travaux réalisés sur l'archipel de Kerguelen ont permis d'acquérir une bonne connaissance de la nature, de la structure et de l'évolution du manteau lithosphérique et des roches volcaniques qui affleurent en quantité. Dans le contexte géodynamique particulier de l'archipel et de l'ensemble du plateau de Kerguelen, intraplaque océanique, la nature de la croûte océanique épaissie est assez mal déterminée et les conditions de sa formation et de sa mise en place restent peu contraintes. Les travaux récents de Chevet (2009) ont apporté des données pétrographiques et géochimiques de première importance sur les cumulats mafiques et ultramafiques échantillonnés à plusieurs niveaux structuraux dans la croûte. Un autre champ d'investigation pour mieux contraindre la lithosphère océanique épaissie de Kerguelen correspond aux complexes plutoniques intrusifs de nature syénitiques à granitiques. La campagne de terrain réalisée en 2009-2010 dans le cadre du programme IPEV-444 DyLiOKer a été l'occasion d'entreprendre l'étude du complexe syénitique du sud de Rallier du Baty par une approche pétro-structurale couplée à l'étude de données satellitaires. L'étude des échantillons de cette campagne apporte progressivement des éléments pour la compréhension de ce système intrusif syénitique.

### Introduction

Les complexes intrusifs syénitiques de la péninsule Rallier du Baty sont connus depuis les campagnes de terrain réalisées dans les années 60 à 80 (Nougier 1970a, 1970b; Marot & Zimine 1976; Lameyre 1981; Giret 1983). Ils ont été étudiés par une approche pétrographique et géochimique (Giret et Lameyre 1984; Giret 1990; Weis et Giret 1994; Gagnevin et al. 2003) et un modèle de mise en place sous forme de complexes annulaires a été proposé (Bonin et Giret 1990). Dans d'autres contextes géodynamiques, l'étude de structures magmatiques équivalentes couplant l'approche structurale à une approche pétro-géochimique moderne, a permis des avancées majeures dans la compréhension de la formation, de l'évolution et de la mise en place des roches plutoniques dans la croûte terrestre ainsi que de leur rôle dans les processus de croissance continentale et les relations volcanisme-plutonisme. Les modèles ont été beaucoup révisés à cette occasion. Pour reconsidérer dans ce cadre le complexe syénitique intrusif du sud de Rallier du Baty, nous avons consacré une grande partie de la campagne d'été 2009-2010 (IPEV-444 DyLiOKer) à l'étude pétro-structurale de cet ensemble. Les premiers résultats publiés de cette étude (Mathieu et al. 2011) montrent que le modèle de complexe annulaire précédemment proposé ne rend pas compte des observations de terrain. L'étude des échantillons se poursuit avec plusieurs approches complémentaires pour identifier la source magmatique de ce complexe et contraindre son mode de mise en place.

### Observations et Résultats

#### *Etude de terrain et images satellites*

L'étude de terrain a permis de réaliser un lever détaillé de la localisation et de la géométrie des corps intrusifs ainsi que des structures affectant les intrusions et leur encaissant. Ces données de terrain ont été complétées par une analyse d'images SPOT et ASTER (Mathieu et al. 2011). Les basaltes de plateau, encaissants du complexe intrusif du sud de Rallier du Baty, sont déformés au contact des syénites. Ce contact selon les lieux, soit se fait par assimilation de l'encaissant (textures de mingling) soit correspond à un contact anguleux. Les zones de contact sont fréquemment le lieu de mise en place en régime hydraulique de filons aplitiques et/ou pegmatitiques quartzo-feldspathiques. L'ensemble intrusion-encaissant est fracturé et recoupé par de veines et dykes mis en place tardivement. Les structures et les directions principales de fracturation montrent une organisation générale cohérente avec le réseau de failles

transformantes de la ride sud-est indienne. L'étude structurale de la fracturation et des dykes ne permet pas d'envisager la mise en place de ce complexe syénitique par un modèle de complexe annulaire.

### **Anisotropie de Susceptibilité Magnétique**

Les échantillons de la campagne 2009-2010 ont été orientés lors de l'échantillonnage, ce qui a permis de mener une étude de l'anisotropie de susceptibilité magnétique (ASM) à l'échelle du complexe intrusif. L'ASM a permis de quantifier les linéations et les plans de foliations magnétiques pour les différents échantillons (figure 1). Il apparaît que les orientations ne définissent pas de direction préférentielle à l'échelle du massif et la distribution des données ne montre pas d'organisation en cohérence avec un modèle de complexe annulaire (Ursule 2011). Les syénites sont plus certainement mises en place sous forme de sills successifs.

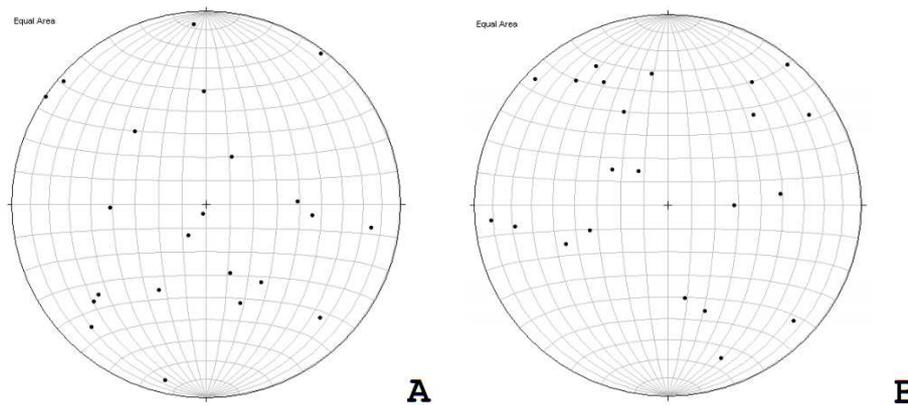


Fig. 1: Représentation stéréographique des linéations magnétiques (A), ainsi que des pôles des foliations magnétiques (B), des syénites de la péninsule de Rallier du Baty (23 sites), d'après Ursule 2011.

### **Pétrographie**

L'étude sur le terrain montre la présence de quelques petits plutons de gabbros, d'un ensemble de sills de syénites et d'un massif de granite. L'étude pétrologique des syénites permet de distinguer plusieurs sous-ensembles magmatiques assez diversifiés (Couzinié 2011) sur la base des textures des roches et des variations des assemblages minéralogiques.

### **Géochimie des éléments majeurs et des éléments en traces.**

Les analyses chimiques en éléments majeurs et traces montrent une homogénéité de composition. Les compositions en REE permettent cependant de distinguer trois groupes, principalement sur la base des anomalies en Eu divergentes ainsi que, par exemple, des compositions contrastées en Ti.

L'interprétation des données de géochimie obtenues sur ces échantillons est en cours dans le cadre du stage de M2 de Nicolas Ursule. Des analyses complémentaires sont aussi menées, notamment des analyses isotopiques, pour contraindre le type de source magmatique à l'origine de ces syénites ainsi que leur âge.

### **Discussion et Conclusion**

L'étude structurale sur le terrain, l'analyse de données satellitaires ainsi que l'analyse de l'anisotropie de susceptibilité magnétique des différents types de syénites du complexe intrusif du sud de Rallier du Baty ont permis de reconsidérer le mode de mise en place de cet ensemble. Les données géochimiques en cours d'acquisition sur la première série d'échantillons de la campagne de 2009-2010 permettront d'identifier la source magmatique de ce complexe, de contraindre son mode de mise en place et de contraindre plus précisément l'âge de sa formation.

### **Références**

- Bonin, B. and Giret, A. (1990). Plutonic alkaline series: Daly gap and intermediate compositions for liquids filling up crustal magma chambers. *Schweiz. mineral.-petrograph. Mitt.*, 70: 175-187.
- Chevet, J. (2009). Intrusive Rocks and associated Mafic/Ultramafic Cumulates from the Thickened Oceanic Crust of the Kerguelen Archipelago. Thèse de l'Université Jean Monnet, Saint Etienne.
- Couzinié, S. (2011). Etude pétrologique des syénites du complexe intrusif de Rallier du Baty Sud, Kerguelen. Rapport de stage de

Licence, ENS Lyon, 20p.

- Gagnevin, D. et al. (2003). Open-system processes in the genesis of silica-oversaturated alkaline rocks of the Rallier-du-Baty Peninsula, Kerguelen Archipelago (Indian Ocean). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 123(3-4): 267-300.
- Giret, A. (1983). Le plutonisme océanique intraplaque, exemple des îles Kerguelen. CNFRA, 54, 290p.
- Giret, A. (1990). Typology, evolution, and origin of the Kerguelen Plutonic Series, Indian Ocean: A review. *Geological Journal*, 25(3-4): 239-247.
- Giret, A. and Lameyre, J. (1984). A study of Kerguelen plutonism: petrology, geochronology and geological implications. *Antarctic Earth Science: Cambridge University Press*, 646-651.
- Lameyre, J. (1981). Etude géologique du complexe plutonique de la péninsule Rallier du Baty, Iles Kerguelen. CNFRA, 49, 176p.
- Marot, A. and Zimine, S. (1976). Les complexes annulaires de syénites et granites alcalins dans la péninsule Rallier du Baty. In: Iles Kerguelen (TAAF), Paris: Université Pierre et Marie Curie, Ph.D. thesis.
- Mathieu, L., Byrne, P., Guillaume, D., van Wyk de Vries, B. and Moine, B. (2011). The field and remote sensing analysis of the Kerguelen Archipelago structure, Indian Ocean. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 199, 206-215.
- Nougier, J. (1970a). Carte géologique au 1/200 000 de l'archipel des Kerguelen. Paris: Institut Géographique National.
- Nougier, J. (1970b). Contribution a l'étude géologique et géomorphologique des îles Kerguelen. CNFRA, 27(1-2), 440 et 246p (2 tomes).
- Ursule, N. (2011). Étude pétro-structurale des syénites du complexe intrusif de Rallier du Baty Sud, Kerguelen. Rapport de stage de M1, Université de Toulouse III, 24p.
- Weis, D. and Giret, A. (1994). Kerguelen plutonic complexes: Sr, Nd, Pb isotopic study and inferences about their sources, ages and geodynamic setting. *Bulletins de la Société Géologique de France* 166, 47-59.

## Impact of short-lived pollutants on the regional climate of the Arctic

■ (15 minutes)

H.-W. Jacobi<sup>1</sup>, O. Jourdan<sup>2</sup>, C. Bernard<sup>3</sup>, J. Cozic<sup>1</sup><sup>Erreur ! Signet non défini.</sup>, R. Dupuy<sup>2</sup>, G. Febvre<sup>2</sup>, C. Gourbeyre<sup>2</sup>, G. Guyot<sup>2</sup>, J.-L. Jaffrezo<sup>1</sup>, P. Laj<sup>1</sup>, A. Schwarzenboeck<sup>2</sup>, M. Zanatta<sup>1</sup>

<sup>1</sup> LGGE, CNRS / Université Joseph Fourier – Grenoble 1, Grenoble, 38402, France (jacobi@lgge.obs.ujf-grenoble.fr)

<sup>2</sup> LAMP, UMR 6016, CNRS / Université Blaise Pascal Clermont II, Clermont-Ferrand, 63177, France (o.jourdan@opgc.univ-bpclermont.fr)

<sup>3</sup> OPGC, UMS 833, Université Blaise Pascal Clermont II, Clermont-Ferrand, 63177, France (o.jourdan@opgc.univ-bpclermont.fr)

### Résumé

Les aérosols sont considérés comme des polluants de courte durée contribuant à l'amplification régionale du réchauffement global en Arctique. Deux aspects importants des propriétés des aérosols en Arctique ont été étudiés lors d'expériences de terrain à la station AWIPEV de Ny-Alesund, Svalbard. Le premier aspect concerne le rôle du carbone suie dans l'augmentation de l'absorption du rayonnement solaire dans l'atmosphère et dans la neige. Le deuxième aspect est lié à l'impact des propriétés physico-chimiques des aérosols sur la formation et les propriétés nuageuses. L'interaction aérosols-nuages a pu être étudiée grâce à la caractérisation in situ simultanée des propriétés microphysiques et optiques des nuages et des aérosols. Ces observations contribueront à une meilleure quantification du comportement du carbone suie, de son dépôt dans le manteau neigeux, ainsi qu'à une meilleure compréhension du lien entre propriétés des aérosols et propriétés microphysiques et optiques des nuages pendant la période de transition Hiver-Printemps en Arctique. Des résultats préliminaires illustrant ces deux aspects seront présentés.

Aerosols are considered short-lived pollutants that contribute to the regional amplification of global warming in the Arctic. Therefore, we examine two important aspects of aerosol in the Arctic during field experiments at the AWIPEV Station in Ny-Alesund, Svalbard. Black carbon in the atmosphere and in the snow is determined to evaluate its contribution to an enhanced absorption of solar radiation in the atmosphere and in the snow. Furthermore, the interaction of the aerosols with clouds is investigated by the simultaneous characterization of the microphysical and optical properties of clouds and aerosols. The observations will contribute to a better quantification of the behavior of black carbon in springtime in the Arctic and its deposition to the snowpack and to a better understanding of the link between the aerosols properties and composition and the microphysical and optical properties of clouds during the transition from winter to spring in the Arctic. Preliminary results of the field experiments will be presented.

### Introduction

In the Arctic, atmospheric aerosols including black carbon (BC), clouds, BC in the snow, tropospheric ozone, and methane are considered as short-lived pollutants SLPs (Quinn et al., 2008). According to current understanding, SLPs cause enhanced warming in the Arctic. In the face of rapid climate change in the Arctic (increasing temperatures, earlier onset of spring snow melt, sea ice loss, etc.), reductions in the emissions of long-lived greenhouse gases like CO<sub>2</sub> will almost certainly come too late to avoid deleterious effects on climate. While at present the total radiative forcing caused by SLPs is smaller than that of long-lived greenhouse gases, the efficacy of this forcing is greater such that on decadal time scales the effect on surface temperatures and the melting of snow and ice may be of a comparable magnitude to that of long-lived greenhouse gases. Rapid climate change, coupled with potentially rapid growth in human activities related to resource extraction, industrialization, shipping, etc. makes the improved understanding of Arctic processes a high priority.

The focus of the field experiments at Ny-Alesund are on processes related to BC and clouds. We performed BC measurements in the atmosphere using a novel instrument and studied microphysical and optical properties of clouds and aerosols at the Zeppelin Station at an altitude of around 470 m. Furthermore, BC concentrations were recorded at sea level at the Corbel Station using a standard aethalometer. Finally, snow samples were collected to investigate the relationship between atmospheric concentration and concentrations in the snow as well as the impact of BC on the snow albedo.

### Observations et résultats

#### *Aerosol-cloud interaction*

Ground based cloud measurements were performed during two months (from early March to early May 2012) at the Zeppelin Station using state of the art instrumentation. The Cloud Particle Imager (CPI), the Polar Nephelometer (PN),

the Forward Scattering Spectrometer Probe (FSSP-100) and the Nevzorov probe were operated continuously in order to capture the variability of the microphysical (size, shape, concentration, ice/water content of hydrometeors) and optical properties (scattering phase function, extinction, asymmetry parameter) of ice and mixed phase clouds during this 2-month long period. Additional aerosol measurements available at the station were used to study the impact of pollution aerosol (mainly BC) on the microphysical properties of the sampled clouds.

### ***Black carbon in the atmosphere and in the snow***

Atmospheric BC measurements were performed using a Single Particle Soot Photometer (SP2). The instrument was operated continuously during a 3-week long period in April and May 2012 at the Zeppelin Station and can be compared to the results of other filter-based absorption photometers. During the same period, such a photometer was installed at sea level at the Corbel Station to determine concentration gradients in atmospheric BC between the boundary layer and the free troposphere. Parallel to the atmospheric measurements snow samples including different snow types like fresh snow, blowing snow, and previously deposited older snow were collected. However, very peculiar snow conditions were encountered at Ny-Alesund. Several periods with temperatures above freezing and precipitation of rain were recorded in January and February. Therefore, a large fraction of the snowpack was transformed into a thick ice layer. In April large areas of this ice layer was still exposed and covered by fresh snow only during shorter periods. The fresh snow was frequently removed during periods with high wind speeds.

### **Discussion et conclusion**

Aerosol and cloud properties measurements on board research aircraft deployed during ASTAR, POLARCAT and SORPIC arctic projects can be used in synergy with modelling tools to establish the radiative impacts of various aerosol sources. However, the simultaneous observations of cloud and aerosols properties gathered during this campaign are essential to describe the aerosol-cloud interaction with a better spatial and temporal resolution. Preliminary data of cloud and aerosol properties will be presented. Statistical analysis of the cloud measurements will be implemented in order to evaluate the influence of the shape and size of ice crystals as well as the liquid/ice partitioning on the optical properties of arctic clouds. Parameterization of cloud optical properties will be derived from the synergy between in situ measurements and light scattering modelling. Finally, these observations will allow us to study the link between the aerosol physical/chemical properties and the microphysical/optical properties of arctic clouds. Atmospheric BC concentrations have been recorded since 1998 (with an interruption of two years) at Zeppelin station using a filter-based absorption photometer (Eleftheriadis et al., 2009). The comparison with the simultaneous SP2 measurements will allow a better characterization of the BC properties in the Arctic. Preliminary data of the observed time series will be presented. Furthermore, the available snow samples will be analyzed using the SP2 instrument to deliver directly comparable BC concentrations in the atmosphere and the snow. The available data will be used to determine wash-out ratios and deposition rates of BC for Arctic conditions. At the same time, the SP2 technique allows a better vertical resolution of the BC content in the snow enabling the determination of the BC profile in the snow.

### **Remerciements**

Financial support by the Agence National de la Recherche (No. ANR 2011 Blanc SIMI 56 021 02 and 04) and the Institut Polaire Française Paul-Émile Victor is gratefully acknowledged.

### **Références**

- Quinn, P.K., T.S. Bates, E. Baum, N. Doubleday, A.M. Fiore, M. Flanner, A. Fridlind, T.J. Garrett, D. Koch, S. Menon, D. Shindell, A. Stohl, and S.G. Warren, (2008), Short-lived pollutants in the Arctic: Their climate impact and possible mitigation strategies, *Atmos.Chem.Phys.*, 8, 1723-1735.
- Eleftheriadis, K., S. Vratolis, and S. Nyeki, (2009), Aerosol black carbon in the European Arctic: Measurements at Zeppelin station, Ny-Ålesund, Svalbard from 1998-2007, *Geophys.Res.Lett.* 36, L02809, doi: 10.1029/2008GL035741.

## Relativistic charged particles from the Sun – the role of neutron monitors

■ (15 minutes)

K.-L. Klein<sup>1</sup>, N. Fuller<sup>1</sup>, S. Masson<sup>2</sup>

<sup>1</sup>LESIA -UMR 8109, Observatoire de Paris, CNRS, Universités Paris 6 et 7, F-92195 Meudon, France (ludwig.klein@obspm.fr, nicolas.fuller@obspm.fr)

<sup>2</sup>NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt Md 20771, USA (sophie.masson@nasa.gov)

### Résumé

Le Soleil produit occasionnellement des jets de particules chargées de haute énergie qui pénètrent dans l'Héliosphère et peuvent rencontrer la Terre. Les processus mis en jeu sont d'un intérêt astrophysique, nous permettant d'étudier en détail les régions et conditions d'accélération et de transport des particules. D'autre part, les particules solaires ont un impact potentiel sur la technologie embarquée dans l'espace, les communications par ondes hertziennes et sur le personnel et les passagers de l'aviation. Nous illustrons ici le rôle clef que jouent les moniteurs à neutrons, détecteurs de particules relativistes en provenance du Soleil et de la Galaxie, dans les recherches sur l'accélération et la propagation interplanétaire des particules solaires et dans la surveillance des doses de radiation dans les transports aériens.

### Introduction

Solar energetic particles (SEPs) are bursts of charged particles of solar origin detected in the interplanetary space. They are observed with space borne instrumentation or, for the protons and ions of relativistic energies, by neutron monitors, neutron telescopes or muon telescopes on the Earth. IPEV operates two neutron monitors at Kerguelen Island and Terre Adélie. Their data are delivered in real time (Kerguelen) or with a few hours delay to Paris Observatory and the European neutron monitor database (www.nmdb.eu). The combination of the worldwide network of neutron monitors is a direction-sensitive spectrograph. Relativistic particles from the Sun are rare, occurring at a frequency of 1/year on average. But they are the most constraining events for identifying particle acceleration processes acting in the solar corona, and their impact on the Earth's atmosphere produces secondary particles that create transient ionisation of the low atmosphere, with effects that are detectable at aircraft altitudes.

### Observations and results

#### *Solar flares and particle acceleration to relativistic energies*

An important tool to investigate the origin of SEP events is the comparison of the timing of arrival at the detector with the evolution of electromagnetic emissions of energetic particles at the Sun. The escaping and radiating particle populations may well have different origins. E.g., the radiating particles in the solar atmosphere may be accelerated during the flare, while the escaping particles (the SEP) may be accelerated later at the shock wave of a fast coronal mass ejection (CME) as it travels outward through the corona. In a detailed comparison of neutron monitor data with hard X-ray, radio and gamma-ray emissions of a large solar event, we Masson et al. (2009) showed that the relativistic protons detected by neutron monitors on Earth likely came from the flare site: gamma-ray emission at photon energies above 60 MeV was observed, showing the local interaction of flare-accelerated protons at energies above 300 MeV. We used radio emission to identify when charged particles escaped to interplanetary space, and found that this timing was fully consistent with the arrival of the first relativistic protons at the neutron monitors. This is much clearer evidence for the flare origin of relativistic protons reaching Earth than was available before.

#### *Interplanetary propagation of relativistic solar particles*

Another problem in linking SEP at Earth with the parent solar processes is the interplanetary transport. Photons reach the Earth after about 8 minutes, travelling along straight lines at the vacuum speed of light. Charged particles have a range of speeds. They are guided by the interplanetary magnetic field, which is curved. It is customary to suppose a standard interplanetary magnetic field configuration, where field lines have the shape of archimedean spirals. This is the result of the stationary spherically symmetric solar wind model devised by E. Parker. The geometrical path would then be about 1.1 AU<sup>1</sup>, depending on the solar wind speed. It has, however, been known for some time that relativistic solar particle events detected by neutron monitors may occur during perturbed interplanetary conditions. Masson et al. (2012) demonstrated that the relativistic solar particle events observed since 2000, i.e. essentially all relativistic SEP events of the last solar activity cycle, do not conform with the standard solar wind picture: seven out of ten were detected in

<sup>1</sup> 1 AU = 1 astronomical unit = mean distance between Sun and Earth

*transient* interplanetary magnetic field configurations. The perturbation of the interplanetary medium comes from CMEs, where the Sun ejects large parts of the coronal plasma and magnetic field into the interplanetary space. These structures travel through the Heliosphere and may temporarily connect the Sun to the Earth. They are then channels for the propagation of SEPs which differ from the classical Parker picture both by the length and the geometry of the field lines. It is remarkable that not a minor fraction, but the majority of the relativistic SEP events occur when the Earth is connected to the Sun through such transient magnetic field configurations.

### ***Relativistic solar particles in the Earth's atmosphere***

Upon impinging on the Earth's atmosphere a relativistic particle creates a nuclear cascade, generating secondary particles that can continue the process into the low atmosphere and to the ground. SEPs add to the ionisation due to the continuous flux of galactic cosmic rays. This is a prominent part of the radiation at aircraft altitudes. European and national legislation impose the monitoring of radiation doses received by civil aircraft crew. In France this is done by *Institut de Radioprotection et de Sécurité Nucléaire* (IRSN) in cooperation with Paris Observatory and IPEV. In case of large SEP events, neutron monitor data and models for particle interactions in the terrestrial atmosphere are used to estimate the supplementary radiation dose received aboard aircraft (Lantos and Fuller 2004). The method has been validated by comparison with dosimetry aboard aircraft during a few historical events. Since 2000, four major solar energetic particle events have been considered to enhance significantly the dose at aircraft flight levels. The additional dose during these events was found comparable to the dose from the galactic cosmic rays. Given the frequency of the strong solar events, the additional dose corresponds to one supplementary flight per year. This is not a crucial health issue either for the personnel or for passengers, but the continued monitoring is necessary.

### **Discussion and conclusion**

Neutron monitors, which have been operated since the 1960s in their standardized NM64 layout, are still state-of-the-art detectors of relativistic solar particles. Many space borne detectors measure SEP at energies up to a few hundreds of MeV, but time-resolved observations at GeV energies remains a task for ground-based observations. Neutron monitors will therefore be an important support for ESA's Solar Orbiter, a spacecraft that will approach the Sun up to 0.3 AU. It will enable detailed studies of the relationship between SEP and the parent solar activity, because such a close vantage point will allow us to see particle profiles that are much less distorted by interplanetary turbulence than when observed near 1 AU. The increasing coordination and common data distribution achieved by the European NMDB data base enables an efficient contribution to this international research effort.

### **Acknowledgements**

Research on solar energetic particles at Paris Observatory is greatly favored by the worldwide neutron monitor network and the NMDB database. We thank IPEV for the opportunity to participate in the network and in the related research.

### **References**

- Lantos, P., Fuller, N., 2004, Improving Use of Semi-empirical Models to Calculate Doses Received on Board Airplane, *IEEE Trans. Plasma Sci.* 32(4), 1468.
- Masson, S., Démoulin, P., Dasso, S., and Klein, K.-L., 2012, The interplanetary magnetic structure that guides solar relativistic particles, *Astron. Astrophys.* 538, A32.
- Masson, S., Klein, K.-L., Büttikofer, R., Flückiger, E. O., Kurt, V., Yushkov, B., and Krucker, S., 2009, Acceleration of Relativistic Protons During the 20 January 2005 Flare and CME, *Solar Phys.* 257, 305.

## Modelling invasion dynamics in virgin ecosystems: brown trout in Kerguelen Islands.

■ (15 minutes)

J. Labonne<sup>1</sup>, M. Vignon<sup>1</sup>, E. Prevost<sup>1</sup>, E. Beall<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> UMR ECOBIOP 1224 INRA/UPPA, Pôle d'Hydrobiologie, Quartier Ibarron, 64310 Saint-Pée sur Nivelle, France CSIRO  
([labonne@st-pee.inra.fr](mailto:labonne@st-pee.inra.fr), [mvignon@st-pee.inra.fr](mailto:mvignon@st-pee.inra.fr), [beall@st-pee.inra.fr](mailto:beall@st-pee.inra.fr))

### Résumé

Introductions and subsequent invasions of Salmonids species have been monitored since 1956 in the Kerguelen Islands. Among these species, the brown trout (*Salmo trutta*) originating from Europa was the most efficient invader, and colonized naturally many new river systems. This presents a rare case of real time post-glacial virgin ecosystems invasion by vertebrates. We here present a simple invasion model based on data covering 47 years and 85 river systems. Our metapopulation-like model tracks the dynamics of colonization of each patch, accounting for the influence of patch size for both emission and attraction of propagules. We also test for different dispersal scenarios, by using contrasted distances matrices between patches: stepping stone, shortest path, coastal path, or adimensional model. Finally, we test for a possible effect of time on the model's parameters, such as a variation in the probability of patch colonization along time. All parameters are estimated using a Bayesian modelling framework, which allows for a control of prior distributions, an explicit modelling of uncertainty for missing data, and a separated treatment of natural versus human driven colonization events. Our current results show that distance matters, and that stepping-stone and coastal models are the most likely dispersal modes. The size of the patch appears to have an effect on propagule attraction, and no effect on propagule emission. Finally, there could be an increase of the colonization rate across time, with an increase in colonization efficiency in the last years compared to the onset of colonization process. These results show that invasion by brown trout is relatively limited by spatial structure, although large systems are likely to attract propagules from far away. It also points at either a possible adaptation process since the beginning of the invasion process, or a general environmental change effect on the whole archipelago, that may have boosted the invasion process.

## Formation d'eau dense sur le plateau Antarctique au large de la Terre Adélie de 2008 à 2011

■ (15 minutes)

Maite Lacarra<sup>1</sup>, Marie-Noelle Houssais<sup>1</sup>, Emmanuelle Sultan<sup>1</sup>, Christophe Herbaut<sup>1</sup>

<sup>1</sup>LOCEAN, Université Pierre et Marie Curie, Paris, France ([maite.lacarra@locean-ipsl.upmc.fr](mailto:maite.lacarra@locean-ipsl.upmc.fr))

### Résumé

Dans le cadre du projet ALBION, (Adélie Land Bottom water formation and Ice Ocean interactionNs), deux mouillages ont été déployés de 2008 à 2011 dans la dépression Adélie, sur le plateau continental Antarctique (140 E-147 E). Dans cette région, les eaux denses du plateau se forment chaque année au niveau de la polynie et s'exportent à travers le seuil Adélie afin de former l'Antarctic Bottom Water du bassin Australo-Antarctique. Ces mouillages permettent de suivre la formation et la circulation des eaux denses du plateau dans la polynie du Glacier du Mertz tout au long de l'année. Un mouillage a été situé dans la baie de Commonwealth, une baie côtière, où l'eau dense du plateau est prise au piège par la topographie dans une cuvette séparée de la dépression principale par un seuil de 400 m de profondeur. Dans cette baie, la température et la salinité sont mesurées par trois microcats positionnées le long de la colonne d'eau. Elles ont permis d'identifier les différentes phases du cycle annuel de déstratification et restratification de la colonne d'eau. Il est évident que la convection atteint le fond pour les années 2008 et 2009 contrairement aux années 2010 et 2011. Nous présentons une vue comparative des cycles annuels entre les 4 années de 2008 à 2011 et le lien avec la formation de glace de mer dans la polynie cotière .

## Bilan des Recherches menées sur le Renard Arctique (*Vulpes lagopus*) à l'île Bylot, Nunavut (Canada): Objectifs, Protocoles et Résultats.

■ (15 minutes)

A.Lalis<sup>1-2</sup>, A.Tarroux<sup>2</sup>, C.Cameron<sup>2</sup>, S.Lai<sup>2</sup>, J.Bety<sup>2</sup>, D.Berteaux<sup>2</sup>

<sup>1</sup> MNHN, CNRS UMR 7205, Origine, Structure et Evolution de la Biodiversité, 75005 Paris, France. ([lalis@mnhn.fr](mailto:lalis@mnhn.fr))

<sup>2</sup> UQAR, Chaire de Recherche du Canada en Conservation des Écosystèmes Nordiques, 300, allée des Ursulines, Rimouski (Québec), Canada G5L 3A1. ([arnaud.tarroux@uqar.qc.ca](mailto:arnaud.tarroux@uqar.qc.ca), [cassandra.cameron@uqar.qc.ca](mailto:cassandra.cameron@uqar.qc.ca), [laisandra@gmail.com](mailto:laisandra@gmail.com), [joel\\_bety@uqar.ca](mailto:joel_bety@uqar.ca), [dominique\\_berteaux@uqar.qc.ca](mailto:dominique_berteaux@uqar.qc.ca))

### Résumé

Cette communication fait la synthèse des études menées depuis 1993 sur le renard arctique, le principal prédateur de l'écosystème de la toundra de l'île Bylot dans le parc national Sirmilik au Nunavut. Depuis 2003, D. Berteaux et son équipe y mènent une étude intensive sur la population de renards arctiques, participant ainsi plus largement aux suivis écologiques et environnementaux réalisés sur l'île Bylot depuis 1993, axées sur l'étude des interactions trophiques (interactions entre les plantes, les herbivores et les prédateurs) dans un contexte de changement global (Gauthier *et al.*, 2004).

Les projets de recherche se sont concentrés dans un premier temps chez le renard arctique en été à la description des habitats de reproduction (surveillance et observation aux tanières, Szor , 2006 ; Szor *et al.*, 2008), à l'élaboration des protocoles de capture et à l'étude du régime alimentaire : relations aux abondances cycliques des populations de lemmings (Berteaux & Gauthier, 2008) et comportement de cache de nourriture (Careau *et al.*, 2007, 2008). La collecte de connaissances traditionnelles auprès des populations Inuits de la région est venue compléter les données scientifiques sur l'alimentation et a permis d'élargir les problématiques de recherche sur les déplacements hivernaux des individus (Gagnon & Berteaux, 2009). Un projet de suivi télémétrique par colliers Argos a donc été initié en 2007 (Tarroux *et al.*, 2010a). Les études du régime alimentaire par isotopes stables (Tarroux *et al.*, 2010b) et du comportement de soins portés par les adultes aux jeunes par la pose d'appareils photo automatiques aux tanières (Tremblay, 2012) sont venus compléter les recherches. En 2009, les comportements des couples reproducteurs des renards arctiques de l'île Bylot ont été expliqués grâce à une étude génétique de la structure sociale (Cameron *et al.*, 2011). De même, depuis 2009, le génotypage moléculaire par marqueurs microsatellite permet d'évaluer pour chaque année les taux de migration des individus et de dispersion des juvéniles.

Ainsi, de 2003 à 2011, 108 tanières réparties sur 600 km<sup>2</sup> ont été répertoriées. 251 juvéniles renards arctiques et 124 adultes ont été capturés et marqués. Depuis 2007, 81 individus (76 adultes et 5 juvéniles) ont été équipés de colliers satellitaires permettant un suivi régulier au cours d'un cycle annuel complet. Ainsi des déplacements à très grand échelle ont pu être révélés (avec un maximum de 4599 km en 5 mois) ainsi que des vitesses de déplacement élevées et soutenues atteignant jusqu'à 90 km/jour (Tarroux *et al.*, 2010a ; Tarroux, 2011). Les mouvements saisonniers, particulièrement sur la banquise, la sélection de l'habitat et l'organisation spatiale des renards pendant la saison de reproduction ont également pu être précisés (Lai *et al.*, 2009). Depuis 2003, 259 individus ont été génotypés. Le renard arctique se caractérise socialement monogame. Les résultats de l'étude sur les régimes d'appariement du renard arctique de l'île Bylot ont montré que les couples de renards étaient très stables, pouvant perdurer jusqu'à 14 saisons estivales de reproduction (Cameron *et al.*, 2011). Aucun cas de 'divorce' n'a été répertorié dans notre échantillonnage. Pourtant, parmi les portées dont le père social était connu, des assignations parentales ont révélé que 31% des 124 renardeaux testés, distribués dans 10 portées, présentaient des évidences de paternité extra-conjugale (Cameron *et al.*, 2011). De plus, en 2011, pour la première fois sur l'île Bylot, une tanière active de renard roux a été observée et les individus (1 couple et 5 renardeaux) ont été capturés et marqués. Le renard roux semble donc se déplacer vers le nord pour atteindre le territoire du renard arctique. Les causes de cette expansion sont toujours incertaines, bien que l'hypothèse du changement climatique soit avancée comme éléments de réponse et que certaines corrélations avec des variables climatiques existent (Gallant, 2010). Les conséquences potentielles de son implantation dans la toundra pourraient être importantes pour l'écosystème nordique, et particulièrement pour le renard arctique (compétition interspécifique).

L'ensemble de ces recherches permettent d'établir un profil écologique plus précis du renard arctique, principal prédateur de la toundra à l'île Bylot. Il est essentiel à terme de relier les connaissances obtenues sur le renard arctique aux autres projets d'étude visant à assembler l'ensemble des intervenants du système trophique arctique. En particulier aux autres prédateurs arctiques et aux compétiteurs potentiels (renard roux, hermine, harfang, goéland bourgmestre, labbes, buses, Gauthier *et al.*, 2004). Comprendre comment chacune de ces espèces influence à la fois les autres prédateurs et les proies dans ce système trophique fait partie des buts à long terme des recherches menées sur l'île Bylot

et dans l'Arctique canadien. Ces démarches sont essentielles pour anticiper les effets des changements climatiques sur les systèmes trophiques arctiques (Krebs *et al*, 2003).

### Références

- Berteaux D, Gauthier G (2008) Dynamics of lemmings and arctic foxes on Bylot Island, Nunavut, Canada. International IPY conference on the Dynamics of Lemmings and Arctic foxes in the Circumpolar Tundra. Salekhard, Russia.
- Cameron C, Berteaux D, Dufresne F (2011) Spatial variation in food availability predicts extrapair paternity in the arctic fox. *Behavioral Ecology*, 22 (6), 1364-1373.
- Careau V, Giroux JF, Gauthier G, Berteaux D (2008) Surviving on caches food, the energetics of egg-caching by arctic foxes. *Canadian Journal of Zoology*, 86, 1217-1223.
- Careau V, Giroux JF, Gauthier G, Berteaux D (2007) Cache and carry: hoarding behavior of arctic foxes. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 62, 87-96.
- Gagnon CA, Berteaux D (2009) Integrating traditional ecological knowledge and ecological science : a question of scale. *Ecology and Society*, 14, 19.
- Gallant D (2010) Le renard roux dans l'Arctique canadien : expansion géographique, effets des changements climatiques et interactions avec le renard arctique. Doctorat, UQAR.
- Gauthier G, Bety J, Giroux J.F, Rochefort L (2004) Trophic interactions in a high Arctic snow goose colony. *Integrative and Comparative Biology*, 44, 119-129.
- Krebs CJ, Danell K et al. (2003) Terrestrial trophic dynamics in the Canadian Arctic. *Canadian Journal of Zoology*, 81, 827-843.
- Lai S, Berteaux D, Bety J (2009) From land to sea ice with the arctic fox, following the movements of a terrestrial mammal in the Canadian High Arctic. Sixth ArctiNet Scientific Meeting, Victoria, BC.
- Tarroux A, Berteaux D, Bety J (2010a) Northern nomads: ability for extensive movement in adult arctic foxes. *Polar Biology*, 33, 1021-1026.
- Tarroux A., Ehrlich D, Lecomte N, Jardine T.D., Bety J, Berteaux D. (2010b). Sensitivity of stable isotope mixing models to variation in isotopic ratios: evaluating consequences of lipid extraction. *Methods in Ecology and Evolution*, 1, 231-241.
- Tarroux A. (2011). Utilisation de l'espace et des ressources chez un carnivore terrestre de l'arctique : le renard polaire. Doctorat, UQAR. 197p
- Tremblay E (2012) Comportement à la tanière chez le renard arctique à l'île Bylot, Nunavut. Master UQAR.
- Szor G (2006) Sélection des sites de tanières et des tanières de reproduction chez le renard arctique à l'île Bylot, Nunavut. Master UQAR, 80p.
- Szor G, Berteaux D, Gauthier G (2008) Finding the right home : distribution of food resources and terrain characteristics influence selection of denning sites and reproductive dens in arctic foxes. *Polar Biology*, 31, 351-362.

## Tolérance et réponses physiologiques aux variations de température chez un carabique d'origine australe envahissant les Îles Kerguelen

■ (15 minutes)

M. Laparie<sup>1</sup>, V. Larvor<sup>2</sup>, D. Renault<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Université de Rennes 1, UMR CNRS 6553 Ecobio, Station Biologique de Paimpont, 35380 Paimpont, France ([mathieu.laparie@univ-rennes1.fr](mailto:mathieu.laparie@univ-rennes1.fr))

<sup>2</sup> Université de Rennes 1, UMR CNRS 6553 Ecobio, 263 Avenue du G<sup>al</sup> Leclerc, CS 74205, 35042 Rennes Cedex, France ([vanessa.larvor@univ-rennes1.fr](mailto:vanessa.larvor@univ-rennes1.fr), [david.renault@univ-rennes1.fr](mailto:david.renault@univ-rennes1.fr))

### Abstract

Recent human activities and rising air temperature have increased the vulnerability of sub-Antarctic islands to alien species. At the Kerguelen Islands, the predaceous ground beetle *Merizodus soledadinus* is the only invasive species originating from the southern cold temperate area. This origin rises the question of the limits of its physiological tolerance to (i) global changes and (ii) warmer climates of archipelagoes where its accidental transportation could be facilitated from Kerguelen (namely Crozet, Amsterdam & Saint Paul). Using GC-MS techniques, we compared metabotypes of adults exposed to different temperatures. Whatever the temperature, all individuals survived after two weeks. The physiological changes were consistent with increased metabolic rate at increased temperatures, without extreme metabotypes characteristic of an acute stress. Factors other than temperature may constrain the species' natural range, like desiccation or competition. These factors remain of low importance in sub-Antarctic archipelagoes not invaded yet, highlighting the need for stringent biosecurity measures.

### Introduction

Les invasions biologiques sont la seconde cause mondiale d'érosion de la biodiversité. Bien que l'histoire des introductions d'espèces soit récente dans les îles subantarctiques (isolement géographique, climatique, faible niveau d'activité humaine, déconnexion des grands flux commerciaux, etc.), ces milieux apparaissent aujourd'hui comme particulièrement vulnérables à cette menace. Six espèces d'insectes sont considérées invasives dans l'archipel. Parmi elles, le carabique prédateur *Merizodus soledadinus* est la seule espèce non cosmopolite, son aire native étant restreinte à la zone tempérée froide australe (Îles Falkland, Patagonie et Terre de feu). Cet insecte rencontre actuellement des températures moyennes légèrement plus faibles aux Îles Kerguelen que dans son aire native, renforçant l'idée selon laquelle le rythme des changements climatiques observé depuis les années 1970 aux Îles Kerguelen tend à lever la barrière climatique au succès des ectothermes exotiques. L'origine australe de cette espèce soulève toutefois la question de sa tolérance thermique. Celle-ci peut conditionner (i) sa réponse aux changements climatiques à long terme et (ii) son succès potentiel dans des archipels subantarctiques au climat plus chaud (Crozet, Amsterdam & Saint Paul) dans lesquels il pourrait être accidentellement transporté depuis les Îles Kerguelen via les navires militaires, scientifiques ou de pêche du secteur. Les mécanismes physiologiques de la réponse de *M. soledadinus* aux variations de températures, ainsi que leurs limites, restent pourtant inconnus. Dans la présente étude, nous nous sommes attachés à examiner les réponses physiologiques de ce carabique à la température à l'aide d'outils métabolomiques (GC-MS). Cette approche a été conduite sur des adultes exposés pendant deux semaines à 0, 4, 8, 12, 16 ou 20 °C, en présence ou en l'absence de nourriture. La large gamme de températures considérée peut permettre de détecter l'apparition éventuelle de dommages physiologiques et, ainsi, de préciser les limites physiologiques de la réponse plastique à la température chez *M. soledadinus*.

### Observations et résultats

#### Taux de survie

Aucune mortalité n'a été observée après deux semaines d'exposition aux différentes températures, quel que soit le statut trophique des individus exposés, suggérant une large tolérance thermique chez *M. soledadinus*.

#### Réponses métaboliques aux différents régimes thermiques

Parmi les 60 molécules composant notre librairie, nous avons détecté 10 acides aminés libres, 8 métabolites intermédiaires, 8 polyols, 6 sucres et 5 amines ou autres métabolites. Les composés au delà des limites de quantification ou présentant un ratio signal/bruit inférieur à 10 ont été éliminés pour assurer la fiabilité des données, 27 composés ont ainsi été conservés pour les analyses statistiques.

Les quantités totales en acides aminés libres, en métabolites intermédiaires et en sucres diminuent à mesure que la température d'acclimatation est augmentée. La quantité totale en polyols, des composés généralement impliqués dans les réponses aux stress thermiques chez les insectes, n'est à l'inverse pas affectée significativement par les températures testées dans cette étude.

L'analyse plus fine des métabolites révèle une corrélation inverse entre la température d'acclimatation et les concentrations en fumarate, tréhalose, éthanolamine, alanine, ornithine, phénylalanine et glycine. La cadavérine et l'erythritol sont beaucoup plus concentrés chez les individus acclimatés à 20 °C que chez les autres. À l'inverse, les individus exposés à 0 °C se caractérisent par les plus faibles concentrations en cadavérine et en maltose.

Chez les individus à jeun, l'augmentation de la température se traduit par une diminution graduelle des concentrations en inositol, glycine, phénylalanine, ribose, tréhalose, succinate, fumarate et éthanolamine. Là encore, l'erythritol est accumulé chez les insectes exposés à 20 °C, mais la cadavérine reste faiblement concentrée dans toutes les classes d'individus. Les individus exposés à 0 °C présentent des concentrations élevées pour la plupart des sucres, des métabolites intermédiaires et des acides aminés libres. Ces deux groupes se caractérisent enfin par des concentrations relativement fortes en alanine, valine et triéthanolamine.

## Discussion et conclusion

L'existence de métabotypes contrastés en fonction de la température d'acclimatation chez *M. soledadinus* traduit la capacité de cette espèce à répondre physiologiquement aux variations de température. Celle-ci est faiblement influencée par la disponibilité des ressources. L'augmentation de température inclue notamment la diminution de plusieurs acides aminés libres (alanine, glycine, ornithine, et phénylalanine, auxquelles sont fortement corrélées la sérine et la thréonine), du tréhalose (un sucre de réserve consommé lors du jeûne chez *M. soledadinus*; Laparie et al. 2012) et du fumarate (un métabolite du cycle intermédiaire). Ces changements sont compatibles avec l'hypothèse d'une augmentation de l'activité métabolique et de l'activité locomotrice lorsque la température est augmentée (Ottesen 1990). Les différences physiologiques apparaissent de manière progressive entre les traitements, sans métabotypes extrêmes ou marginaux, suggérant par conséquent que les températures testées ne représentent pas des stress aigus chez *M. soledadinus*. Cette observation est cohérente avec les taux de survie de 100 % observés après deux semaines d'exposition. Des mesures de traits de vie après exposition seraient toutefois nécessaires pour apprécier les conséquences des températures testées sur la fitness individuelle.

Il est en revanche à noter l'accumulation importante de l'erythritol chez les individus exposés à 20 °C. Celle-ci est remarquable car les polyols sont généralement accumulés en réponse au froid pour agir comme cryoprotectants et accroître la tolérance thermique chez les invertébrés. L'accumulation d'erythritol à 20 °C pourrait à l'inverse indiquer une dégénération de ce système plutôt qu'une réponse plastique. La cadavérine agit quant à elle comme signal d'induction des Heat Shock Proteins (HSP) chez les plantes (Gill & Tuteja 2010). Chez la drosophile, l'expression des gènes de stress associés est dépendante de l'acclimatation thermique (Colinet & Hoffmann 2012), et l'accumulation de cadavérine chez les insectes pourrait donc témoigner d'un stress thermique (Michaud et al. 2008). Il est à noter que la cadavérine n'est accumulée que chez les individus de *M. soledadinus* exposés à 20 °C et nourris, suggérant une influence du statut trophique. Les activités métabolique et locomotrice peuvent être accrues chez les individus nourris, conduisant potentiellement à une sensibilité plus importante aux températures élevées, tandis que les individus à jeun pourraient adopter une stratégie de type *sit and wait* leur permettant de retarder l'expression de réponses aux stress.

Lalouette et al. (2011) ont récemment suggéré chez *M. soledadinus* une meilleure performance lors de l'exposition à des températures plus élevées que les températures moyennes aux Îles Kerguelen. Nos résultats soutiennent cette idée et indiquent une tolérance thermique importante chez cette espèce invasive, dont les premiers symptômes de stress (non létaux après deux semaines) pourraient n'apparaître qu'à partir d'expositions prolongées à 20 °C. Cette température est supérieure à celle des mois les plus chauds dans la zone native, la répartition native de cette espèce pourrait donc être contrainte également par d'autres facteurs tels que la compétition ou la dessiccation, alors que ceux-ci sont négligeables dans les Îles Kerguelen où l'espèce rencontre un fort succès. Conformément à cette idée, l'espèce a déjà été décrite comme particulièrement sensible à la dessiccation (Todd & Block 1997), tandis que son faible succès invasif en Géorgie du Sud (une autre île subantarctique) pourrait résulter de l'invasion d'un autre carabique prédateur *Trechisibus antarcticus*. Ce travail indique que les changements climatiques intenses aux Îles Kerguelen pourraient encore aggraver l'invasion de *M. soledadinus* à moyen terme, menaçant ainsi doublement les proies natives. Il met par ailleurs en lumière la nécessité de mesures de biosécurité strictes pour limiter les risques de transport d'individus depuis les Îles Kerguelen vers des archipels au climat plus chaud mais non aride, tels que les îles Crozet, voire Amsterdam et Saint Paul qui accueillent occasionnellement des navires en provenance de Kerguelen. Les adultes de cette espèce peuvent en effet supporter des températures élevées par rapport à celles de leur aire native et possèdent les capacités de jeûne nécessaires à la survie lors du transport par bateau (Laparie et al. 2012).

### Remerciements

Nous remercions l'Institut Polaire français Paul-Émile Victor IPEV (programme 136) ainsi que l'Agence Nationale de la Recherche (programme ANR Evince) pour leur soutien financier à ces expérimentations. Nous tenons par ailleurs à remercier les volontaires civils pour leur aide au nourrissage des individus lorsque nous ne pouvions pas l'assurer en raison de travail de terrain durant les expérimentations.

### Références

- Colinet, H. and A.A. Hoffmann, (2012), Comparing phenotypic effects and molecular correlates of developmental, gradual and rapid cold acclimation responses in *Drosophila melanogaster*. *Funct. Ecol.*, 26; 84-93.
- Gill, S.S. and N. Tuteja, (2010), Polyamines and abiotic stress tolerance in plants. *Plant signaling and behavior*, 5, 26-33.
- Lalouette, L., C.M. Williams, M. Cottin, B.J. Sinclair and D. Renault, (2011), Thermal biology of the alien ground beetle *Merizodus soledadinus* introduced to the Kerguelen Islands. *Polar Biol.*, 35, 509-517.
- Laparie, M., V. Larvor, Y. Frenot and D. Renault, (2012), Starvation resistance and effects of diet on energy reserves in a predatory ground beetle (*Merizodus soledadinus*; Carabidae) invading the Kerguelen Islands. *Comp. Biochem. Physiol. A*, 161, 122-129.
- Michaud, M.R., J.B. Benoit, G. Lopez-Martinez, M.A. Elnitsky, R.E. Jr. Lee and D.L. Denlinger, (2008), Metabolomics reveals unique and shared metabolic changes in response to heat shock, freezing and desiccation in the Antarctic midge, *Belgica antarctica*. *J. Insect Physiol.*, 54, 645-655.
- Ottesen, P.S. (1990), Diel activity patterns of Carabidae, Staphylinidae and Perimylopidae (Coleoptera) at South Georgia, Sub-Antarctic. *Polar Biol.*, 10, 515-519.
- Todd, C.M. and W. Block, (1997), Responses to desiccation in four Coleopterans from sub-Antarctic South Georgia. *J. Insect Physiol.*, 43, 905-913.

## **Quantifier les flux de glace Antarctique à la mer à travers la compréhension et la modélisation des glaciers émissaires en vue d'une meilleure estimation du futur niveau des mers - Le Projet DACOTA (Dynamique CÔtière en Terre Adélie, projet IPEV N° 1053)**

■ (15 minutes)

E. Le Meur<sup>1</sup>, M. Sacchetti<sup>1</sup>, G. Durand<sup>1</sup>, A.S. Drouet<sup>1</sup>, F. Gillet-Chaulet<sup>1</sup>, B. de Fleurian<sup>4</sup>.

<sup>1</sup>LGGE UMR 5183 CNRS-UJF, Domaine Universitaire, 38402, St Martin d'Hères, France (lemeur@lge.obs.ujf-grenoble.fr)

### **Contexte**

La quasi intégralité de la neige tombant sur le continent antarctique est évacuée à la côte (suite à sa transformation en glace) où elle finit par se détacher sous forme d'icebergs. A la faveur de cet écoulement gravitaire essentiellement contrôlé par la topographie du socle rocheux, ces flux de glace se concentrent en de véritables 'fleuves de glace' caractérisés par leur relative étroitesse et de fortes vitesses de débit (voir la figure). Les systèmes émissaires qui en résultent obéissent à une dynamique d'écoulement très spécifique et surtout très sensible aux changements environnementaux comme le confirme la très forte et soudaine accélération de ces glaciers récemment observée. Le projet **DACOTA** vise à comprendre ces systèmes émissaires par le jeu combiné de l'observation et de la modélisation numérique. Le glacier de l'Astrolabe en Terre Adélie a été sélectionné comme zone atelier au niveau de laquelle un protocole étendu de mesures permet de collecter les informations nécessaires à la compréhension de la dynamique spécifique de ces systèmes glaciaires côtiers et à la conduite d'un important travail de modélisation numérique visant à prédire leur comportement futur. Ces résultats extrapolés sur l'ensemble des glaciers émissaires d'un plus vaste secteur de l'Antarctique de l'Est (au niveau desquels des mesures aéroportées sont aussi conduites) permettront d'affiner la prédiction de la future contribution de la calotte glaciaire au niveau des mers.

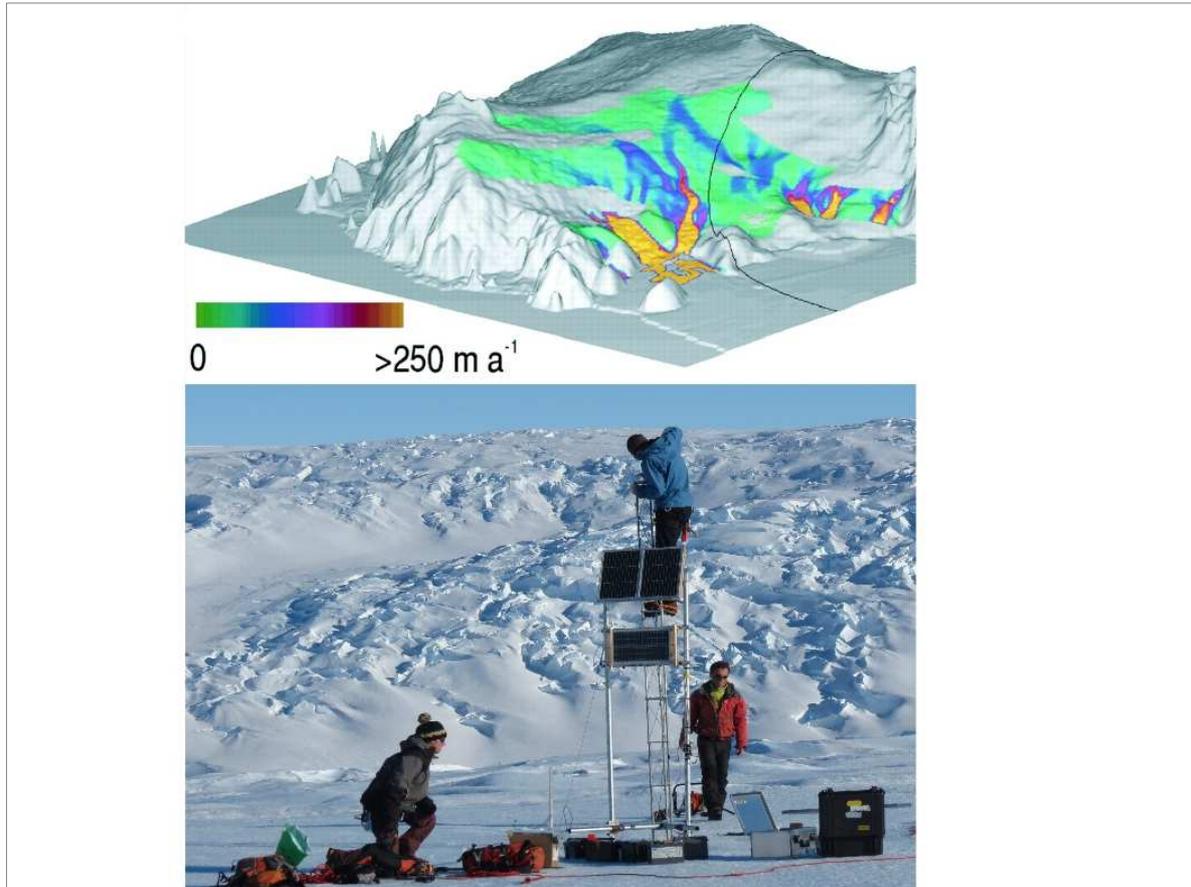
### **Observation et modélisation des systèmes glaciaires côtiers et résultats (style Titre 2)**

#### *Activités de terrain*

Ce sont les paramètres influant la dynamique de ces glaciers qui ont motivé le choix des protocoles de mesures. Parmi eux citons la topographie du lit rocheux sous le glacier, laquelle est fondamentale par le fait de guider l'écoulement de la glace. Celle-ci a été mesurée à l'aide d'un radar aéroporté à la fois sur le glacier écolé et sur l'ensemble des autres gros glaciers émissaires situés dans un rayon de 1500 km, et ce dans le cadre d'une importante collaboration avec l'Université du Texas. La position de la ligne d'échouage (ligne à partir de laquelle le glacier se met à flotter sur la mer) s'avère aussi fondamentale (car marque la transition entre 2 régimes d'écoulement glaciaire totalement différents) et a donc fait l'objet d'une cartographie à l'aide d'une méthode originale de mesure des déplacements verticaux par GPS différentiel. Ensuite, l'écoulement en surface du glacier est mesuré en continu à l'aide d'un réseau de 9 stations GPS permanentes et autonomes (voir figure). Ce genre de mesure s'avère fondamental pour valider et affiner les résultats de modélisation numérique.

#### *Modélisation numérique*

Sur le plan modélisation, la dynamique complexe de ces systèmes glaciaires côtiers a requis le développement de modèles hautement spécifiques intégrant les particularités de ces glaciers et notamment la mobilité de la ligne d'échouage. Les principaux problèmes rencontrés tiennent à la nécessité d'une vraie modélisation en 3 dimensions (pour rendre compte d'importants effets latéraux du fait du fort contrôle topographique sur l'écoulement) et à une haute résolution spatiale (du fait de la taille réduite de ces fleuves de glace). Ces aspects sont en passe d'être résolus grâce à l'utilisation de codes appropriés ainsi que de calculateurs de plus en plus puissants.



Légende : Haut : Illustration du processus de concentration de la glace dans son cheminement vers la mer pour former un système émissaire étroit à fortes vitesses d'écoulement à la côte (à l'image d'un fleuve). Bas : Montage d'une des 9 stations GPS permanentes et autonomes du réseau de déformation du glacier école de l'Astrolabe en Terre Adélie.

### Principaux résultats

Les 4 années de mesures de terrain effectuées dans le cadre du projet auront permis une bonne caractérisation du glacier école et font de celui-ci l'un des glaciers les mieux documentés d'Antarctique. Ces mesures ont aussi permis non seulement de mieux comprendre le fonctionnement des systèmes émissaires côtiers mais aussi de fournir les données nécessaires au calage des modèles d'écoulement ainsi qu'à leur initialisation dans le cadre des simulations évolutives. En terme de développement de modèle, le projet DACOTA s'est traduit par une meilleure représentation de la mobilité de la ligne d'échouage ainsi que de ses effets sur la dynamique glaciaire, notamment grâce au passage en 3D. Enfin, l'application de ces modèles a confirmé l'importance de la topographie sous-glaciaire en mettant en évidence une instabilité de la calotte glaciaire sous certaines configurations, configurations qui ont par ailleurs été révélées sous une part importante des grands glaciers émissaires de l'Antarctique de l'Ouest au cours des mesures aéroportées. Sur ces bases, les possibilités de déstabilisations de la calotte et les conséquences sur le niveau des mers à plus ou moins brève échéance pourront être testées et quantifiées par modélisation numérique.

### Remerciements

Le projet DACOTA a été initié et financé dans le cadre de l'appel d'offre de l'Agence Nationale de la Recherche 'Changement climatique et Environnement : des impacts à la vulnérabilité des sociétés'. Sa mise en œuvre sur le terrain a été possible grâce au soutien logistique de l'Institut Polaire au cours des 5 dernières campagnes de terrain en Terre Adélie.

### Références

Durand, G., Gagliardini, O., De Fleurian, B., Zwinger, T. & Le Meur, E. (2009), Marine ice sheet dynamics: Hysteresis and neutral equilibrium. *J. Geophys. Res.* **114**, (2009).



Durand, G., Gagliardini, O., Favier, L., Zwinger, T. & le Meur, E. (2011), Impact of bedrock description on modeling ice sheet dynamics. *Geophysical Research Letters* **38**, L20501 (2011).

Gagliardini, O., Durand, G., Zwinger, T., Hindmarsh, R. C. A. & Le Meur, E. (2010), Coupling of ice-shelf melting and buttressing is a key process in ice-sheets dynamics. *Geophys. Res. Lett.* **37**, 5 PP. (2010).

## Aliens in Antarctica : les scientifiques font les poches !

■ (15 minutes)

M. Lebouvier<sup>1</sup>, Y. Frenot<sup>2</sup>

<sup>1</sup> UMR 6553 Ecobio CNRS Université de Rennes 1, Station Biologique, 35380 Paimpont, France ([marc.lebouvier@univ-rennes1.fr](mailto:marc.lebouvier@univ-rennes1.fr))

<sup>2</sup> Institut Polaire Français Paul Emile Victor, Technopôle Brest-Iroise, BP 75, 29280 Plouzané, France ([yves.frenot@ipev.fr](mailto:yves.frenot@ipev.fr))

### Introduction

Les invasions biologiques sont reconnues comme la seconde cause d'érosion de la biodiversité au niveau mondial. Le problème se pose avec une acuité particulière dans les régions isolées géographiquement, en particulier les îles. A l'occasion de la dernière Année Polaire Internationale plusieurs équipes ayant déjà mené des recherches sur les espèces introduites dans les îles subantarctiques se sont associées pour évaluer le rôle des visiteurs dans le transport et l'introduction de graines lors de leur voyage en Antarctique. La probabilité pour ces espèces étrangères de s'établir en Antarctique dans les conditions climatiques actuelles est limitée mais le risque est néanmoins réel et s'accroît avec les changements climatiques en cours, en particulier sur la Péninsule Antarctique. Ce risque a été évalué aussi à l'horizon 2100, en se basant sur les scénarios climatiques du GIEC en relation avec les émissions de gaz à effet de serre.

### Observations et résultats

A l'occasion de l'Année Polaire Internationale, pendant la saison estivale 2007-2008, plus de 5600 personnes rencontrées sur les navires ou avions de desserte des programmes antarctiques nationaux ou des navires de tourisme ont répondu à un questionnaire anonyme sur leur origine, leur statut (scientifique, touriste...), les pays fréquentés dans les 12 mois précédant leur voyage en Antarctique et la manière dont ils ont nettoyé leur équipement avant leur départ. Au sein de cet échantillon 853 d'entre eux se sont prêtés à un examen minutieux de leurs effets personnels afin de déterminer à la fois le nombre de graines transportées et les espèces végétales concernées.

Plus de la moitié des individus de l'échantillon ne portaient aucune propagule et la charge moyenne pour les porteurs s'élevait à une dizaine de graines, avec de grandes disparités. Au total, ce sont plus de 2600 propagules, graines ou fragments végétaux capables de participer à la dissémination des plantes, qui ont été récoltées dans les effets de ces volontaires. 43 % de ces propagules ont pu être identifiées au niveau de l'espèce et la moitié de ces espèces sont adaptées à des environnements froids et pourraient supporter les conditions rencontrées dans certaines régions de l'Antarctique.

Quelques espèces invasives ont déjà pu s'établir à l'ouest de la Péninsule Antarctique, dans une région fortement touchée par le réchauffement et où les futurs changements climatiques sont susceptibles de faciliter l'installation de nouvelles espèces, originaires de régions plus tempérées. Cette région est également le secteur de l'Antarctique le plus visité.

L'étude a permis de discriminer les contributions respectives des différents types de visiteurs se rendant en Antarctique : les équipages de navire / avion, les touristes, leurs guides, les scientifiques et les personnels logistiques et de maintenance des bases polaires. Si les touristes et les membres d'équipages transportent moins de graines que les scientifiques, les guides ou les personnels logistiques des bases, leur nombre est quatre fois plus important et leur fréquentation est concentrée sur un petit nombre de sites.

### Discussion et conclusion

Cette étude a permis d'évaluer le risque d'introduction et d'établissement de plantes allochtones dans les différents secteurs de l'Antarctique en combinant des données sur le type et l'intensité de la fréquentation humaine, le flux de propagules lié aux visiteurs, les caractéristiques actuelles du climat et leur évolution estimée.

Ces résultats, complétés par ceux d'une étude portant sur les propagules arrivant avec le ravitaillement en vivres frais des stations, fournissent aux signataires du Traité sur l'Antarctique et du Protocole pour la Protection de l'environnement, dit aussi Protocole de Madrid, des bases pour mettre en place des mesures préventives afin de minimiser les risques d'introduction d'espèces sur le continent blanc.

### Remerciements

La contribution française à cette étude a bénéficié du soutien de l'IPEV. Nous remercions les nombreuses personnes – collègues et hibernants du programme IPEV 136, logisticiens IPEV - qui ont participé à cette étude comme opérateurs et les passagers du Marion-Dufresne et de l'Astrolabe qui ont accepté de faire partie de notre échantillon. Philips Netherlands Ltd. a fourni gratuitement les

aspirateurs utilisés pour cette étude. L'examen des vivres frais a été possible grâce à la collaboration de l'administration des TAAF et de personnels des bases de Crozet, Kerguelen et Amsterdam.

#### Références

- Chown, S.L., A.H.L. Huiskes, N.J.M. Gremmen, J.E. Lee, A. Terauds, K. Crosbie, Y. Frenot, K.A. Hughes, S. Imura, K. Kiefer, M. Lebouvier, B. Raymond, M. Tsujimoto, C. Ware, B. Van de Vijver and D.M. Bergstrom, (2012), Continent-wide risk assessment for the establishment of nonindigenous species in Antarctica. PNAS [10.1073/pnas.1119787109]
- Hughes K.A., J.E. Lee, M. Tsujimoto, S. Imura, D.M. Bergstrom, C. Ware, M. Lebouvier, A.H.L. Huiskes, N.J.M. Gremmen, Y. Frenot, P.D. Bridge and S.L. Chown, (2011), Food for thought: risks of non-native species transfer to the Antarctic region with fresh produce. Biol. Conser., 144, 1682-1689. [10.1016/j.biocon.2011.03.001]
- Frenot Y., S.L. Chown, J. Whinam, P.M. Selkirk, P. Convey, M. Skotnicki and D.M. Bergstrom D., (2005), Biological invasions in the Antarctic: extent, impacts and implications. Biol. Rev., 80, 45-72. [10.1017/S1464793104006542]

## **Application des critères de reconnaissance des « bouffées d'espèces » (« *species flocks* ») aux organismes benthiques du plateau continental antarctique**

■ (15 minutes)

G. Lecointre<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>UMR 7138 CNRS Systématique, Adaptation, Evolution, Département Systématique et Evolution, Muséum National d'Histoire Naturelle, CP 39, 57 rue Cuvier, 75005 Paris, France (lecointr@mnhn.fr)

<sup>2</sup>Programme IPEV 1124 « REVOLTA » et projet ANR-07-BLAN-0213 « ANTFLOCKS »

### **Résumé**

L'une des modalités de mise en place de la diversité des espèces est l'apparition de "bouffée d'espèces". Il s'agit d'espèces nombreuses, étroitement apparentées entre elles, endémiques d'une zone donnée, écologiquement diversifiées et importantes dans l'écosystème en termes de biomasse. Compte tenu de sa situation géographique et physique, le plateau continental antarctique a été décrit comme générateur de telles bouffées d'espèces marines. Le projet ANTFLOCKS, soutenu par l'ANR (2007-2011), qui réunissait une trentaine de chercheurs, visait à tester cette idée sur une plus grande diversité d'organismes benthiques. Plus globalement, le projet visait aussi à contribuer à l'exploration et à la caractérisation la faune marine antarctique d'un point de vue taxonomique et systématique. Dix nouveaux creusets d'espèces ont été identifiés. Sept autres sont presque des "bouffées d'espèces" et la piste est indiquée pour que les critères écologiques soient mieux documentés. D'autres situations testées n'entrent clairement pas dans ce cadre. Nous discuterons de l'applicabilité des différents critères utilisés.

## **INDIEN SUD-2: une campagne de carottages sédimentaires au large des îles Kerguelen pour étudier les variations passées du courant circum Antarctique au cours des derniers cycles climatiques.**

■ (15 minutes)

A. Mazaud<sup>1</sup>, E. Michel<sup>1</sup>, N. Caillon<sup>1</sup>, S. Bujan<sup>2</sup>, M.H. Castéra<sup>2</sup>, et J.L. Turon

<sup>1</sup>Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement, CEA-CNRS-UVSQ, domaine du CNRS, 91198 Gif-sur-Yvette  
([alain.mazaud@lsce.ipsl.fr](mailto:alain.mazaud@lsce.ipsl.fr); [elisabeth.michel@lsce.ipsl.fr](mailto:elisabeth.michel@lsce.ipsl.fr))

<sup>2</sup>Département de Géologie et Océanographie, UMR#505, Université Bordeaux 1, Avenue des facultés, F-33405, Talence Cedex

### **Résumé**

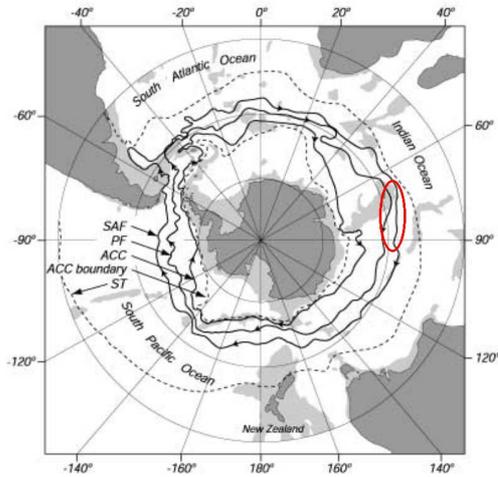
La campagne de carottages de sédiment marin INDIEN SUD-2 s'est déroulée du 23 Janvier au 11 Mars 2012 à bord du Marion Dufresne. Elle a permis d'obtenir le matériel sédimentaire nécessaire à l'étude des variations passées, hydrologiques et climatiques, de l'océan Indien Sud au cours des dernières centaines de milliers d'années, avec un focus sur les 25 000 dernières années englobant la dernière déglaciation. La zone étudiée, au voisinage et à l'Est des îles Kerguelen, est parcourue d'Ouest en Est par le courant marin le plus puissant de la planète, le courant circum-antarctique. La connaissance de la dynamique passée de ce courant qui connecte tous les océans de l'hémisphère sud, apportera des données essentielles aux modèles climatiques. Elle permettra de mieux connaître le rôle de l'océan austral dans le système climatique global, et notamment ses capacités à stocker ou relâcher du gaz carbonique lors des transitions climatiques. La comparaison de ces enregistrements avec les enregistrements glaciologiques antarctiques permettra de mieux comprendre les liens océan - cryosphère.

### **Introduction**

Cette campagne a permis compléter les carottages effectués l'an passé dans le même secteur au cours d'une mission qui avait été abrégée par une réquisition du bateau pour une évacuation sanitaire vers la Réunion d'un blessé de la base scientifique à Kerguelen. Afin d'optimiser le temps navire, trois autres programmes scientifiques ont été réalisés : OISO (Océan Indien service d'observation), OHA-SIS-BIO (Observation hydroacoustique, sismicité et biodiversité), ainsi que la réalisation de profils bathymétriques pour le programme Extraplac d'étude de l'extension du plateau continental. Les opérations scientifiques conduisant le navire à proximité des îles sub-antarctiques françaises, le Marion Dufresne y a fait de courtes escales, afin d'embarquer / débarquer des scientifiques allant travailler sur ces bases et de réduire ainsi leur temps de résidence sur les îles. Ces mouvements de personnel sont effectués en plus du transport normal de personnel scientifique vers les bases assuré par les TAAF lors des rotations logistiques du navire 4 fois par an seulement.

### **Observations et résultats**

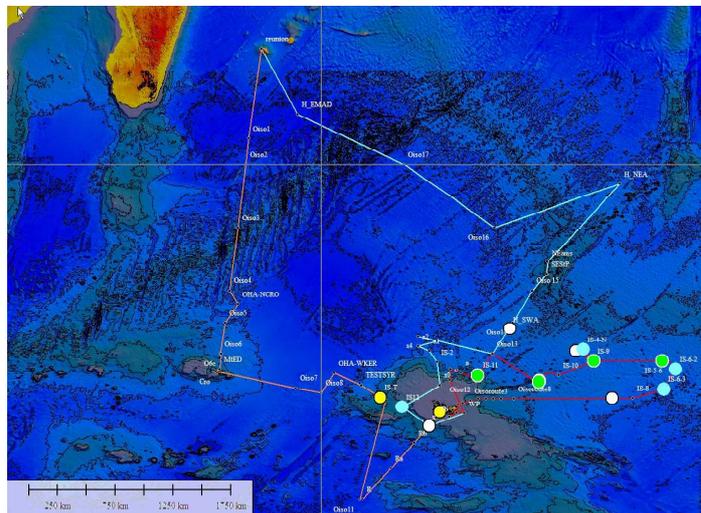
L'organisation logistique de cette campagne a été prise en charge par l'IPEV. Les opérations de carottage sédimentaires ont été réalisées à l'aide de deux types de carottiers, le CALYSPO et le CASQ, tous deux développés à l'IPEV. Ces carottiers répondent aux besoins de carottes de sédiment de grande longueur et grand volume ainsi qu'aux problématiques de la paléoclimatologie. Le carottier géant CALYPSO permet des carottages longs (> 40 mètres) de qualité et donc de remonter loin dans le temps. Le carottier CASQ à large section carrée permet d'obtenir de grands volumes de sédiment non déformé sur les premiers 10 mètres de la colonne sédimentaire. Pour la plupart, ces carottages ont été réalisés à l'est des îles Kerguelen, aux environs de 45°S. Nous avons effectué 14 carottages, dont une carotte côtière dans la baie de la table à Kerguelen pour le projet KAVIAR (Patrick Albéric et Elisabeth Michel).



**Figure 1.** La zone d'étude (en rouge): SAF : front sub-Antarctique, PF : Front polaire , ACC : courant circumpolaire

Des prélèvements avec un filet à plancton ont été effectués sur certaines stations OISO. Il s'agit d'étudier les assemblages des foraminifères au travers des fronts de l'océan austral, d'effectuer des analyses génétiques et morphologiques, et de quantifier la contribution des foraminifères aux flux verticaux de carbone. Des prélèvements d'eau y ont également été effectués, pour le LSCE, en plus de ceux du programme OISO, pour le carbone-14 et le Bore. Nous avons également effectué des prélèvements d'air à 3 latitudes différentes pour des études du rapport He3/He4 de la basse atmosphère.

Des actions pédagogiques ont été menées depuis le bord vers des écoles élémentaires de Limeil-Brevannes (91) et Villenave d'Ornon (33), par Nicolas Caillon (LSCE) et Stéphane Bujan (Université Bordeaux1). Une émission de radio « Circulez il y a le monde a voir » a été consacrée à cette campagne sur France Info.



**Figure 2.** Le trajet de la campagne Indien Sud-2 : les cercles représentent les sites de carottage.

### Remerciements

Alain Mazaud, chef de mission et coordinateur des programmes scientifiques, remercie très vivement l'IPEV pour la réalisation de cette campagne, ainsi que l'ensemble des scientifiques à bord, le commandant M. Bernard Lassiette, l'équipage et tout le personnel du bord du Marion Dufresne. Tous ont assuré l'excellent déroulement de cette mission et la réalisation de ses objectifs scientifiques.



**Références**

Mazaud, A., Michel, E., Dewilde, F., Turon, J.L. (2010), Variations of the Antarctic Circumpolar Current intensity during the past 500 thousands years, *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 11, Q08007, doi:10.1029/2010GC003033.

## Chronologie de la dernière déglaciation dans l'océan Austral : circulation océanique et cycle du carbone

■ (15 minutes)

Elisabeth Michel<sup>2</sup>, Giuseppe Siani<sup>1</sup>, Ricardo De-Pol Holz<sup>3</sup>, Frank Lamy<sup>4</sup>, Mélanie Carel<sup>1</sup>, Anna Lourantou<sup>2</sup>

1. Laboratoire des Interactions et Dynamique des Environnements de Surface (IDES), UMR 8148, CNRS-Université de Paris-Sud, Bâtiment 504, 91405 Orsay Cedex, France.
2. Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement (LSCE), Laboratoire mixte CNRS-CEA, Avenue de la Terrasse, 91198 Gif-sur-Yvette Cedex, France.
- 3 Department of Oceanography, University of Concepcion, Chile
- 4 Alfred Wegener Institut für Polar- und Meeresforschung, Am Alten Hafen 26, 27568 Bremerhaven, Germany

### Résumé

L'âge réservoir carbone 14 des eaux de surface (âge  $^{14}\text{C}$  des eaux de surface avec l'atmosphère prise comme référence) dépend des échanges entre l'océan et l'atmosphère et du mélange avec les eaux intermédiaires sous-jacentes. Ces âges réservoirs peuvent donc varier avec la circulation et/ou des réorganisations du cycle du carbone. Il est donc important de connaître les variations de ces âges réservoirs pour pouvoir établir des chronologies fiables des enregistrements sédimentaires marins et les comparer aux enregistrements glaciologiques et continentaux. Nous présentons ici la chronologie précise des variations océaniques dans l'océan Austral au cours de la dernière déglaciation. Les variations d'âge réservoir des eaux de surface ont été établis en corrélant les niveaux de tephras analysés dans la carotte sédimentaire marine, avec les éruptions correspondantes datées à terre. La détermination fiable de la chronologie de l'enregistrement marin nous permet de démontrer la synchronicité, lors de la dernière déglaciation, des changements de température de surface océanique avec les variations de température en antarctique, enregistrées dans les carottes de glace. Par ailleurs les enregistrements des isotopes du carbone, obtenus sur les tests de foraminifères benthiques et planctoniques prélevés dans la carotte sédimentaire, nous permettent de démontrer que les deux phases d'augmentation du carbone atmosphérique sont synchrones des événements de mélange vertical dans l'océan austral. Ces résultats confirment donc l'hypothèse d'un dégazage de carbone depuis l'océan profond au niveau de l'océan austral, lors de la dernière déglaciation.

## ECOTAB - Effect of Climate change On The Arctic Benthos - Effets des changements climatiques sur le benthos Arctique

■ (15 minutes)

N. Morata<sup>1</sup>, J. Richard<sup>1</sup>, E. Amice<sup>1</sup>, L. Chauvaud<sup>1</sup>, J. Flye Sainte-Marie<sup>1</sup>, F. Jean<sup>1</sup>, A. Leyneart<sup>1</sup>, E. Michaud<sup>1</sup>, B. Moriceau<sup>1</sup>, O. Ragueneau<sup>1</sup>, S. Martin<sup>2</sup>, S. Heussner<sup>3</sup>, P. Kerhervé<sup>3</sup>, M. Babin<sup>4</sup>, G. Massé<sup>4</sup>, F. Bruyant<sup>4</sup>, C. Lalande<sup>5</sup>, H.-O. Pörtner<sup>5</sup>, C. Manno<sup>6</sup>, J. Søreide<sup>7</sup>, J. Berge<sup>7</sup>, M. Carroll<sup>8</sup>

<sup>1</sup> LEMAR, Institut Universitaire Européen de la Mer, Plouzané, 29280, France

<sup>2</sup> Station Biologique de Roscoff, 29680, France

<sup>3</sup> CEFREM, Université de Perpignan,

<sup>4</sup> Takuvik, Université Laval, Québec, G1V 0A6 Canada

<sup>5</sup> Alfred Wegener Institute, Bremerhaven, 27570, Germany

<sup>6</sup> Arctic System Ecology, University of Tromsø, Tromsø, 9009, Norway

<sup>7</sup> The University Center in Svalbard, Longyearbyen

<sup>8</sup> Akvaplan-niva, Framsenter, Tromsø, 9296, Norway

### Résumé

Il est généralement admis aujourd'hui que les effets du changement climatique sont exacerbés en Arctique. Compte tenu de l'importance de la glace pour les écosystèmes marins polaires, la diminution du couvert de glace entraîne des transformations profondes de la production primaire (diminution des algues de glace, augmentation du phytoplancton et du microphytobenthos) et des propriétés physico-chimiques des océans (diminution de la salinité et du pH, augmentation de la température). Par conséquent, ces changements vont avoir des répercussions sur le fonctionnement des écosystèmes et sur le cycle du carbone. La réponse des organismes benthiques à ces changements est cependant inconnue.

Traditionnellement, les études sur l'Océan Arctique ont été conduites par les pays riverains : Canada, USA, Norvège, Danemark, Russie. Cependant, les effets du réchauffement climatique se faisant d'ores et déjà ressentir en Arctique, d'autres pays ont commencé à orienter leurs recherches scientifiques sur cette région. La France, qui est impliquée dans divers projets en Arctique, a commencé à étendre ses recherches polaires vers l'Arctique, en finançant de nouveaux projets de recherche dans ces régions, et en créant une Unité Mixte Internationale Arctique du CNRS à Québec.

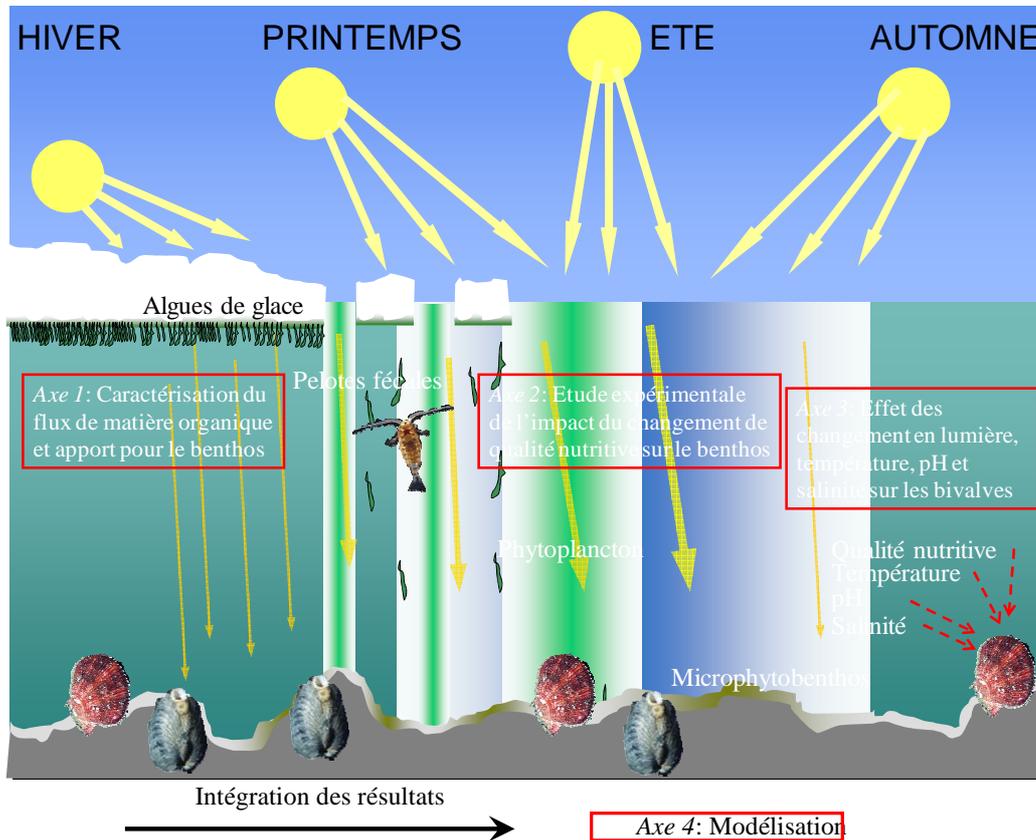
Bien que les recherches récentes sur l'écosystème Arctique aient permis d'améliorer les connaissances sur le compartiment pélagique, ou benthique, le lien entre les deux: le "couplage pelagos-benthos" a souvent été sous estimé. De plus, très peu d'études ont utilisé une approche expérimentale afin d'élaborer des scénarios futurs, et d'en étudier leurs conséquences sur le benthos. Ces expériences sont cependant nécessaires afin de comprendre et de modéliser les changements futurs de l'écosystème soumis à la pression des changements climatiques.

L'objectif de ce projet est d'étudier comment le benthos Arctique sera affecté par des changements biotiques (sources de nourriture) et abiotiques dus au changement climatique. Cette étude va combiner de nouvelles données acquises *in situ* avec les données déjà existantes. De plus, une approche expérimentale sera utilisée pour tester divers scénarios: *i*) changement de la qualité nutritive(ex: nourriture de bonne/pauvre qualité) et *ii*) changement des paramètres abiotiques (pH, salinité, température). Ces résultats permettront de mieux comprendre l'état actuel de l'écosystème côtier Arctique, et de prédire la réponse benthique aux divers scénarios de changements de l'écosystème soumis à une réduction de la couverture de glace sous l'effet du réchauffement climatique. Ce projet se développera en 4 axes :

- Décrire de manière détaillée la variabilité saisonnière du couplage pelagos-benthos, en combinant les perspectives pélagiques et benthiques.
- Etudier expérimentalement l'impact du changement de la qualité de la nourriture sur le benthos.
- Etudier expérimentalement l'impact du changement induit par l'augmentation de la température, et par la diminution du pH et de la salinité sur les bivalves.
- Développer et calibrer des modèles de flux de carbone et d'énergie dans l'écosystème et dans les espèces de bivalves sélectionnées.

Afin de l'optimiser, ce projet sera localisé à la station de recherche franco-allemande de Ny-Ålesund, Svalbard, ce qui permettra l'accès à des installations adéquates et à des données de base, utiles à son bon déroulement.

Au-delà de ses objectifs scientifiques, ce projet a pour but d'instaurer des relations durables entre la France, la Norvège, l'Allemagne et le Canada, afin de mettre en commun et de partager les compétences et les connaissances complémentaires de leurs experts pour une meilleure compréhension de la globalité de l'écosystème Arctique. En particulier, ce projet se réalisera en collaboration avec: *i*) Apolobis, projet français visant à établir un observatoire Arctique basé sur les bivalves, *ii*) Icicles, projet Norvégien visant à comprendre l'impact des changements de nourriture sur les organismes zooplanctoniques, et *iii*) Takuvik, l'Unité de Recherche Internationale Arctique du CNRS à Québec.



## Etude expérimentale de l'impact des apports terrigènes sur le plancton arctique, Spitsberg, campagne été 2012

■ (5 minutes)

F. Narcy<sup>1</sup>, A. Wold<sup>2</sup>, S. Falk-Petersen<sup>2</sup>

<sup>1</sup> IUEM Institut Universitaire Européen de la Mer, Technopôle Brest Iroise, rue Dumont d'Urville, 29280 Plouzané (fa.narcy@gmail.com)

<sup>2</sup> NPI Norwegian Polar Institute, Fram Centre, NO-9296 Tromsø, Norvège

### Résumé

Les écosystèmes marins côtiers montrent une très forte variabilité saisonnière en Arctique. Après un intense bloom algal printanier au retour de la lumière, la saison estivale est caractérisée par de forts apports terrigènes provenant de la fonte du pergélisol, de la neige et des glaciers. Ainsi, en été, les rivières alimentées par cette fonte apportent une grande quantité d'eau douce et de matériel terrigène dans les fjords du Spitsberg, tel que le Kongsfjorden sur la façade ouest de l'île (fig. 1).

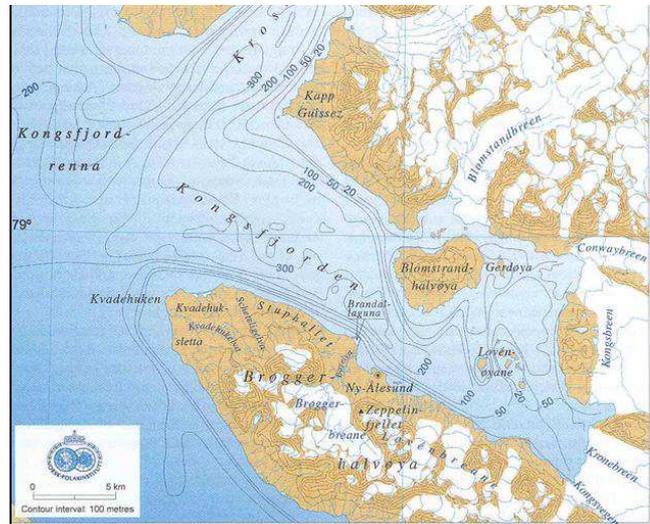


Figure 1 : Le Kongsfjorden (79°N) est un fjord sans seuil, entouré par des glaciers ayant des fronts marins ou terrestres. En été, la décharge des rivières provenant de ces glaciers crée des plumes nettement visibles en surface car très turbides.

Pendant 3 semaines en août 2012, nous allons étudier expérimentalement l'impact des apports terrigènes sur le fonctionnement de l'écosystème planctonique dans le Kongsfjorden. Notre hypothèse est que l'augmentation de la turbidité, diminuant la disponibilité de la lumière pour le phytoplancton, ainsi que l'apport de carbone organique dissout favorisent la production bactérienne et donc la boucle microbienne au détriment du phytoplancton type diatomées. Des mésocosmes seront déployés à proximité de Ny-Ålesund, dans lesquels un gradient d'eau de surface sera établi. En plus des stocks des différents compartiments planctoniques, la balance entre les processus autotrophes et hétérotrophes ainsi que l'efficacité du transfert de matière vers le zooplancton seront étudiés.

Cette approche expérimentale vise à mieux comprendre les facteurs forçant la dynamique saisonnière et spatiale du plancton dans le fjord.

## Etude de la microflore procaryotique et virale des sources chaudes terrestres et marines des Terres australes et antarctiques françaises

■ (15 minutes)

K. J. Parikka<sup>1</sup>, J. Farasin<sup>2</sup>, M. Ciobanu<sup>3</sup>, M. Le Romancer<sup>4</sup>

<sup>1234</sup> Laboratoire de Microbiologie des Environnements Extrêmes, UMR6197, Institut Universitaire Européen de la Mer, Université de Bretagne Occidentale, Plouzané 29280, France.

<sup>1</sup> ([kaarle.parikka@univ-brest.fr](mailto:kaarle.parikka@univ-brest.fr))

<sup>2</sup> ([julien.farasin@sfr.fr](mailto:julien.farasin@sfr.fr))

<sup>3</sup> ([maria-cristina.ciobanu@univ-brest.fr](mailto:maria-cristina.ciobanu@univ-brest.fr))

<sup>4</sup> ([Marc.Leromancer@univ-brest.fr](mailto:Marc.Leromancer@univ-brest.fr))

### Résumé

Les Terres Australes et Antarctiques Françaises (TAAF) abritent des sources hydrothermales terrestres et côtières. Ces sources varient dans leur température (allant de 50°C à 100°C) et le pH (allant de 3 à 10) et sont colonisées par des communautés d'archées et de bactéries thermophiles et hyperthermophiles, ainsi que par des « Virus-like particles » (VLP) qui sont associées à ces communautés. L'étude de l'abondance de ces communautés révèle une densité microbienne faible, correspondant à l'ordre de grandeur décrit pour d'autres sources chaudes dans le monde.

La mise en culture des micro-organismes en aérobiose et en anaérobiose a permis d'effectuer un criblage afin de détecter la présence d'éléments génétiques mobiles : les « Virus-like Particules ». Les observations de ces VLP, faites par microscopie électronique à transmission (MET), révèlent des morphologies souvent rencontrées chez les virus de procaryotes, ainsi que d'autres encore jamais décrites.

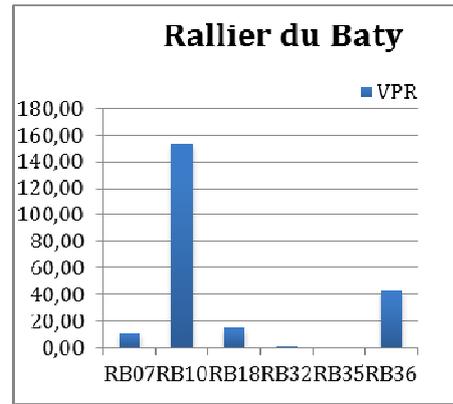
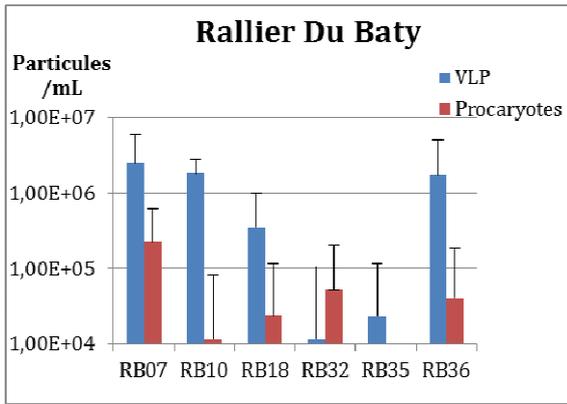
### Introduction

Peu d'études sur l'abondance microbienne dans les sources chaudes ont été menées à ce jour. Ces études, faites essentiellement dans l'hémisphère nord, suggèrent une abondance faible des micro-organismes dans les sources chaudes, avec des valeurs variant entre 10<sup>4</sup> et 10<sup>6</sup> cellules/ml (Juniper *et al.* 1998; Breitbart *et al.* 2004; Manini *et al.* 2007). Malgré cette faible densité de population microbienne, une variété d'archées et de bactéries thermophiles et hyperthermophiles colonise les sources chaudes terrestres et marines. Les études menées sur leurs éléments génétiques mobiles ont permis de découvrir des virus à morphologies encore jamais rencontrées chez les procaryotes mésophiles.

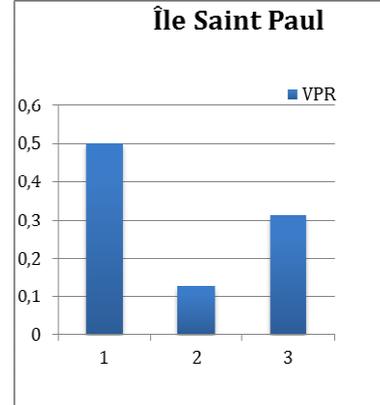
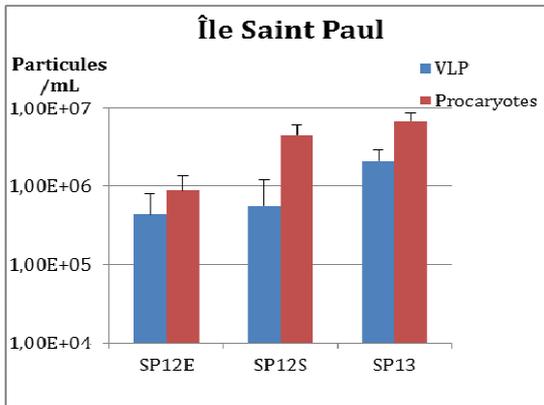
Kerguelen et St Paul abritent des sources hydrothermales terrestres et côtières. Situées dans l'hémisphère sud, ces îles sont particulièrement intéressantes pour compléter l'étude des communautés microbiennes et virale peuplant les sources chaudes. Les données obtenues permettent d'élargir notre connaissance sur les organismes thermophiles, et d'établir des comparaisons par rapport aux données issues de l'hémisphère nord.

### Observations et résultats

L'abondance des micro-organismes varie dans les sources hydrothermales terrestres de la péninsule du Rallier du Baty à Kerguelen de 0,12 x 10<sup>5</sup> à 2,2 x 10<sup>5</sup> cellules/mL pour les procaryotes et de 0,12 x 10<sup>5</sup> à 2,5 x 10<sup>6</sup> particules/mL pour les VLP. Le rapport VLP/procaryotes (VPR) varie ainsi entre 0,22 et 153,85.



L'abondance des micro-organismes dans les sources hydrothermales marines (côtières) de St Paul varie entre  $0,88 \times 10^6$  et  $6,7 \times 10^6$  cellules/mL pour les procaryotes et entre  $0,44 \times 10^6$  et  $2,1 \times 10^6$  particules/mL pour les VLP. Le rapport VLP/procaryotes (VPR) varie entre 0,13 et 0,5.



Le criblage des isolats bactériens pour la présence d'éléments génétiques mobiles a permis l'identification de deux virus thermophiles du type Myoviridae (voir Figures 1-2), l'un infectant un souche appartenant vraisemblablement à l'espèce *Geobacillus thermoleovorans* et provenant d'une source chaude terrestre de la péninsule Rallier du Baty (Kerguelen), et l'autre utilisant comme hôte une nouvelle espèce bactérienne thermophile, *Cladivava thermospodii* sp. nov., isolée d'une source chaude de St Paul. Une VLP particulière, présentant une morphologie nouvelle, a également été observée sans avoir toutefois été isolée (Figure 3).

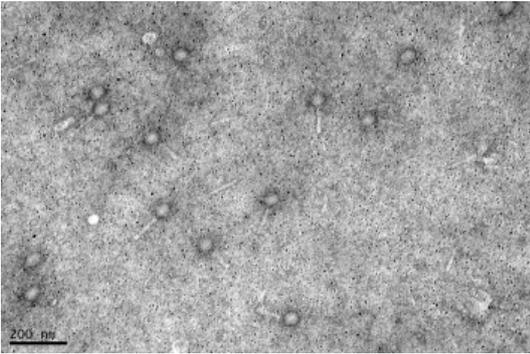


Figure 1 : Myovirus de la souche  
*Geobacillus thermoleovorans*  
(Rallier du Baty, Kerguelen)

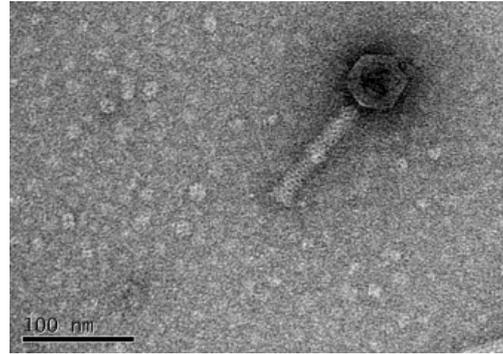


Figure2 : Myovirus de  
*Caldiclava thermospodii*  
(St Paul)

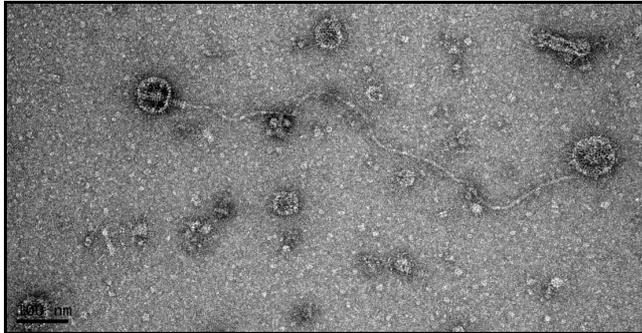


Figure 3 : VLP de morphologie nouvelle isolée  
à partir d'une souche anaérobie de *Thermosipho africanus* (St Paul)

## Conclusion

Les études suggèrent une faible densité de micro-organismes dans les sources hydrothermales des TAAF, variant entre  $0,012 \times 10^6$  et  $6,7 \times 10^6$  cellules/ml pour les procaryotes et de  $0,012 \times 10^6$  à  $2,5 \times 10^6$  VLP/ml pour les particules virales. Cette abondance est de même ordre que l'abondance décrite des micro-organismes des sources hydrothermales de l'hémisphère nord. Le rapport VLP/procaryote varie entre 0,13 et 153,85. Le rapport maximal VLP/procaryote est plus élevé que ce que l'on retrouve dans les sources chaudes en général, ce qui suggère une dynamique importante de populations microbiennes dans ces écosystèmes chauds.

L'identification de virus thermophiles de la famille des Myoviridae suggère l'omniprésence, indépendamment du type d'environnement, de ce type de virus et permet en outre la comparaison de Myovirus d'origines différentes. Le nouveau type morphologique de VLP observé dans les cultures de *Thermosipho africanus* indique l'existence de formes virales encore inconnues chez les procaryotes.

## Références

- Juniper, S.K., D.F. Bird, M. Summit, M.P. Vong and E.T. Baker 1998. Bacterial and viral abundances in hydrothermal event plumes over northern Gorda Ridge. *Deep Sea Research Part II, Topical Studies in Oceanography* 45(12), 2739-2749.
- Breitbart, M., L. Wegley, S. Leeds, T. Schoenfeld and F. Rohwer 2004. Phage community dynamics in hot springs *Appl Environ Microbiol.*, 70(3), 1633-1640.
- Manini, E., G.M. Luna, C. Corinaldesi, D. Zeppilli, G. Bortoluzzi, G. Caramanna, F. Raffa and R. Danovaro 2007. Prokaryote diversity and virus abundance in shallow hydrothermal vents of the Mediterranean Sea (Panarea Island) and the Pacific Ocean (North Sulawesi-Indonesia). *Microbial Ecology*, 55(4), 626-639.

## Le Carbone 13, un témoin de la pénétration du carbone anthropique dans l'Océan Indien Sud [30°S-60°S]

■ (15 minutes)

V. Racapé<sup>1</sup>, N. Metzl, C. Pierre, C. Lo Monaco, C. Brunet.

<sup>1</sup>LOCEAN/IPSL, Université Pierre et Marie Curie, MNHN, Paris, 75005, France ([virginie.racape@locean-ipsl.upmc.fr](mailto:virginie.racape@locean-ipsl.upmc.fr); [nicolas.metzl@locean-ipsl.upmc.fr](mailto:nicolas.metzl@locean-ipsl.upmc.fr); [catherine.pierre@locean-ipsl.upmc.fr](mailto:catherine.pierre@locean-ipsl.upmc.fr); [christian.brunet@locean-ipsl.upmc.fr](mailto:christian.brunet@locean-ipsl.upmc.fr))

### Résumé

Le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) d'origine anthropique est appauvri en <sup>13</sup>C. En réponse à l'augmentation des émissions de CO<sub>2</sub>, le ratio <sup>13</sup>C/<sup>12</sup>C de l'atmosphère diminue (-0.02 ‰/an). L'océan absorbe une partie des émissions de CO<sub>2</sub> ce qui a pour effet de diminuer le ratio <sup>13</sup>C/<sup>12</sup>C du carbone inorganique dissous ( $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ ). Ce signal, connu sous le terme d' «effet Suess Océanique», témoigne de l'accumulation du carbone anthropique (C<sub>ant</sub>) dans l'Océan. Notre étude, basée sur les observations OISO conduites depuis 1998 dans l'Océan Indien Sud, a pour but d'évaluer ce signal. Une première analyse, sur la période 1998-2005, a permis d'identifier une diminution de -0.017 ‰/an du  $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$  dans les eaux de surface (Racapé et al., 2010, Tellus). Cette étude est poursuivie non seulement dans les eaux de surface, mais aussi sur la colonne d'eau et notamment les eaux de modes, acteurs majeurs de la séquestration du C<sub>ant</sub>.

### Références

Racapé V., Lo Monaco C., Metzl, N. and Pierre, C. (2010). Summer and winter distribution of  $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$  in surface waters of the South Indian Ocean [20°S-60°S]. Tellus B, doi:10.1111/j.1600-0889.2010.00504.x.

## Le passage de la vie terrestre à la vie marine : un défi énergétique pour le Manchot Royal juvénile (*Aptenodytes patagonicus*).

■ (15 minutes)

D. Roussel<sup>1</sup>, L. Teulier<sup>1</sup>, C. Degletagne<sup>1</sup>, B. Rey<sup>2,3</sup>, M. Raccurt<sup>1</sup>, C. Romestaing<sup>1</sup>, C. Duchamp<sup>1</sup>, J.L. Rouanet<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Université de Lyon, UMR5023 Ecologie des Hydrosystèmes Naturels et Anthropisés, CNRS, Villeurbanne, 69622, France (damien.roussel@univ-lyon1.fr)

<sup>2</sup> Université de Lyon, UMR5558 Biométrie et Biologie Evolutive, CNRS, Villeurbanne, 69622, France

<sup>3</sup> University of Witwatersrand, Wildlife and Environmental Physiology, Brain function Research group unit, School of Physiology, Johannesburg, South Africa.

### Introduction

Le passage de la vie terrestre à la vie marine représente pour le Manchot Royal juvénile une étape très contraignante de sa vie puisqu'elle associe une déperdition calorifique augmentée de 20 fois par le passage en mer, la dépense énergétique de la nage, avec la contrainte de l'hypoxie due aux plongées. Comment cet oiseau gère-t-il ce challenge énergétique dans un environnement subantarctique ? Comparant un groupe de manchots juvéniles qui ne sont jamais passés en mer (NI) à un groupe de manchots acclimatés au milieu marin (SA) et dans une approche intégrative, de l'analyse transcriptomique aux études calorimétriques sur l'animal entier, en passant par les activités enzymatiques et la bioénergétique mitochondriale, nous avons montré sur quels ajustements métaboliques repose la réussite de cette étape clé. Les études ont été réalisées sur le muscle pectoral, principal effecteur de l'exercice d'endurance et de la thermogénèse chez cet animal.

### Résultats

L'analyse transcriptomique montre une activation importante des gènes codant pour les protéines impliquées dans le transport et le catabolisme lipidique chez les juvéniles SA alors que les gènes impliqués dans le métabolisme des carbohydrates sont dans l'ensemble inactivés.

D'une manière cohérente, l'analyse enzymatique révèle une augmentation de la 3-hydroxyacyl-CoA deshydrogénase, une enzyme de la voie  $\beta$  oxydative musculaire ; les enzymes impliquées dans la voie glycolytique restant stables. L'intensité respiratoire mesurée à partir de mitochondries musculaires isolées est plus importante en présence de palmitoyl-L-carnitine, substrat dérivé du métabolisme lipidique, qu'en présence de pyruvate, substrat du métabolisme des carbohydrates, chez les juvéniles SA par rapport aux juvéniles témoins (NI). Ces résultats moléculaires et biochimiques nous ont encouragés à rechercher une augmentation de la capacité à oxyder les substrats lipidiques *in vivo* chez les juvéniles SA. Après perfusion d'une émulsion de lipides, le taux métabolique est mesuré en continu par calorimétrie indirecte sur les deux groupes de manchots juvéniles. Un effet thermogénique augmenté de 4 fois est constaté chez les juvéniles SA par rapport aux juvéniles contrôles (NI).

### Discussion et conclusion

Ces résultats démontrent que le passage en mer induit un shift métabolique chez le manchot Royal juvénile. L'augmentation de sa capacité d'oxydation des lipides apparait comme une caractéristique de l'acclimatation au milieu marin. Acclimatation qui pourrait impliquer l'hormone thyroïdienne et ses interactions avec son récepteur bêta et ses co-activateurs nucléaires. Outre une meilleure connaissance du Manchot Royal et de ses capacités d'acclimatation dans un environnement subpolaire, cette étude ouvre des perspectives en écologie comportementale pour comprendre les stratégies alimentaires ou de migration de nombreuses espèces.

*Proceedings of the Royal Society B. Published on line February 2012*

### Remerciements

Ces recherches ont reçu le soutien logistique et financier de l'institut Paul Emile Victor (IPEV programme 131, Orthitho-thermo)

### Références

- 1 – Barré, H., Roussel, B., (1986) Thermal and metabolic adaptation to first cold-water immersion in juvenile penguins. *Am J. Physiol.* 251, R456-R462.
- 2 – Degletagne, C., Keime, C., Rey, B., de Dinechin, M., Forcheron, F., Chuchana, P., Jouventin, P., Gautier, C., Duchamp C. (2010) Transcriptome analysis in non-model species : a new method for analysis of heterologous hybridization on microarrays.



BMC Genomics 11, 334.

- 3 – Rey, B., Halsey, L., Dolmazon, V., Rouanet J.L., Roussel, D., Handrich, Y., Butler, P., Duchamp, C. (2008) Long-Term fasting decreases mitochondrial avian UCP-mediated oxygen consumption in hypométabolic King Penguins. *Am J Physiol.*, 295, R92-R100.

## L'expérience vécue de l'hivernage polaire

■ (15 minutes)

A. Solognac<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ICEBERG (Isolated & Confined Environments Behavior & Emotions Research Group), 76 avenue Jean Jaurès 75019 Paris, France ([asolognac@gmail.com](mailto:asolognac@gmail.com))

### Résumé

Entre 2007 et 2010, une enquête rétrospective par questionnaire fut menée auprès de 150 membres de l'AMAPOF et des AAEPF, ayant tous hiverné au moins une fois au cours des 60 dernières années, dans une station scientifique antarctique ou sub-antarctique. Les données obtenues ont été principalement exploitées pour étudier le retour chez soi après un hivernage et donc une absence de longue durée (Solognac, 2010).

Les réponses au questionnaire ont été complétées par l'analyse de 150 entretiens de fin de mission menés sur le terrain par des chercheurs psychologues entre 1994 et 2006. Ces deux ensembles de données ont été soumis à une analyse thématique de contenu, pour relever les principaux traits de l'expérience *vécue* de l'hivernage dans une station scientifique isolée comme les stations polaires.

### Résultats

Cinq aspects clairement identifiables dans les réponses seront présentés lors de la communication :

- l'EXTERIORITE de l'hivernage en tant que situation de vie quotidienne ;
- la DIFFICULTE à gérer des problématiques extérieures à l'hivernage ;
- la TYPIFICATION des représentations mutuelles des hivernants et de leurs proches (Schütz, 1945) ;
- l'expérience inhabituelle de vie au sein d'une petite COMMUNAUTE autonome ;
- et ce que Romain Rolland a nommé dans un autre contexte le SENTIMENT OCEANIQUE (Vermorel, 1993).

### Remerciements

Cette recherche n'aurait pu être menée sans l'aimable concours des associations AMAPOF et AAEPF, et sans la participation et les commentaires des nombreux hivernants qui ont accepté de répondre au questionnaire proposé.

### Références

Schütz A. (1945) The Homecomer. *The American Journal of Sociology*, 50 (5) p. 369-376.

Solognac A. (2010) Enjeux psychologiques du retour de missions isolées : le cas des hivernants polaires français. Thèse de doctorat en psychologie. Université de Reims-Champagne Ardenne.

Vermorel H. & Vermorel M. (1993) Sigmund Freud et Romain Rolland, correspondance 1923-1936. Presses Universitaires de France - PUF.

## ROSAME : bientôt 20 ans d'observation in situ du niveau de la mer dans l'océan austral.

■ (15 minutes)

L. Testut<sup>1</sup>, M. Calzas<sup>2</sup>, A. Guillot<sup>2</sup>, C. Guillerm<sup>2</sup>, P. Téchiné<sup>1</sup>, C. Drezen<sup>2</sup>, L. Fichen<sup>2</sup>

<sup>1</sup> LEGOS, 14 av. E. Belin, 31401 Toulouse cedex 9, France. ([laurent.testut@legos.obs-mip.fr](mailto:laurent.testut@legos.obs-mip.fr))

<sup>2</sup> DT/INSU, Bât IPEV, Plouzané, 29280, France

### Résumé

Cette présentation fera le bilan de bientôt 20 années de mesures in situ du niveau de la mer par le Service d'Observation ROSAME. Nous présenterons les principales évolutions techniques du réseau ainsi que les résultats scientifiques importants.

### Introduction

A la fin des années 1980 s'est mis en place, à l'instigation de la COI<sup>2</sup> de l'UNESCO et dans le cadre du programme international WOCE<sup>3</sup>, un réseau coordonné et mondial d'observation *in situ* des variations du niveau de la mer : le réseau GLOSS<sup>4</sup>. C'est dans ce contexte international que le réseau **ROSAME**<sup>5</sup> a été imaginé et implanté par Christian Le Provost au début des années 1990, comme sous ensemble du réseau mondial GLOSS, et dans la perspective des programmes altimétriques satellitaires franco-américain Topex/Poseidon, et européen ERS1/2. Ce réseau répond maintenant aussi aux objectifs scientifiques de CLIVAR<sup>6</sup> et de GOOS<sup>7</sup>. ROSAME est labellisé comme service d'observation (SO) par le Conseil Scientifique de l'INSU (Océan Atmosphère) depuis 1998, et par le conseil scientifique de l'IPEV. Il a été labellisé Observatoire de Recherche en Environnement (ORE) par le Comité de Coordination des Sciences de la Planète et de l'Environnement lors de la campagne de labellisation 2002. Le réseau ROSAME est constitué de quatre sites de mesure du niveau de la mer à Kerguelen, Saint-Paul, Crozet et Dumont d'Urville (*cf.* Figure 2). Chacun des sites est au moins équipé d'un marégraphe à capteur de pression répondant aux recommandations de la COI, dans le cadre de GLOSS : précision instrumentale centimétrique, transmission temps réel des données, mesures horaires (<http://www.pol.ac.uk/psmsl/manuals/>).

### Observations et résultats

#### Objectifs scientifiques

Le programme scientifique du SO ROSAME s'articule autour de trois thèmes principaux :

- 1) l'observation des variations séculaires du niveau de la mer,
- 2) l'étude de la dynamique de l'océan austral dans le secteur Indien et périanarctique,
- 3) une contribution à la validation et à l'exploitation des mesures altimétriques satellitaires.

Le thème 1) est un objectif à très long terme puisqu'il s'agit de suivre l'évolution séculaire du niveau de la mer en réponse au changement climatique (IPCC, 2007). Cependant c'est la qualité des observations présentes qui conditionnera la fiabilité des estimations futures. C'est pourquoi un effort constant est apporté à la qualité technique du réseau, à la veille technologique et au suivi géodésique. Le thème 2) est très large et regroupe l'étude de l'ensemble des processus dynamiques (quelque soit l'échelle de temps et d'espace) affectant le niveau de la mer. Le thème 3) a vocation à étudier les phénomènes visibles dans les données altimétriques (tendance, ondes internes, ...) et a effectué la comparaison entre la donnée altimétrique et la donnée marégraphe en terme relatif et absolue (détermination des biais des missions altimétriques).

<sup>2</sup> Commission Intergouvernementale d'Océanographie (<http://ioc-unesco.org/>)

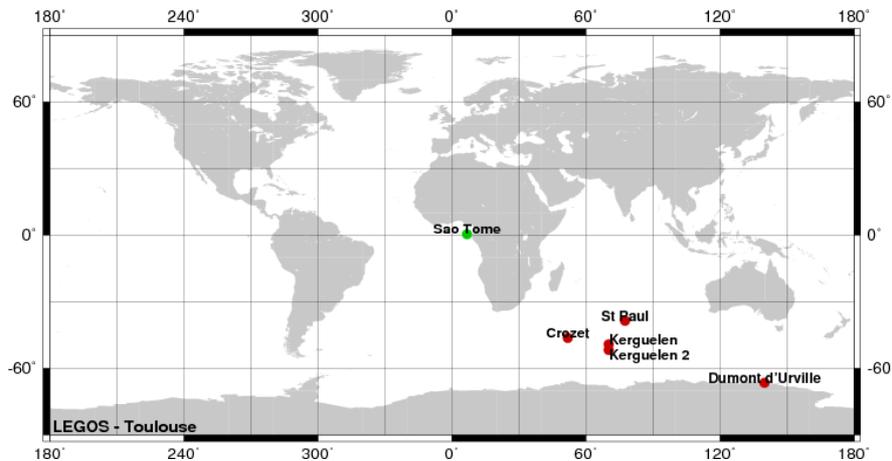
<sup>3</sup> World Ocean Circulation Experiment

<sup>4</sup> Global Sea Level Observing System (<http://www.gloss-sealevel.org/>)

<sup>5</sup> Réseau d'Observation Subantarctique et Antarctique du niveau de la MER

<sup>6</sup> Climate Variability and Predictability (<http://www.clivar.org/>)

<sup>7</sup> Global Ocean Observing System (<http://www.ioc-goos.org/>)



**Figure 2 : emplacements des stations marégraphiques ROSAME (rouge)**

### Présentation du réseau

Le site de **Kerguelen** est le plus ancien du réseau et a la série temporelle la plus longue (depuis avril 1993, cf. Figure 3 : ). Une seconde station marégraphique (**Kerguelen 2**) a été mise en place en mars 2006 dans le cadre du système d'alerte aux tsunamis dans l'océan indien (<http://www.ioc-tsunami.org/content/view/31/36/>). Cette station fait des acquisitions à 1 minute. Les deux marégraphes sont installés le long du quai de Port-aux-Français, la base scientifique française de Kerguelen. Depuis 2003, nous avons mis en place des lectures mensuelles à l'échelle de marée qui permettent le contrôle des dérives instrumentales des capteurs de pression de fond et du radar. Depuis 2008, les VATs effectuent des sessions de bouée GPS au dessus des marégraphes permettant ainsi de contrôler les dérives mais aussi de rattacher les observations à une référence mondiale géocentrique. Au cours des dernières années nous avons mené des campagnes de mesure pour retrouver des indications du niveau moyen de la mer datant de 1902 (Baie de l'Observatoire) et 1874 (Anse Betsy). En décembre 2006, nous avons décidé de reprendre les opérations de mouillage, abandonnées depuis plus de 10 ans à Kerguelen. Ces mouillages, situés sous une trace de l'altimètre JASON serviront à la validation des modèles ainsi qu'à la calibration altimétrique.

Le marégraphe de **St Paul** a été installé en octobre 1994 dans le cratère d'un ancien volcan partiellement immergé qui communique avec l'océan. En novembre 2007, l'installation a été complètement refaite pour accueillir une station de nouvelle génération du même type que celle de Kerguelen 2 et faisant des acquisitions toutes les 20 minutes. En novembre 2008, une session bouée GPS a été faite au-dessus du marégraphe pour son rattachement à une référence absolue. Depuis décembre 2006, des campagnes de nivellement, de GPS et d'étalonnage des références des capteurs sont effectuées sur le site de St Paul. Les opérations de mouillage au large d'Amsterdam ont été suspendues en 2007 suite aux trop fréquentes pertes.

Le marégraphe de **Crozet** est situé sur l'île de la Possession dans l'archipel de Crozet. Il a été installé en décembre 1994. Ce site a connu de nombreux problèmes de tous ordres et est de loin le plus difficile à maintenir. Le capteur de pression a été emporté en mars 2007 par une tempête. La réinstallation complétée du site est à eu lieu en novembre 2009 avec une station entièrement développée par la DT/INSU (station et capteur de pression). Les mouillages maintenus au large de Crozet nous permettent de « boucher » les trous d'observation de la station côtière.

Le marégraphe de **Dumont d'Urville** a été installé en février 1997 près de la base scientifique française de Dumont d'Urville en Antarctique. Le site est envahi par la banquise pendant l'hiver et n'est accessible que quelques mois durant l'été austral. Suite à de nombreux problèmes liés au site d'implantation du marégraphe, cette station a connu de nombreux déboires. En janvier 2008, l'installation a été complètement refaite sur un nouveau site et accueille une station de nouvelle génération du même type que celle de Kerguelen 2 (hors radar). La nouvelle installation permet les acquisitions des données à 2 minutes. Des campagnes de sessions à la bouée GPS depuis 2008 et des mesures de nivellement nous ont permis de rattacher cette station dans un repère absolu.

Le marégraphe de **Cap Denison**. Suite à l'installation en 2008 d'un capteur de pression à Cap Denison (Commonwealth Bay) dans le but d'évaluer le niveau de la mer actuel et d'effectuer le rattachement avec les données historiques datant de 1912 nous avons décidé de faire de ce site une station (semi)permanente. Le site s'avère propice à l'installation d'une station d'un point de vue technique en raison de la présence d'une équipe Australienne quelques mois par an, de la

possibilité de support logistique de l'IPEV et de la présence d'une station météo (AWS). D'un point de vue scientifique, cette station serait un apport non négligeable à l'étude de la circulation océanique et de l'interaction océan-glace dans la région du glacier Mertz. Une station est en cours d'installation.

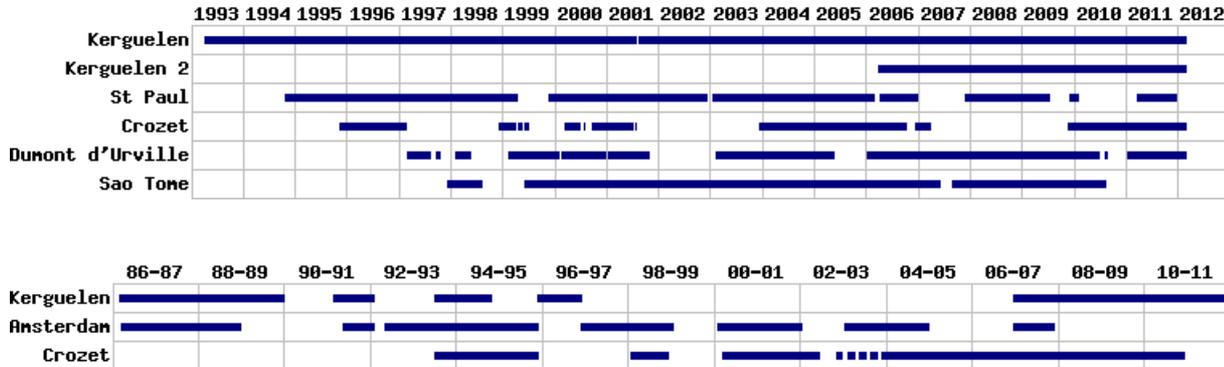


Figure 3 : périodes d'acquisition des observations du niveau de la mer pour les stations marégraphiques côtières ROSAME (et PIRATA) en haut et pour les mouillages en bas

### Développements instrumentaux

Un signal d'évolution du niveau de la mer de l'ordre du mm/an impose aux capteurs une stabilité instrumentale bien inférieure au mm/an. A priori seuls certains marégraphes radars sont capables d'atteindre ce niveau de stabilité (même si nous n'avons pas encore assez de recul sur ces technologies). La rénovation complète du réseau ces dernières années ainsi que les premiers résultats des campagnes de nivellement et d'étalonnage sur les capteurs de pression (Aanderaa) ont révélés de fortes dérives instrumentales et nous ont conduits à faire des développements instrumentaux conséquents. Ces derniers ont été menés par la Division Technique de l'INSU à Brest et ont montré que seul un contrôle complet de la chaîne d'acquisition de la mesure nous permet d'obtenir une stabilité instrumentale inférieure au mm/an (Calzas et al. 2011, Drezen et al., 2011). C'est donc dans cette optique qu'a été développé un instrument (capteur de pression) dont la dérive peut être contrôlée et estimée (cf. Figure 4 à droite). Cet instrument permet de plus d'accueillir des capteurs complémentaires (oxygène, fluo). Il fonctionne soit en autonome (mouillage), soit en version marégraphe côtier piloté par une nouvelle station développée à la DT. Ce système (station+capteur de pression+radar) est déjà installé à Crozet (2009) et Dumont d'Urville (2012, cf. Drezen et al. 2011). Enfin, pour améliorer la fiabilité des bouées GPS, une étude a été menée dans le cadre d'un stage d'ingénieur et a débouché sur la création d'une bouée GPS (cf. Figure 4, à gauche).



Figure 4 : schéma de la bouée GPS (à gauche) et photo du capteur de pression développé par la DT/INSU

### Chaîne de traitement

Les messages Argos reçus au LEGOS déclenchent automatiquement une chaîne de traitement capable de décoder la télémessure contenue dans le message Argos, elle en extrait les données brutes, puis les valeurs physiques sont calculées

Les contrôles automatiques interviennent à chaque étape du traitement (Téchiné et al. 2011). La visualisation du suivi temps réel des mesures est accessible sur le site web du LEGOS (<http://www.legos.obs-mip.fr/soa/rosame/>). Après traitement, les données temps réel des marégraphes côtiers sont automatiquement et quotidiennement mises à jour sur le site FTP anonyme du LEGOS. Au niveau national, les données du niveau de la mer sont récupérées par le SISMER ([http://www.ifremer.fr/sismer/index\\_FR.htm](http://www.ifremer.fr/sismer/index_FR.htm)) et par le SONEL (<http://www.sonel.org/>). Les données ROSAME sont également accessibles par l'intermédiaire du site web des Produits des Services d'Observation et d'Archive du LEGOS (<http://www.legos.obs-mip.fr/soa/>). Au niveau international, les données du niveau de la mer sont récupérées quotidiennement par l'ODINAfrica (<http://www.odinafrica.net/>) dans le cadre de la COI de l'UNESCO (<http://ioc-unesco.org/>). Elles sont envoyées tous les mois pour archivage et libre accès à l'UHSLC (<http://uhslc.soest.hawaii.edu/>), dans le cadre du programme international GLOSS (<http://www.gloss-sealevel.org/>). De même, elles sont librement accessibles au BODC (<http://www.bodc.ac.uk/>).

### Principaux résultats scientifiques

Une avancée importante sur les objectifs scientifiques du SO pour la période récente a été la mise en place d'un modèle barotrope aux éléments finis à haute résolution (TUGO/MOG2D) dans le secteur indien de l'océan austral (thèse de C. Maraldi, 2005-2008) ainsi que sur la région de Dumont d'Urville et du glacier Mertz (Mayet, 2009). Ces modèles sont actuellement les meilleurs modèles de marée pour ces régions (Maraldi et al., 2007, Mayet et al. 2012). Ils fournissent des informations importantes sur les amplitudes, le flux d'énergie de la marée et sa dissipation ainsi que sur l'extension du bloom phytoplanctonique du plateau de Kerguelen (Maraldi et al., 2009). Le modèle sur Kerguelen a permis d'améliorer les données altimétriques notamment en zone côtière (Maraldi et al., 2008, Testut et al., 2012) et d'initier l'étude de l'interaction océan-glace (Galton-Fenzi et al., 2008, Mayet et al., 2012).

Une avancée notable a aussi été faite sur la thématique du suivi à long terme du niveau de la mer avec la découverte et le rattachement de deux nouveaux repères historiques de niveau de la mer à Saint-Paul et Kerguelen (Anse Betsy) datant de 1874. Les repères historiques de Kerguelen (Baie de l'Observatoire 1902) et de Commonwealth Bay (1912) en Antarctique ont aussi pu être rattachés au niveau moyen actuel lors des dernières campagnes NIVMER. (cf. rapports de missions sur le site web <http://www.legos.obs-mip.fr/observations/rosame/communication/rapports/>). Ces nouvelles informations viennent compléter les travaux précédents sur l'étude de la tendance du niveau de la mer à Kerguelen qui nous avaient permis de déterminer l'évolution du niveau moyen à Kerguelen pour le dernier demi-siècle (Testut et al., 2006) et à Saint-Paul sur les 135 dernières années (Testut et al., 2011 et Figure 5). D'autre part, l'amélioration du contrôle des dérives instrumentales, de la précision des observations (Martin-Miguez et al., 2008 et 2011) et du rattachement de celles-ci dans des références absolues vont dans l'avenir améliorer la précision des estimations de tendance sur la période actuelle.

En ce qui concerne la calibration/validation, les travaux de thèse de C. Maraldi ont permis de mettre en évidence, dans les données altimétriques satellitaires, les ondes internes se formant sur la partie ouest du plateau des Kerguelen et de quantifier à l'aide de la modélisation les flux d'énergie liée à ces ondes (Maraldi et al. 2011).

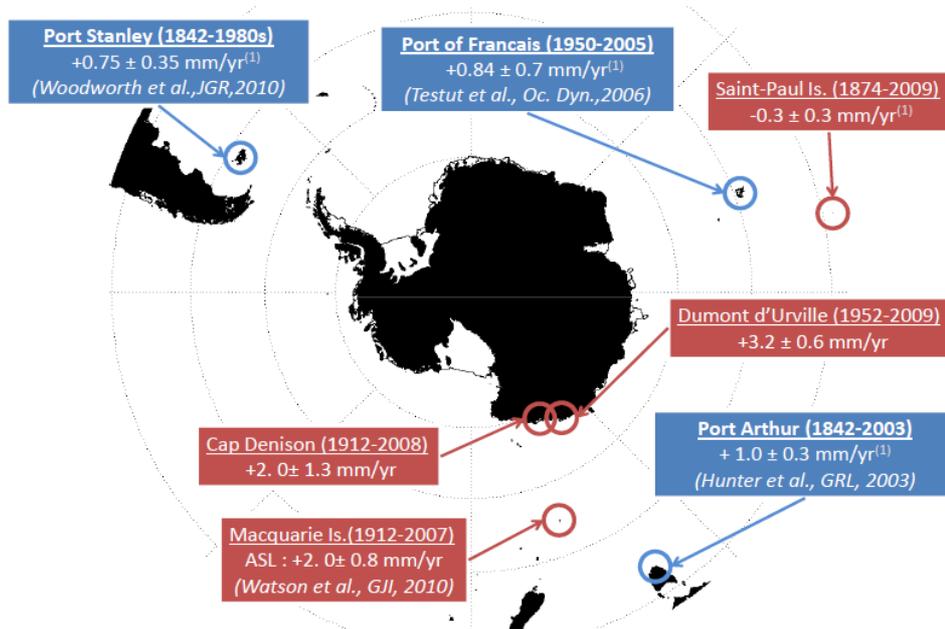


Figure 5 : Carte des estimations de tendance de niveau de la mer dans l'océan austral obtenue à partir de données historiques.

#### Remerciements:

Une partie des travaux présentés ici a été effectuée dans le cadre du programme NIVMER (prog 688 de l'IPEV). Les auteurs tiennent à remercier l'Institut Polaire (IPEV), les TAAF, les équipages de l'Astrolabe et du Marion Dufresne, la Division Antarctique Australienne (AAD), la Mawson Hut Foundation, le Service Hydrographique Français (SHOM) qui ont tous apporté leur soutien lors des différentes opérations NIVMER.

#### Références

- Calzas M., C. Drezen, C. Guillerm, L. Testut et P. Téchiné. Station marégraphique NIVMER. *Fiche d'actualité INSU, 2011, Brest*
- Drezen C., C. Guillerm, M. Calzas, A. Guillot, L. Testut, P. Téchiné, P. Bonnefond, O. Laurain, C. Gaillemain, G. Wöppelmann et L. Chauvaud. 2011. Installations de Mesures du NIVEAU de la MER.
- Drezen C., C. Guillerm, M. Calzas, A. Guillot, L. Testut et P. Téchiné. 2011. Développement d'une station marégraphique dans le cadre du programme NIVMER.
- Maraldi C., B. Galton-Fenzi, F. Lyard, L. Testut, R. Coleman. 2007. Barotropic tides of the Southern Indian Ocean and the Amery Ice Shelf cavity. *Geophys. Res. Lett.*, 34, doi:10.1029/2007GL030900
- Maraldi C. Modélisation de la dynamique barotrope de l'océan Indien Austral. Application à l'altimétrie. Thèse de l'Université de Toulouse III Paul Sabatier. Oct. 2008
- Maraldi C., M. Mongin, R. Coleman and L. Testut. 2009. The influence of lateral mixing on a phytoplankton bloom : Distribution in the Kerguelen Plateau. *Deep-Sea Research* I, doi:10.1016/j.dsr.2008.12.018
- Maraldi, C., F. Lyard, L. Testut, and R. Coleman. 2011. Energetics of internal tides around the Kerguelen Plateau from modeling and altimetry, *J. Geophys. Res.*, 116, C06004, doi:10.1029/2010JC006515.
- Martin-Miguez B., L. Testut, G. Wöppelmann. 2008. The Van de Casteele test revisited: an efficient approach to tide gauge error characterization. *Journ. of Atm. and Ocean Techn.* Vol. 25(7), p1238-1244, DOI:10.1175/2007JTECHO554.1
- Martin Miguez B., L. Testut, and G. Wöppelmann. 2011. Performance of modern tide gauges: towards the mm accuracy *Sci. Mar.*, accepted
- Mayet C., Modélisation haute résolution de la marée en Antarctique de l'Est. *Rapport de stage M2R, Toulouse, Sept 2009* (<http://www.legos.obs-mip.fr/fr/observations/rosame/communication/rapports/>)
- Mayet C., L. Testut, B. Legrésy, L. Lescarmontier and F. Lyard. 2012. High resolution barotropic modeling and the calving of Mertz Glacier, East Antarctica. *Submitted to Journ. of Geoph. Res.*



- Testut, L., G. Wöppelmann, B. Simon, and P. Téchiné (2006), The sea level at Port-aux-Français, Kerguelen Island, from 1949 to the present, *Ocean Dyn.*, 56, 464–472, doi:10.1007/s10236-005-0056-8.
- Testut, L., B. M. Miguez, G. Wöppelmann, P. Tiphaneau, N. Pouvreau, and M. Karpytchev. 2010. Sea level at Saint Paul Island, southern Indian Ocean, from 1874 to the present. *J. Geophys. Res.*, 115, C12028, DOI:10.1029/2010JC006404.
- Testut L., F. Birol and C. Delebecque. 2012. Regional tidal modeling and evaluation of tidal geophysical correction for Jason-2 altimeter data: a case study over the Kerguelen Plateau, Southern Indian Ocean. Submitted to *Marine Geodesy*.
- Téchiné P., B. Buisson, L. Testut et T. Delcroix. 2011. Suivi de réseaux d'observations océanographiques avec le langage de script Perl. *Journées nationales sur le DEVeloppement logiciel dans la Recherche et l'Enseignement Supérieur JDEV 2011*, 29-30 septembre 2011, Toulouse.

## Hormones et comportement chez le manchot Adélie en fonction des conditions environnementales

■ (15 minutes)

Anne-Mathilde Thierry, Sophie Brajon et Thierry Raclot

Institut Pluridisciplinaire Hubert Curien, Département Ecologie, Physiologie et Ethologie, UMR7178 CNRS/UdS, 23 rue Becquerel, 67087 Strasbourg, France ([anne-mathilde.thierry@iphc.cnrs.fr](mailto:anne-mathilde.thierry@iphc.cnrs.fr), [sophie-brajon@hotmail.fr](mailto:sophie-brajon@hotmail.fr) et [thierry.raclot@iphc.cnrs.fr](mailto:thierry.raclot@iphc.cnrs.fr))

### Résumé

Les milieux polaires présentent une saisonnalité importante et des contraintes environnementales marquées. Les espèces qui y vivent, et notamment le manchot Adélie *Pygoscelis adeliae*, sont particulièrement intéressantes à étudier dans la mesure où elles sont très sensibles aux changements de leur environnement. Des études démographiques ont montré l'existence de corrélations entre conditions environnementales et succès reproducteur chez des oiseaux marins polaires. Ces études doivent être complétées par des travaux à l'échelle des individus afin de préciser les capacités d'adaptation des organismes face à des changements de leur environnement, notamment en termes d'investissement reproducteur.

Les hormones permettent aux organismes d'ajuster leur physiologie et leur comportement face aux modifications prévisibles (saisonniers) ou non de l'environnement. Les liens entre hormones et comportement parental sont relativement bien décrits chez les oiseaux, mais les interactions entre hormones, comportement et environnement restent à préciser.

L'objectif de nos travaux est de décrire les relations entre statut endocrinien, conditions environnementales et effort reproducteur chez le manchot Adélie. Notre démarche est à la fois corrélative et expérimentale.

Nous présenterons les résultats obtenus lors des dernières campagnes d'été effectuées à Dumont d'Urville depuis 2006. Des différences en termes de niveaux d'hormones de stress, de masse corporelle initiale et donc de niveau de réserves et de taux d'abandon de la reproduction ont été observées en fonction des années. La modification expérimentale du niveau d'hormones associées à la reproduction a entraîné des réponses comportementales et physiologiques différentielles, indiquant que les oiseaux sont plus ou moins sensibles aux effets des hormones en fonction des conditions environnementales. Nous avons également observé des différences dans la vitesse de croissance des poussins en fonction des conditions environnementales, susceptibles d'affecter leur qualité individuelle et d'avoir des conséquences sur la survie mais également sur leurs reproductions futures.

### Remerciements

Ces recherches ont reçu le soutien logistique et financier de l'Institut Paul Emile Victor (programme 137/ECOPHY, responsable : Yvon Le Maho).

## Océan Austral : export d'acide silicique et impact sur l'océan mondial

■ (30 minutes)

Paul Tréguer<sup>1</sup> et Christina De La Rocha<sup>1</sup>

<sup>1</sup>LEMAR, CNRS, IUEM-UBO, Brest, France

### Résumé

L'océan Austral, riche en matières nutritives, est relativement peu productif. Les nutriments non utilisés exportés vers le reste de l'océan, contribuant à 75% de la production primaire. Un défaut de fer fait que les diatomées antarctiques croissent actuellement avec un rapport Si/N 4 fois plus élevé que la normale. Le flux d'export de  $\text{Si(OH)}_4$  vers le reste de l'océan mondial est peu élevé, favorisant les micro-algues telles que les coccolithophoridés, qui lors de la formation de leurs tests calcaires, rejettent du  $\text{CO}_2$  dans l'atmosphère. Au dernier maximum glaciaire les apports de Fe sont plus importants dans l'Austral et les diatomées antarctiques croissent de façon optimale. Le rapport Si/N se rapproche de 1. L'exportation massive de  $\text{Si(OH)}_4$  vers le reste de l'océan mondial y favorise la croissance des diatomées, au détriment des micro-algues calcaires, ce qui contribue à accentuer le flux puits océanique de  $\text{CO}_2$ . Grâce aux données des enregistrements isotopiques des sédiments recueillis dans les upwellings côtiers et dans les zones équatoriales Pacifique et Atlantique, la relation entre teneur en  $\text{CO}_2$  de l'atmosphère et exportation de  $\text{Si(OH)}_4$  depuis l'Antarctique est aujourd'hui questionnée. D'autres processus pour expliquer la variation du  $\text{CO}_2$  atmosphérique au cours de la dernière période interglaciaire sont identifiés.

## Les procédures de passations de consignes entre hivernants durant la relève à DDU

■ (15 minutes)

A. Villemain<sup>1</sup>, A.-C. Macquet<sup>2</sup>, C. Assens<sup>3</sup>, E. Rosnet<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Université de Reims Champagne-Ardenne, France ([aude.villemain@univ-reims.fr](mailto:aude.villemain@univ-reims.fr))

<sup>2</sup> INSEP, France ([anne-claire.macquet@insep.fr](mailto:anne-claire.macquet@insep.fr))

<sup>3</sup> TAAF, France ([caroline.assens@gmail.com](mailto:caroline.assens@gmail.com))

<sup>2</sup> INSEP, France ([elisabeth.rosnet@insep.fr](mailto:elisabeth.rosnet@insep.fr))

### Résumé

La présente recherche a pour objet d'étudier le processus de relève entre les hivernants sortant d'hivernage et les hivernants arrivant à DDU. L'intérêt de cette étude est d'identifier les procédures utilisées dans la transmission de consignes et la nature des informations. Pour comprendre l'activité des hivernants durant la relève, nous nous sommes appuyés sur le paradigme de l'action située (Greeno, 1989; Lave, 1988; Suchman, 1987). 28 hivernants ont participé à l'étude (14 hivernants sortant (36,9 ans  $\pm$  13,6) et 14 entrant (31,7 ans  $\pm$  8,3)), représentant 14 corps de métier différents. Les données ont été recueillies *in situ* à travers des entretiens de questionnement de l'action. Une analyse par unité thématique a révélé six étapes dans le processus de transmission de consignes. Des propositions d'amélioration du processus de relève sont discutées.

### Introduction

Le processus de relève peut être considéré comme un retour d'expérience, durant lequel les procédures et les normes de travail sont transmises (Pastré, 1999; Schwartz & Durrive, 2003). S'intéresser à la relève c'est comprendre les expériences vécues afin d'éviter les erreurs passées et d'optimiser le travail futur (Drucker, 2002; Nonaka, 2002), tout en bénéficiant d'un enrichissement professionnel agissant sur la coopération, la communication et les aspects relationnels. Pour comprendre l'activité humaine dans toute sa complexité, en respectant l'écologie de l'action, nous nous sommes inspirés du paradigme de l'action située (Greeno, 1989; Lave, 1988; Suchman, 1987), qui met en avant une connexion entre l'action et la situation. Ainsi, l'activité des hivernants durant le processus de relève est compréhensible à partir de situations dans lesquelles ils sont au moment où ils transmettent leurs consignes. Seule l'étude de Boucheix et Coiron (2008) sur la relève entre infirmières a été menée *in situ* et a montré que les transmissions orales permettaient de réguler l'activité. Ainsi, notre préoccupation est d'étudier en situation réelle les processus de transmission de consignes utilisés entre les hivernants, afin de respecter la particularité de l'environnement polaire et ses conséquences en termes d'adaptation du métier aux conditions.

### Observations et résultats

28 hivernants ont été volontaires pour participer à l'étude. 14 hivernants sortant constituaient le premier groupe, composé d'une femme et de 13 hommes sortant (36,9 ans  $\pm$  13,6). Le deuxième groupe était composé de 14 hivernants entrant, comprenant une femme et 13 hommes aussi (31,7 ans  $\pm$  8,3). 14 métiers étaient représentés, (6 techniciens, le cuisinier, le pâtissier, un gérant postal, le technicien télécom, l'informaticien, le médecin, la chef de district, le chef technique). Des entretiens de questionnement de l'action (Clot, 1995; Vemersch, 2009), d'une durée moyenne d'une heure avec chaque hivernant ont été menés. Dans un premier temps, une analyse des tâches à effectuer dans leur métier leur était demandée, ainsi que l'adaptation de ces tâches à l'environnement polaire. Dans un deuxième temps, nous leur avons demandé une instruction au sosie : « si je devais te remplacer demain, quelles instructions me donnerais-tu ? » (Clot, 1995), afin de faire émerger les procédures utilisées de manière inconsciente. Après transcription des entretiens, une analyse par unités thématiques a été menée (Corbin & Strauss, 2008).

#### *Une organisation générale de la relève en 6 étapes*

D'une manière générale et globale, le processus de relève a pu être schématisé en 6 étapes (figure 1), comprenant (1) la visite de la base durant laquelle l'ancien hivernant aide le nouvel arrivant dans le repérage des locaux; (2) l'ancien hivernant montre son organisation personnelle, sa logique de rangement d'outils et de matériels; (3) l'ancien hivernant montre les manuels, les documents écrits et guides constructeurs; (4) le nouvel hivernant pratique sous l'œil superviseur de l'ancien hivernant ou ce dernier fait en commentant son activité; (5) l'ancien hivernant montre comment se servir du logiciel pour passer les commandes; (6) l'ancien et le nouvel hivernant signent le livret de fonctionnement pour la passation officielle.

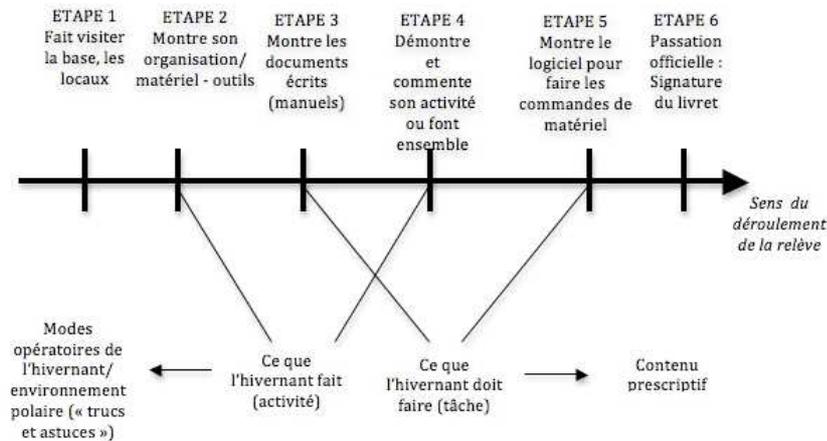


Figure 1. Organisation générale du processus de relève

Pour les 6 techniciens, le médecin, le gérant postal, le technicien télécom, l'informaticien ces 6 étapes apparaissent. Concernant le pâtissier et le cuisinier, ainsi que le chef de district et le chef technique, l'étape 4, la démonstration, n'a pas existé durant cette transmission.

#### **Différentes formes de transmissions pour différents contenus d'information**

Les procédures écrites (bien souvent par les constructeurs des machines) ont été utilisées pour communiquer sur les installations des machines, le fonctionnement et la maintenance des machines et sur le matériel à commander, de manière très prescriptive (figure 1, étapes 3 et 5). Aucune information spécifique à l'environnement polaire n'est transmise durant ce type de transmission. Ce sont des consignes sur la tâche à effectuer. Les consignes orales transmises durant les démonstrations ont porté sur le fonctionnement et l'organisation personnelle de l'hivernant dans la réalisation de son travail (étapes 2 et 4). Les modes opératoires des hivernants spécifiques à l'environnement sont transmis. On constate une adaptation de leur pratique professionnelle grâce à l'utilisation des « trucs et astuces » (Dejours, 1993), (permettant la régulation de leur activité), transmis (ou non) de manière officieuse.

#### **Discussion et conclusion**

Les résultats ont montré que le processus de relève comprenait 6 étapes. Si les documents écrits sont prescriptifs et formalisent les tâches à effectuer, indépendamment de la spécificité de l'environnement, les instructions orales communiquées durant la relève portent sur l'activité de l'hivernant et considèrent l'instabilité de la connaissance et de la variabilité des situations. Ainsi, comme le confirme l'étude de Boucheix et Coiron (2008), les transmissions orales permettent de réguler et d'ajuster l'activité des hivernants. L'activité des hivernants (et les procédures qu'ils utilisent) s'adapte constamment aux contraintes environnementales polaires, en développant un savoir-faire spécifique à l'organisation de DDU ou encore une intelligence rusée (Dejours, 1993) ou des « trucs et astuces » dans chaque corps de métier. La relève, qui apparaît comme étant singulière et propre à chaque activité professionnelle, reste un moment de mutualisation des connaissances spécifiques. Il devient dès lors nécessaire de transmettre ces astuces qui se volatilisent avec le départ de l'hivernant de la base.

#### **Remerciements**

Nous remercions l'Institut Polaire Emile Victor de nous permettre de mener ce programme scientifique.

#### **Références**

- Boucheix, J.-M & Coiron, M. (2008). Analyse de l'activité de transmission écrite au cours des relèves de poste à l'hôpital : Évaluation ergonomique de l'usage d'un nouveau format d'écriture. *@ctivités*, 5 (1) pp. 79-102, <http://www.activites.org/v5n1/v5n1.pdf>
- Clot, Y., (1995). *Le travail sans l'homme ? Pour une psychologie des milieux de travail et de vie*. Deuxième édition 1998. Paris : la Découverte.
- Corbin, J., & Strauss, A. (2008). *Basics of qualitative research* (3rd Ed.). Los Angeles, CA: Sage.
- Dejours, C. (1993) Intelligence pratique et sagesse pratique : deux dimensions méconnues du travail réel. *Education permanente* N°116 , pp 47-70.

- Drucker, P. F. (2002). L'émergence de la nouvelle organisation. In Harvard Business Review (Ed.), *Le knowledge management* (pp. 12-33), Paris, Edition d'Organisation.
- Greeno, J.G. (1989). The situativity of knowing, learning and research. *American Psychologist*, 53, 5-17.
- Lave, J. (1988). *Cognition in practice*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Nonaka, I. (2002). L'entreprise créatrice de savoir. In Harvard Business Review (Ed.), *Le knowledge management* (pp. 36-63), Paris, Edition d'Organisation.
- Pastré, P. (1999). La conceptualisation dans l'action, bilan et nouvelles perspectives, *Education Permanente*, n°139, 2, 13-38.
- Suchman, L. A. (1987). *Plans and situated actions: The problem of human-machine communications*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Schwartz, Y., & Durrive, L. (2003). *Travail et ergologie. Entretiens sur l'activité humaine*. Toulouse : Octarès.
- Vermersch, P. (2009). Describing the practice of introspection, in C. Petitmengin (Ed.). *Ten years of viewing from the within. The legacy of Francisco Varela* (pp.20-57). Charlottesville, VA: Imprint Academic.

## Antarctic cyanobacterial diversity: how important are the geographical and ecological factors?

■ (30 minutes)

De Carvalho Maalouf, P.<sup>1</sup>, Lambion, A.<sup>1</sup>, Gillard, B.<sup>1</sup>, Verleyen, E.<sup>2</sup>, Vyverman, W.<sup>2</sup>, Wilmotte, A.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>University of Liège, Centre for Protein Engineering, Sart Tilman B6, B-4000 Liège, Belgium ([awilmotte@ulg.ac.be](mailto:awilmotte@ulg.ac.be))

<sup>2</sup>Ghent University, Protistology and Aquatic Ecology, Krijgslaan 281 S8, 9000 Gent, Belgium ([elie.verleyen@ugent.be](mailto:elie.verleyen@ugent.be))

### Résumé

Les biotopes continentaux antarctiques sont dominés par les microorganismes. Les cyanobactéries produisent des tapis microbiens benthiques remarquables dans les lacs, des régions côtières jusqu'aux montagnes (jusqu'à 84°S). Cependant, on connaît peu de choses concernant la biodiversité des cyanobactéries en Antarctique, par comparaison avec d'autres régions du monde.

Le projet BelSPO AMBIO ([www.ambio.ulg.ac.be](http://www.ambio.ulg.ac.be)) a pour buts d'étudier (i) si les communautés microbiennes sont structurées par les mêmes facteurs que ceux qui sont responsables des communautés de macroorganismes, et (ii) si l'endémisme existe pour les microorganismes (bactéries, algues, cyanobactéries).

Nous avons analysé la biodiversité des cyanobactéries dans 59 échantillons provenant d'habitats aquatiques des trois régions biogéographiques (Antarctique continental, maritime et le Sub-Antarctique) et déterminé les données de base nécessaires pour comprendre la contribution des divers processus qui sont responsables des patrons de distribution.

Nous utilisons des amorces spécifiques pour les cyanobactéries pour amplifier une région du gène codant pour l'ARNr 16S. L'empreinte génétique des communautés des échantillons environnementaux est observée par Electrophorèse dans un Gel avec Gradient Dénaturant (DGGE). Les bandes obtenues sont séquencées et les séquences qui partagent plus de 98.5% de similitude sont groupées dans des Unités Taxonomiques Opérationnelles (OTU). La distribution géographique des OTUs est déterminée par comparaison avec la distribution des séquences présentes dans les bases de données publiques.

Trente-neuf OTUs sont observés dans les 59 échantillons. La majorité (65 %) apparaît cosmopolite (séquences trouvées hors de l'Antarctique). Cependant, on observe aussi 6 OTUs endémiques, dont certains sont nouveaux et d'autres semblent être uniquement présents en Antarctique de l'Est. De plus, 35% des OTU sont limités à la 'biosphère froide', c.a.d les habitats polaires et alpins.

Cette étude indique qu'une structure géographique des taxons cyanobactériens à l'échelle globale semble exister, même si la DGGE ne révèle que les membres dominants des communautés microbiennes. Des méthodes à haut débit seraient intéressantes pour révéler les taxons plus rares et des marqueurs moléculaires plus variables que l'ARNr 16S seraient utiles pour augmenter le niveau de résolution taxonomique de l'étude. En ce qui concerne les îles Sub-Antarctiques, les seuls échantillons obtenus provenaient de l'île Macquarie, mais une meilleure représentation de ces îles dans la gamme d'échantillons utilisés serait souhaitable.

### Introduction

The Antarctic continental biotopes are dominated by microbial organisms. Cyanobacteria produce conspicuous benthic microbial mats in lakes, from the coastal regions to the mountains inland (till 84°S) (Vincent, 2000). However, little is known about Antarctic cyanobacterial biodiversity in comparison with other regions of the world.

The BelSPO project AMBIO ([www.ambio.ulg.ac.be](http://www.ambio.ulg.ac.be)) aims to study whether (i) microbial communities are structured by the same factors as those shaping communities of macroorganisms, and (ii) endemism among microbes (bacteria, algae, cyanobacteria) does exist.

### Observations et résultats

We have analyzed the cyanobacterial biodiversity in 59 samples coming from aquatic habitats from the three biogeographical regions (Continental, Maritime Antarctica and the Sub-Antarctic) and determined the 'baseline' data needed to understand the contribution of various processes that are responsible for the distribution patterns.

We use cyanobacterial specific primers to amplify a region of the 16S rRNA gene (Taton et al. 2006). The genetic fingerprint of the communities in the environmental samples is observed by Denaturing Gradient Gel Electrophoresis (DGGE) as described by Fernandez-Carazo et al. (2011). The obtained bands are sequenced and those sequences that

share more than 98.5% of similarity are grouped into Operational Taxonomic Units (OTU). The geographical distribution of the OTUs is examined by comparison with the distribution of sequences present in public databases.

Thirty-nine OTUs were observed in 59 samples. The majority (65 %) appears cosmopolitan (found outside Antarctica). However, we also observe 6 endemic OTUs, some are new and others seem restricted to East Antarctica. Furthermore, 35 % of the OTUs are restricted to the “cold biosphere” i.e. polar and alpine habitats.

### **Discussion et conclusion**

This study indicates that a geographical structure of cyanobacterial taxa on a global scale seems to exist, even if the DGGE method merely reveals the dominant community members. High-throughput methods would be interesting to detect more rare taxa, and more variable molecular markers than 16S rRNA should be used for a finer taxonomic resolution of the study. In relation to the Sub-Antarctic geographic province, only samples from Macquarie Island could be obtained, but a better representation of these interesting islands in the sample set should improve the study.

### **Remerciements**

La Politique Scientifique Belge (BELSPO) a financé le projet AMBIO. A. Wilmotte est Chercheuse Qualifiée au FRS-FNRS.

### **References**

- Fernandez-Carazo, F., Hodgson D.A., Convey P. and A. Wilmotte (2011). Low cyanobacterial diversity in biotopes of the Transantarctic Mountains and Shackleton Range (80-82°S), Antarctica. *FEMS Microbiology Ecology* 77: 503-517.
- Taton, A., S. Grubisic, P. Balthasart, D. A. Hodgson, J. Laybourn-Parry and A. Wilmotte (2006). “Biological Distribution and Ecological Ranges of Benthic Cyanobacteria in East Antarctic Lakes”. *FEMS Microbiology Ecology* 57:272-289.
- Vincent W.F. (2000) “Evolutionary origins of Antarctic microbiota: invasion, selection and endemism”. *Antarctic Science*, 12, 374-385

## Index des auteurs

Améziane, 31  
Amice, 61  
Arnaud, 33  
Assens, 79  
Aymes, 5, 11  
Babin, 61  
Baltzer, 6  
Barruol, 9  
Bascou, 9  
Beall, 5, 11, 44  
Benoit, 37  
Berge, 61  
Berkani, 29  
Berland, 13  
Bernard, 40  
Berteaux, 46  
Bety, 46  
Blanc, 26, 35  
Bost, 23  
Boulart, 15  
Bouttes, 24  
Brajon, 77  
Brunet, 67  
Bryant, 61  
Bujan, 57  
Caillon, 57  
Calzas, 71  
Cameron, 46  
Carel, 60  
Carroll, 61  
Casella, 12  
Castéra, 57  
Charrier, 13  
Chauvaud, 61  
Chavagnac, 15  
Chevet, 18  
Choquet, 21  
Ciobanu, 64  
Corre, 12  
Cotté, 23  
Cottin, 18  
Couapel, 24  
Couloux, 29  
Couzinié, 37  
Cozic, 40  
Cruaud, 36  
De Carvalho Maalouf, 82  
de Fleurian, 51  
De La Rocha, 78  
de Palaminy, 36  
Degletagne, 26, 68  
Denis, 28  
De-Pol Holz, 60  
Dettaï, 29, 36  
d'Ovidio, 23  
Dragon, 23  
Drezen, 71  
Drouet, 51  
Duchamp, 35, 68  
Dupuy, 40  
Durand, 51  
Eléaume, 31  
Etienne, 28  
Falk-Petersen, 63  
Farasin, 64  
Febvre, 40  
Fichen, 71  
Fily, 33  
Flye Sainte-Marie, 61  
Fongy, 35  
Frenot, 13, 54  
Fuller, 42  
Funaki, 9  
Gallut, 29, 36  
Gaudin, 5, 11  
Géloën, 26  
Gerbe, 18  
Gillard, 82  
Gillet-Chaulet, 51  
Gourbeyre, 40  
Gramain, 15  
Grégoire, 18, 37  
Guillaume, 13, 15, 37  
Guillerm, 71  
Guillot, 71  
Guinet, 23  
Guyot, 40  
Haquin, 6  
Hemery, 31  
Henry, 9  
Herbaut, 45  
Heussner, 61  
Houssais, 45  
Jacobi, 40  
Jaffrezo, 40  
Jarry, 5, 11  
Jean, 61  
Jensen, 6  
Jourdan, 40  
Kerhervé, 61  
Klein, 42  
Koch, 36

Labonne, 44	Massé, 61	Romestaing, 35, 68
Lacarra, 45	Masson, 42	Rosnet, 79
Lacoste-Garanger, 35	Mathieu, 37	Rouanet, 35, 68
Laffly, 6	Mazaud, 57	Rousse, 37
Lafite, 6	Ménot, 9	Roussel, 68
Lai, 46	Mercier, 6	Sacchettini, 51
Laj, 40	Metzl, 67	Schwarzenboeck, 40
Lalande, 61	Michaud, 61	Siani, 60
Lalis, 46	Michel, 57, 60	Solignac, 70
Lambion, 82	Moitié, 26	Søreide, 61
Lamy, 60	Morata, 61	Sultan, 45
Laparie, 48	Moriceau, 61	Tarroux, 46
Larvor, 48	Narcy, 63	Téchiné, 71
Lautredou, 29	O'Reilly, 18	Teste, 33
Le Lannic, 13	Ozouf-Costaz, 29, 36	Testut, 71
Le Meur, 33, 51	Parikka, 64	Teulier, 68
Le Romancer, 15, 64	Park, 23	Thierry, 77
Lebouvier, 13, 54	Perez, 6	Toullec, 12
Lecointre, 29, 36, 56	Pierre, 67	Tréguer, 78
Lefebvre, 33	Pörtner, 61	Turon, 57
Lévy, 23	Prevost, 44	Ursule, 37
Leyneart, 61	Raccurt, 26, 35, 68	Verleyen, 82
Li, 29	Raclot, 77	Vignon, 44
Lo Monaco, 67	Ragueneau, 61	Villemain, 79
Lourantou, 60	Renault, 48	Vyverman, 82
Macquet, 79	Rey, 68	Wilmotte, 82
Manno, 61	Richard, 61	Wold, 63
Marie, 13	Roche, 24	Zanatta, 40
Martin, 31, 61	Roiland, 13	