



Comité National Français des Recherches Arctiques et Antarctiques

7^{èmes} Journées Scientifiques

19 et 20 mai 2011, Paris

Résumés des présentations

Sommaire

Campagnes du programme REVOLTA en Terre Adélie : objectifs, protocoles, mise en œuvre et premiers bilans	4
GBIF – Global Biodiversity Information Facility Système Mondial d’Information sur la Biodiversité	5
Le programme ArLiTA: une fenêtre sur l’architecture profonde de la Terre Adélie.....	6
Histoire biogéographiques des îles subantarctiques : apports des études phylogéographiques d’ <i>Azorella selago</i> et <i>Acaena magellanica</i>	7
Etude des aires d’approvisionnement utilisées par le manchot Adélie mâle durant l’ensemble de son cycle de reproduction.....	8
Rôle de la corticostérone dans le comportement d’approvisionnement chez le manchot Adélie pendant la période d’élevage.....	9
Grandir vite et/ou résister au froid polaire, un compromis énergétique pour le poussin manchot Adélie (<i>Pygoscelis adeliae</i>).....	10
CEAMARC: Barcoding East Antarctic Deuterostomes CEAMARC: Barcode moléculaire de Deutérostomiens de la Mer de Dumont d’Urville	12
Le Système du Traité sur l’Antarctique, un cas unique de gouvernance internationale	14
Destruction record d’ozone durant l’hiver arctique 2010/2011	15
Utilisation de nouveaux marqueurs de banquise dans les écosystèmes polaires	16
The way to a males heart is through his stomach: Reproductive strategies in Weddell seals.....	19
Ecology of Weddell seals during winter: influence of ocean and sea-ice parameters on their foraging behaviour.....	20
L’intégration phénotypique et environnementale augmente avec l’endémisme des espèces végétales des îles Kerguelen....	21
Foraging habitats of top predators, and Areas of Ecological Significance on the Kerguelen Plateau.	22
Vulnérabilité des communautés natives face aux insectes invasifs et au changement climatique dans les îles subantarctiques.....	23
Présentation des régimes hydrographiques identifiés en été sur le plateau Antarctique en Terre Adélie dans le cadre du projet ALBION.....	25
Antarctic adaptive radiations: The Trematominae (Notothenioidei, Teleostei).....	26
Le Centre Européen pour l’Arctique (UVSQ/OVSQ, France): Une approche pluridisciplinaire de l’Arctique dans la recherche et l’enseignement.....	28
Kerguelen and Saint Paul hot springs: hot spots of microbial diversity in a very remote subantarctic area.....	29
Chronique d’une invasion par la truite commune d’un milieu vierge subantarctique : l’introduction des salmonidés aux Kerguelen.....	31
Dynamics and calving of the Mertz Glacier ice tongue, East Antarctica.....	32
Mesures in situ d’épaisseur de la banquise arctique à l’aide d’un sondeur électromagnétique	33
Variations du courant circum-Antarctique durant les 500000 dernières années.....	34
Modélisation de la répartition géographique de <i>Ptilocrinus amezianae</i> sur le Plateau de Kerguelen.....	38
Le patrimoine historique des Terres Australes et Antarctiques Françaises : problématiques particulières, réflexions et perspectives.	41

Sénescence multi-traités chez un oiseau extrêmement longévif : l'albatros à sourcils noirs.....	43
Etude de la distribution du $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ dans les eaux de surface de l'Océan Indien Sud [20°S-60°S].....	45
Etude sur le retour d'hivernage.....	46
Validation des observations en éthologie humaine dans les TAAF et application aux futurs équipages interplanétaires.....	47
Estimation des variations passées du niveau de la mer dans l'océan austral à partir de données et repères historiques.	49
Hormone de stress, perturbations météorologiques et investissement parental au cours de l'incubation chez le manchot Adélie	51
Transport de la neige par le vent, observations et modélisation en Terre Adélie, Antarctique.....	53
Comprehensive isotopic composition of nitrate in the Antarctic atmosphere and surface snow: Towards interpretation of the polar ice core record	59
Le projet OPTIMISM: observation des processus impactant le bilan de masse de glace de mer.	62

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.

Campagnes du programme REVOLTA en Terre Adélie : objectifs, protocoles, mise en œuvre et premiers bilans

■ (5 minutes)

Nadia AMEZIANE¹, Marc ELEAUME¹, Cyril GALLUT², Lenaïg HEMERY¹, Camille ROBINEAU³, Anne-Claire LAUTREDOU², Angélique D'HONT³, Narissa BAX⁴, Alain POTTIER⁵, Dominique FLEURY⁵, Guillaume LECOINTRE²

1 MNHN, DMPA, UMR7208, 43 rue Cuvier, 75005 Paris (ameziane@mnhn.fr, eleaume@mnhn.fr, lhemery@mnhn.fr)

2 MNHN, DSE, UMR7138, 43 rue Cuvier, 75005 Paris (gallut@mnhn.fr, lautredou@mnhn.fr, ozouf@mnhn.fr, lecointr@mnhn.fr)

3 Base Dumont D'Urville, District de Terre Adélie, Terres Australes et Antarctiques Françaises (camille.robineau@ddu.ipev.fr)

4 University of Tasmania, Launceston Campus, TAS 7250, Australia.

5 IPEV, Technopôle Brest-Iroise - BP 75, 29280 Plouzané (apottier@ipev.fr, dfleury@ipev.fr)

Résumé

Les deux premières campagnes liées au programme de l'IPEV REVOLTA (Radiations EVOLutives en Terre Adélie, n°1124, IPEV) se sont déroulées au cours des étés austraux 2009-2010 et 2010-2011. Les objectifs de ce programme sont : (1) explorer la biodiversité de la faune marine ; (2) caractériser les assemblages que forment ces organismes marins ; (3) tester si certains ensembles d'espèces présentent les caractéristiques d'une radiation évolutive (diversification accélérée à partir d'un ancêtre commun). Pour répondre à ces objectifs, nous avons effectué des prélèvements biologiques à l'aide de chaluts, filets trémails et bennes, et hydrologiques grâce à des CTD. Nos observations ont été complétées par l'utilisation d'un remotely operated vehicle (ROV). Plus de 2100 lots de spécimens ont été récoltés, représentant plus de 380 «morpho-spécies». Des observations de comportement en aquarium ont été effectuées sur des taxons cibles. Nous présentons ici la stratégie d'échantillonnage, le déroulement des opérations, le système de tri, l'élaboration des «morpho-spécies» et les vidéos sous-marines. Les premiers résultats mettent en évidence que la faune benthique côtière présente jusqu'à 200 m de fond dans l'Archipel de Pointe Géologie est très diversifiée, à l'exception de certains groupes. De nombreuses espèces restent à décrire et sont très rares ou nouvelles pour la science. Ce matériel vient compléter celui récolté plus au large par la campagne CEAMARC lors de l'année polaire internationale.

GBIF – Global Biodiversity Information Facility Système Mondial d'Information sur la Biodiversité

■ (5 minutes)

GBIF France : Anne-Sophie Archambeau¹, Régine Vignes-Lebbe¹, Eric Chenin¹, Michael Akbaraly¹, Delphine Gasc¹

¹GBIF France, MNHN – Géologie,, Paris 75005, France (gbif@gbif.fr)

Résumé

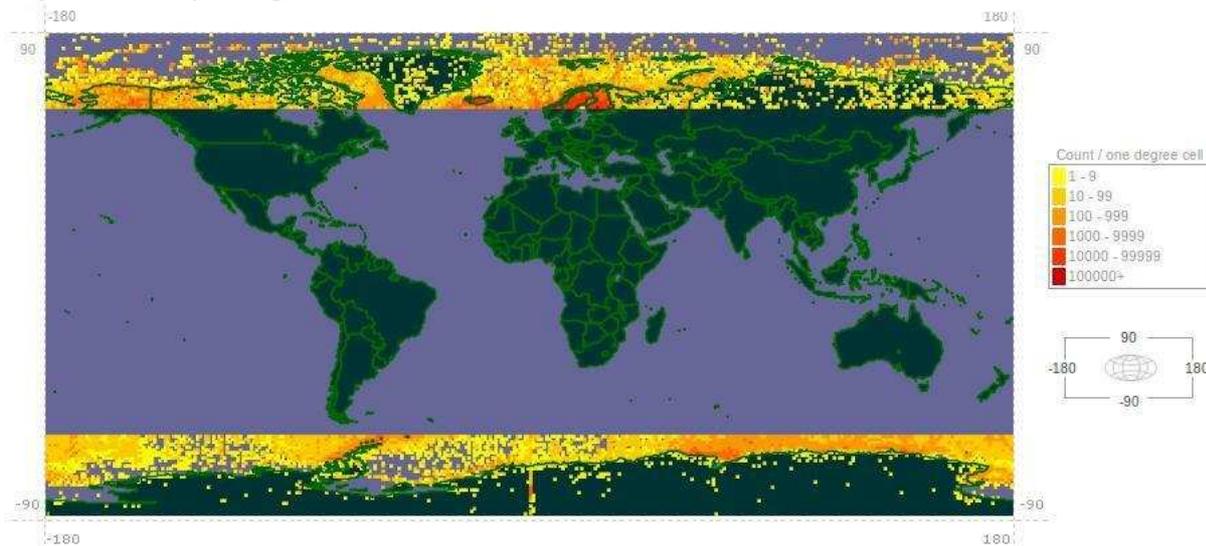
Le GBIF est un programme scientifique international fondé à l'initiative de l'OCDE en 2001. Il a pour objectif principal la diffusion libre et universelle, via internet, d'informations relatives aux données primaires de biodiversité. Pour ce faire, il connecte des bases de données d'observations dans la nature ou de collections d'histoire naturelle et les rend interopérables et librement accessibles. A ce jour, 56 pays et 46 organisations internationales (dont OBIS, Fishbase, SCAR...) sont membres du GBIF et une partie des données partagées concerne les zones australe et antarctique (voir la carte des données présentes dans le GBIF pour les régions polaires).

Actuellement, le portail du GBIF (<http://data.gbif.org>) met en ligne plus de 265 millions de données (spécimens de collections ou observations dans la nature) provenant de plus de 12300 jeux de données fournies par 324 fournisseurs différents, et ce nombre augmente constamment.

Le portail permet de visualiser les occurrences de spécimens sur des cartes car la plupart des données sont géoréférencées et différents web services ont été mis en place, pouvant être réutilisés par d'autres portails et d'autres applications. Le GBIF permet également d'effectuer des études à grande échelle : prédiction liées au changement climatique, aux espèces invasives...

Le point nodal français du GBIF, dont le MNHN est l'opérateur, est une équipe destinée à soutenir et assister les connexions de données au GBIF international. Elle peut être contactée à l'adresse suivante: gbif@gbif.fr, ou au numéro suivant: 01 40 79 80 65.

Map of results for polar region



Northern area: 8 751 345 occurrences with coordinates. There are 8 751 236 occurrences within the viewed area.

Antarctica: This map only shows records with coordinates (824 987 records from a total of 994 881 records).

Le programme ArLiTA: une fenêtre sur l'architecture profonde de la Terre Adélie

■ (20 minutes)

J. Bascou¹, G. Barruol², R. P. Ménot¹, B. Henry³, Y. Rolland⁴, G. Duclaux⁵

¹Université de Lyon, Université Jean Monnet, 42023 Saint Etienne and UMR-CNRS 6524, Laboratoire Magmas et Volcans, France (jerome.bascou@univ-st-etienne.fr)

²Université de La Réunion, CNRS, IPG Paris, Géosciences Réunion, 15 avenue René Cassin, 97715 Saint Denis cedex 9, La Réunion, France (guilhem.barruol@univ-reunion.fr)

³Paléomagnétisme, IPGP and CNRS, 4 avenue de Neptune, 94107 Saint-Maur cedex, France (henry@ipgp.fr)

⁴Géosciences Azur, CNRS, Université de Nice Sophia Antipolis, IRD, Nice, France (Yann.Rolland@unice.fr)

⁵CSIRO Earth Science and Resource Engineering, ARRC, Kensington, WA, Australia (guillaume.duclaux@csiro.au)

Résumé

Le programme IPEV ArLiTA (Architecture de la Lithosphère de Terre Adélie) a débuté en octobre 2009. Le projet scientifique porte sur la caractérisation des structures et la déformation de la lithosphère néoarchéenne et paléoprotérozoïque en Terre Adélie et George V Land (Antarctique 135 à 145° E). La démarche proposée est pluridisciplinaire et combine différentes méthodes d'analyse et d'interprétation, connectant les observations de terrain aux modèles géodynamiques d'extension lithosphérique. La caractérisation des structures est également multi-échelle depuis l'étude des structures cristallines observées au microscope électronique à l'imagerie des structures lithosphériques à partir d'analyses de données sismologiques. A l'échelle du terrain, l'utilisation d'outils modernes de pétrophysique tels que l'anisotropie de susceptibilité magnétique (ASM) permet une cartographie systématique des structures (foliation, linéation) dans les différents blocs crustaux mis en évidence aux cours des missions du programme GEOLETA, blocs qui représentent différents niveaux de la croûte néoarchéenne et paléoprotérozoïque. Les relations entre les structures cartographiées et les transferts de fluides au sein de la croûte sont également précisées. Cela implique des études géochimiques, en particulier des isotopes stables, des fluides et des minéralisations associées. A l'échelle régionale, l'installation de plusieurs stations sismiques le long de la côte de la Terre Adélie et de George V fournira une contribution essentielle en permettant d'imager les structures tectoniques d'ampleur lithosphérique. Actuellement, en complément de la station permanente du réseau GEOSCOPE localisée sur la base Dumont d'Urville, 4 stations sismiques temporaires larges bandes ont été déployées sur la côte de TA, de la bordure Est du glacier Mertz à l'ancienne base de Port Martin. Ce nouveau réseau de stations sismiques viendra ainsi compléter spatialement les déploiements récents de l'Antarctique Est dont ceux effectués au centre du continent dans le cadre de l'année polaire internationale (IPY). Enfin, la caractérisation des structures lithosphériques en Terre Adélie permettra une meilleure corrélation avec son équivalent septentrional, le craton du Gawler (Australie) et ainsi d'obtenir une première image de l'architecture des structures lithosphériques du continent Mawson, c'est-à-dire une partie majeure du supercontinent Rodinia.

Histoire biogéographique des îles subantarctiques : apports des études phylogéographiques d'*Azorella selago* et *Acaena magellanica*.

■ (10 minutes)

Born C¹, McGeoch MA^{2,3}, Shaw J², Bergstrom D⁴, Lebouvier M⁵, Chown SL², Peat H⁶, Convey P⁶, Upson R⁷, Padin A⁸, Grosfeld J⁸, Jansen van Vuuren B^{1,2}

¹Evolutionary Genomics Group, Department of Botany and Zoology, Stellenbosch University, South Africa

²Centre for Invasion Biology, Department of Botany and Zoology, Stellenbosch University, South Africa

³Cape Research Centre, South African National Parks, South Africa

⁴Australian Antarctic Division, Australia

⁵Université Rennes 1, CNRS, UMR 6553, France

⁶British Antarctic Survey, NERC, UK

⁷Falklands Conservation, UK

⁸Instituto Nacional de Investigaciones en Biodiversidad y Medioambiente, Universidad Nacional del Comahue y CONICET, Argentina

Introduction

Malgré une homogénéité remarquable, la flore vasculaire des îles subantarctiques (situées entre les latitudes 46°S et 55°S) est structurée par bassin océanique. Ce régionalisme argumente en faveur de la survie des plantes dans des refuges régionaux pendant le Dernier Maximum Glaciaire (DMG) plutôt qu'une re-colonisation post-glaciaire de ces îles. Cette hypothèse est aussi appuyée par le fait que la plupart de ces espèces sont présentes sur la plupart de ces îles très tôt après la fonte des glaciers du DMG. Pour tester plus spécifiquement cette hypothèse, nous avons décrit les profils phylogéographiques de deux espèces *Azorella selago* Hook (Apiaceae) et *Acaena magellanica* (Rosaceae) dont les distributions sont quasi identiques, s'étendant d'ouest en est de la région magellanique d'Amérique du Sud à l'île de Macquarie (les Falklands sont aussi considérées dans cette étude). Pour *Azorella selago*, des échantillons de chaque région ont été séquencés pour deux régions nucléaires et trois régions chloroplastiques. Pour *Acaena magellanica*, les échantillons ont été séquencés pour deux marqueurs chloroplastiques et un marqueur nucléaire.

Résultats

Les profils phylogéographiques révélés par les topologies des arbres construits à l'aide des séquences des deux espèces sont très similaires. Les deux espèces auraient leurs origines en Amérique du Sud et auraient colonisé les îles par événements de dispersion à longue distance. De façon surprenante un seul haplotype caractérise chacune de nos espèces sur chacune des îles. Pour *Azorella selago*, seuls quatre haplotypes ont été obtenus, un en Terre de Feu, un dans les Falklands, un partagé par les îles dans le secteur de l'Océan Indien (les Îles du Prince Edward, l'île Possession des Îles Crozet, les Îles Kerguelen et l'Île Heard) et le dernier sur l'Île Macquarie. Pour *Acaena magellanica*, sept haplotypes sont obtenus : un en Patagonie, un en Terre de Feu, un au Chili, deux sur les Falklands, un partagé entre les îles du secteur Océan Indien et South Georgia et un sur Macquarie.

Conclusion

Ces résultats confirment la présence de refuges régionaux ayant permis la survie d'*Azorella selago* et *Acaena magellanica* pendant le DMG. Cependant, malgré la présence de ces espèces très tôt après la fonte des glaciers montrée sur plusieurs îles du secteur de l'Océan Indien, suggérant la présence de refuges sur chacune de ces îles, nos résultats argumentent en faveur d'un unique refuge dans le secteur Océan Indien et d'une re-colonisation des autres îles à partir de ce refuge très rapidement après le DMG.

Etude des aires d’approvisionnement utilisées par le manchot Adélie mâle durant l’ensemble de son cycle de reproduction

■ (5 minutes)

M. Cottin^{1,2}, A. Kato^{1,2}, B. Raymond³, T.¹ Raclot² & Y. Ropert-Coudert^{1,2}

¹Université de Strasbourg, IPHC, 23 rue Becquerel 67087 Strasbourg, France (manuelle.cottin@iphc.cnrs.fr; akiko.kato@iphc.cnrs.fr; thierry.raclot@iphc.cnrs.fr; yan.ropert-coudert@iphc.cnrs.fr)

²CNRS, UMR 7178, 67087 Strasbourg, France

³Australian Antarctic Division, Kingston, Tasmania 7001, Australia (Ben.Raymond@aad.gov.au)

Résumé

De nombreux auteurs se sont attelés à étudier les aires d’approvisionnement chez le manchot Adélie pendant la période de reproduction. Des études comparatives interannuelles ont ainsi pu mettre en évidence l’impact de l’étendue de la glace de mer sur les stratégies de recherche alimentaire de cette espèce. Pour la première fois, nous avons étudié la localisation des aires d’approvisionnement durant toute la durée du cycle de reproduction du manchot Adélie, du premier voyage alimentaire du mâle jusqu’au stade de crèche. Nous avons ainsi pu mettre en évidence les zones les plus importantes et la modification de leur localisation au cours du cycle. Notre étude s’appuie sur un modèle de GPS qui présente des caractéristiques intéressantes : ils sont en effet peu onéreux et de petite taille. L’utilisation de ce matériel permettra des déploiements à large échelle dans des programmes internationaux, et cela dans le but d’une meilleure compréhension de l’impact de l’environnement sur les comportements de recherche alimentaire des prédateurs marins supérieurs présents dans les eaux australes circumpolaires.

Remerciements

Cette étude a bénéficié du soutien financier et logistique de l’Institut Polaire Français (IPEV, Programme 137 ECOPHY, responsable : Yvon Le Maho). La thèse de Manuelle Cottin est financée par la Région Alsace. Nous tenons à remercier le WWF qui contribue à l’achat de matériel (loggers).

Rôle de la corticostérone dans le comportement d'approvisionnement chez le manchot Adélie pendant la période d'élevage

■ (5 minutes)

M. Cottin^{1,2}, A. Kato^{1,2}, A. Takahashi³, A.M. Thierry^{1,2}, Y. Ropert-Coudert^{1,2} & T. Raclot^{1,2}

¹Université de Strasbourg, IPHC, 23 rue Becquerel 67087 Strasbourg, France

²CNRS, UMR 7178, 67087 Strasbourg, France

(manuelle.cottin@iphc.cnrs.fr; akiko.kato@iphc.cnrs.fr; amthierry@gmail.com; yan.ropert-coudert@iphc.cnrs.fr; thierry.raclot@iphc.cnrs.fr)

³Department of Polar Science, The Graduate University for Advanced Studies, National Institute of Polar Research, Tachikawa, Tokyo, Japan

Résumé

Pendant la saison de reproduction, la quantité d'énergie que les organismes peuvent allouer à leur propre maintenance et/ou à leur reproduction dépend largement de leur succès de recherche alimentaire. En raison de la distance séparant les zones de recherche alimentaire et le site de reproduction d'une part, et d'un temps dévolu à la recherche alimentaire limité d'autre part, les parents de manchots Adélie doivent optimiser leur comportement d'approvisionnement s'ils veulent assurer simultanément leur survie et leur reproduction. Or, les performances de prospection alimentaire dépendent de la disponibilité des proies mais aussi de la capacité physique/physiologique des oiseaux à les trouver et les capturer. Notre objectif est donc de comprendre les mécanismes physiologiques modulant les décisions d'approvisionnement et conséquemment l'allocation de l'énergie entre maintenance et reproduction chez le manchot Adélie. Nous nous intéresserons principalement au rôle de la corticostérone qui est connue pour influencer l'activité locomotrice, la prise alimentaire ainsi que le métabolisme. Pour cela, des manchots Adélie mâles ont été implantés de corticostérone au début de la période d'élevage des poussins et leur comportement de plongée a été étudié grâce à l'utilisation d'appareils enregistreurs de pressions (loggers). De façon surprenante, la corticostérone semble avoir des effets opposés selon l'échelle à laquelle on se place : elle diminue l'effort de recherche alimentaire à l'échelle du voyage mais l'augmente à l'échelle de la plongée. Cette dualité ouvre de nouvelles perspectives quant à l'implication de la corticostérone dans les décisions d'approvisionnement et son rôle dans la médiation du conflit entre maintenance et soins parentaux.

Remerciements

Cette étude a bénéficié du soutien financier et logistique de l'Institut Polaire Français (IPEV, Programme 137 ECOPHY, responsable : Yvon Le Maho). La thèse de Manuelle Cottin est financée par la Région Alsace.

Grandir vite et/ou résister au froid polaire, un compromis énergétique pour le poussin manchot Adélie (*Pygoscelis adeliae*)

■ (10 minutes)

Cyril Dégletagne, Damien Roussel, Sophie Moitié, Fanny Baudimont, Jean Louis Rouanet, Claude Duchamp, Mireille Raccurt

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

Introduction

Les conditions climatiques extrêmes de l'antarctique laissent peu de temps aux espèces endémiques pour se reproduire. Même si les ressources alimentaires marines sont abondantes, le nourrissage des nouveaux nés est entièrement dépendant de l'effort parental. Face aux contraintes de froid et d'apport énergétique réduit, un petit nombre d'espèces a développé des adaptations sophistiquées pour coloniser ces régions inhospitalières en particulier pour les endothermes, parmi lesquelles le manchot Adélie (*Pygoscelis adeliae*).

A l'éclosion, le poussin manchot Adélie est un organisme immature, incapable de maintenir sa température corporelle sans la protection thermique des parents. Après 2 semaines de vie et l'acquisition de son endothermie, pré-requis à son émancipation thermique, il peut quitter la poche incubatrice et permettre aux 2 parents de multiplier les voyages alimentaires. Le poussin est donc confronté à un véritable challenge énergétique puisqu'il n'a que le court été polaire pour acquérir une masse corporelle suffisante, mettre en place des processus thermogènes efficaces, gérer le coût énergétique de la mue avant son départ en mer, l'étape clé de son émancipation nutritionnelle.

Nous avons cherché à comprendre comment le poussin manchot Adélie résout ce challenge énergétique au cours des 2 mois qui suivent l'éclosion. Dans une approche intégrative nous avons caractérisé la mise en place de sa thermogénèse de régulation et recherché les mécanismes potentiels de cette thermogénèse et leur régulation génique dans le muscle pectoral.

Observations et résultats

Les capacités de thermogénèse de régulation déterminées par calorimétrie indirecte augmentent progressivement avec l'âge des poussins (7, 15, 30, 60 jours), une véritable régulation thermique efficace n'étant observée qu'à partir de 15 jours. Cette thermogénèse repose alors uniquement sur le frisson thermique. Ce n'est qu'entre 30 et 60 jours que se développe une thermogénèse sans frisson qui se rajoute au frisson thermique et accroît les capacités thermogènes des oiseaux. L'apparition tardive de cette thermogénèse sans frisson est corrélée sur des biopsies de muscle pectoral à l'augmentation entre 30 et 60 jours, de l'expression des deux protéines mitochondriales avUCP (Avian Uncoupling Protein) et ANT (Adenosin Nucleotide Translocase). Ceci s'accompagne d'une augmentation concomitante de l'expression des gènes codant le co-activateur PGC1 α (peroxisome proliferator-activated receptor γ co-activator 1 α) et le récepteur nucléaire β de la T₃, tous 2 impliqués dans la biogénèse mitochondriale et la différenciation musculaire.

Pendant cette période de 60 jours, la masse corporelle des poussins s'accroît passant de moins de 100 g à 3,6 kg en moyenne, réduisant le rapport surface/volume et les pertes thermiques avec l'environnement. Alors que la masse corporelle est multipliée par 35, la masse du muscle pectoral augmente de 80 fois. Cette croissance très rapide est majoritairement réalisée pendant les 15 premiers jours de vie et est associée à une très forte expression du GHR (Growth Hormone Receptor) et de l'IGF1R (Insulin Growth Factor 1 Receptor) dans le muscle pectoral des poussins dès les premiers jours de vie. L'expression de ces gènes qui décroît progressivement pour atteindre un minimum dès 15 jours, peut contribuer à la transformation morphologique et fonctionnelle précoce des fibres musculaires dont l'étude histologique et enzymatique (myosine ATPase, NADH réductase) révèle une augmentation du caractère oxydatif à partir de 15 jours.

Conclusion

Pour faire face aux contraintes énergétiques majeures imposées par une croissance rapide en milieu polaire, le poussin manchot adélie adopte une stratégie originale en termes d'allocation d'énergie. Incapable de maintenir seul son homéothermie jusqu'à 15 jours, il profite de la protection thermique parentale, ce qui lui permet d'allouer un maximum d'énergie pour sa croissance. Dès lors que sa masse corporelle le contraint à s'exposer au froid polaire, il développe, au détriment de sa croissance, des mécanismes efficaces de lutte contre le froid tel le frisson thermique jusqu'à 30 jours auquel se rajoute ensuite une thermogénèse sans frisson entre 30 et 60 jours.

Le poussin adélie apparaît comme un modèle intéressant d'adaptation aux contraintes des environnements polaires, par sa capacité à orienter séquentiellement son métabolisme vers la croissance à terre puis vers la thermorégulation avant son passage en mer. L'adaptation des espèces aux environnements extrêmes dépend donc d'une gestion très fine de l'allocation énergétique aux fonctions vitales prioritaires de l'organisme. Cette spécialisation en fait des espèces fragiles mais sentinelles face aux changements climatiques rapides annoncés.

Remerciements

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

CEAMARC: Barcoding East Antarctic Deuterostomes **CEAMARC: Barcode moléculaire de Deutérostomiens de la Mer de Dumont d'Urville**

■ (5 minutes)

A. Dettai¹, A. Froger², A.-C. Lautrédou¹, L. Hemery², G. Denys², C. Gallut¹, F. Monniot², A. Couloux³, P. Pruvost², R. Causse², F. Busson², G. Duhamel², G. Lecointre¹, C. Ozouf-Costaz¹, M. Eléaume², N. Améziane²

¹Equipe Phylogénie, UMR7138, Département Systématique et Evolution, MNHN, 75005 Paris (adettai@mnhn.fr, lecointr@mnhn.fr, ozouf@mnhn.fr, cyril.gallut@upmc.fr)

²BOME, UMR5178, Département Milieux et Peuplements Aquatiques, MNHN, Paris, 75005 (duhamel@mnhn.fr, pruvost@mnhn.fr; busson@mnhn.fr, causse@mnhn.fr, aurelie.froger@u-psud.fr, ameziane@mnhn.fr, gael@mnhn.fr, monniot@mnhn.fr, eleaume@mnhn.fr, lhemery@mnhn.fr)

³Genoscope. Centre National de Séquençage. 2, rue Gaston Crémieux, CP5706, 91057 Evry cedex, France. (couloux@genoscope.cns.fr)

Résumé

Les Deuterostomiens sont très présents dans de nombreux écosystèmes benthiques en Mer de Dumont d'Urville. Malgré leur importance dans les écosystèmes, de nombreuses espèces restent difficiles à identifier, et l'utilisation d'une méthode d'identification moléculaire comme le barcode se révèle très intéressante. Grâce à la mission CEAMARC (2007-2008), un grand nombre de spécimens a été collecté, notamment d'échinodermes (entre autre crinoïdes et étoiles de mer), de poissons téléostéens, et d'ascidies. Ces groupes ont été étudiés principalement grâce au marqueur standard du projet Barcode of Life COI mais également avec des marqueurs nucléaires. L'intérêt du COI a été confirmé pour les téléostéens et les crinoïdes, tandis que les ascidies et les étoiles de mer qui sont encore en cours d'étude, ont néanmoins fourni déjà des résultats intéressants et permis de décrire de nouvelles espèces (ascidies).

Introduction

Pictures and videos of the benthic communities of the Antarctic shelf show that Deuterostomia, especially ascidians, echinoderms and teleosts, are largely represented in many of the habitats. However, the morphological identification of most species is not easy. Ascidian identification is particularly difficult and requires skilled experts, but even for well-known echinoderms and teleosts, younger specimens are difficult to assign to the adult form, as allometric trends tend to obscure diagnostic characters in juvenile specimens.

Molecular identification, including “barcoding” using the sequence of the mitochondrial COI, is therefore very promising (Dettai et al. 2011, Dettai et al. in press). This approach requires sequencing a standard fragment of the Cytochrome oxidase I gene for the specimen to identify. The sequence is then compared to a reference dataset of sequences from well identified specimens, and determine which species the specimen to identify belongs to. However, it requires validation of its efficiency and error rate before being routinely used for identification in these crucial groups for Southern Ocean biodiversity studies. The method compares a short, standardized fragment of sequence from the specimen to identify to a database containing sequences from well identified individuals to reach an identification.

Observations et résultats

The 2007-2008 CEAMARC (Collaborative East Antarctic Marine Census) cruises have allowed the sampling of benthic species from depths that had not been explored since almost a century in the eastern part of the Antarctic continent. In collaboration with experts from a majority of taxa, the hundreds of specimens have been or are currently being identified morphologically. The COI barcodes and the morphological identifications are then compared to one another, as well as to additional nuclear markers when necessary, as using a single molecular marker can be misleading.

More than five hundred teleost species have been sequenced and analysed for COI (Dettai et al. 2011), and a new species has been described (Iglesias et al. in press). The COI barcodes are distinct among most species, with inter and intraspecific divergences distinct from one another. With few exceptions, teleost barcoding has been validated as an ID technique in our dataset (Dettai et al. 2011, Duhamel et al. 2010). Exceptions generally correspond to taxonomic problems, and are being investigated with additional data. Comparison of the archived COI sequences with those of a recently highlighted species (Smith et al. 2011) has allowed to detect the presence of a second *Macrourus* species within

the specimens collected during the CEAMARC survey. This was corroborated by morphological re-identification of the specimens.

Several hundreds of COI and ribosomal sequences have been analysed for crinoids, and a phylogeographic study has also been performed.

For ascidians, despite initial technical difficulties, COI and 18S sequences have been obtained and compared with morphological identifications for almost all the collected species. Our dataset represents currently the most extensive one for the Southern Ocean, and includes reference sequences associated both to new species descriptions and extended descriptions for already described species (Monniot et al. in press).

The first comprehensive sample of Asteroidea from Dumont d'Urville Sea is also under study, and already includes more than five hundred specimens. However, morphological identifications still need to be ameliorated.

Discussion and conclusion

These results represent a major contribution to the creation of a reference dataset (Dettai et al. 2011, Duhamel et al. 2010), and initiate the exploration of the limits and strengths of barcoding for these groups in the Dumont d'Urville Sea. Barcoding appears to be a valuable method for identification within most groups (Dettai et al. 2011), despite low divergences and haplotype sharing in a few species, and it is also useful as a preliminary taxonomic exploration method. This is especially important since the sampling area is undergoing major transformations following the calving and drifting away of a massive iceberg from the Mertz Glacier in mid-february 2010 (http://www.esa.int/esaCP/SEM4D59KF6G_France_1.html).

Remerciements

We thank the crew and participants of the cruises involved in the capture of the samples, and especially the chief scientists of the CAML-CEAMARC cruises. The CAML-CEAMARC cruises of RSV *Aurora Australis* and TRV *Umitaka Maru* (IPY project n°53) were supported by the Australian Antarctic Division, the Japanese Science Foundation, the French polar institute IPEV (ICOTA and REVOLTA programs), the CNRS, the MNHN and the ANR (White Project ANTFLocks USAR n°07-BLAN-0213-01 directed by Guillaume Lecointre). This project is a contribution to the EBA-SCAR program. This work was supported by the „Consortium National de Recherche en Génomique, and the Service de Systématique Moléculaire of the Muséum national d'Histoire naturelle (IFR 101). It is part of the agreement number 2005/67 between the Genoscope and the MNHN on the project „Macrophylogeny of life., directed by G. Lecointre.

Références

- Dettai, A.; Adamowicz, S.; Allcock, A. L.; Arango, C.; Barnes, D. K.; Barratt, I. ; Chenuil A., Couloux, A.; Cruaud, C.; David, B.; Denis, F.; Denys, G.; Díaz A., Eleaume, M.; Kuklinski, P.; Féral J.-P.; Froger, A.; Gallut, C.; Grant, R.; Griffith, H.; Held, C.; Hemery, L.; Hosie, G.; Lecointre, G.; Linse, K. ; Lozouet, P.; Mah, C.; Monniot, F.; Norman, M. D.; Ozouf-Costaz, C.; Piedallu, C.; Pierrat B., Poulin E.; Puillandre, N.; Riddle, M.; Samadi, S. ; Saucède, T.; Schubart, C.; Smith, P. J.; Stevens, D. W.; Steinke, D.; Strugnell, J. M. ; Tarnowska, K., Wadley, V.; Ameziane, Nadia (in press, available online). Barcoding and molecular systematics of the benthic and demersal organisms of CEAMARC. *Polar Science*
- Dettai, A., Lautredou, A.-C., Bonillo, C. , Goimbault, E., Busson, F., Causse, R., Couloux, A., Cruaud, C., Duhamel, G., Denys, G., Hauteceur, M., Iglesias, S., Koubbi, P., Lecointre, G., Moteki, M., Pruvost, P., Tercerie, S., Ozouf-Costaz, C. (2011). The actinopterygian diversity of the CEAMARC cruises: Barcoding and molecular taxonomy as a multi level tool for new findings. *Deep Sea Research II*, 58: 250-263
- Duhamel, G., Hauteceur, M., Dettai, A., Causse, R., Pruvost, P., Busson, F., Couloux, A., Koubbi, P., Williams, R., Ozouf-Costaz, C., and Nowara, G. (2010). Liparids from the Eastern sector of Southern Ocean and first information from molecular studies. *Cybium* 34(4): 319-343.
- Iglesias, S. P., Dettai, A., Ozouf-Costaz, C. (In press) *Barbapellis pterygalces*, new genus and new species of a morphologically derived eelpout (Zoarcidae: Teleostei) from the Antarctic deep-waters. *Polar Biology*
- Monniot, F., Dettai, A., Eleaume, M., Cruaud, C., Ameziane, N. (in press). Antarctic Ascidians (Tunicata) of the French-Australian survey CEAMARC in Terre Adélie. *Zootaxa*.
- Smith P.J., Steinke D., McMillan P.J., Stewart A.L., McVeagh S.M., Diaz de Astarloa J.M., Welsford D., Ward R.D. (2011). DNA barcoding highlights a cryptic species of grenadier *Macrourus* in the Southern Ocean. *J. Fish Biol.* 78(1):355-65.

Le Système du Traité sur l'Antarctique, un cas unique de gouvernance internationale

■ (20 minutes)

Y. Frenot¹

¹Institut Polaire Français Paul-Emile Victor (IPEV), Technopôle Brest-Iroise, BP 75, 29280 Plouzané (yves.frenot@ipev.fr)

Résumé

La présentation dressera le panorama des différents outils du Système du traité sur l'Antarctique, à commencer par le traité lui-même. Un accent particulier sera mis sur le protocole au traité sur la protection de l'environnement en Antarctique. Outre le contenu de ces dispositifs internationaux, nous décrirons comment ils fonctionnent actuellement, en insistant à la fois sur leurs intérêts et leurs limites. Les implications directes pour les chercheurs menant des travaux au sud du 60^{ème} parallèle sud seront évoquées.

Références

Frenot Y. (2007), L'Antarctique, terre de paix et de science. TDC, 942, 18-19.

Frenot Y. (2007), Régions polaires : quel enjeux ? Le Pommier / Cité des Sciences et de l'Industrie, n°29, 125 p

Destruction record d'ozone durant l'hiver arctique 2010/2011

■ (20 minutes)

F. Goutail, A. Pazmino, J. P. Pommereau

LATMOS **Laboratoire Atmosphères, Milieux, Observations Spatiales**, CNRS-UVSQ, Guyancourt, 11 Boulevard d'Alembert, France (florence.goutail@latmos.ipsl.fr)

Résumé

Les processus conduisant à une destruction massive et saisonnière d'ozone dans les régions polaires sont relativement bien compris. Des études scientifiques ont montré que la formation du trou d'ozone dans la stratosphère nécessite de très basses températures permettant la formation de nuages stratosphériques polaires (PSC), une masse d'air isolée (Vortex Polaire), une concentration importante de constituants halogénés et le rayonnement solaire. Deux étapes mènent à ce processus de destruction importante de l'ozone dans la stratosphère polaire : 1) une étape de pré-conditionnement en hiver, pendant la nuit polaire où l'activation de composés halogénés a lieu à la surface des PSC par des processus de chimie hétérogène, et 2) l'étape de destruction proprement dite, qui a lieu à la fin de l'hiver, lorsque le soleil est de nouveau présent et que les espèces halogénés sont capables de détruire l'ozone lors de cycles de destruction catalytiques. Il est maintenant important de bien quantifier la destruction d'une année à l'autre afin de détecter l'effet de la réduction des composés halogénés dans la stratosphère. La perte d'ozone en arctique à l'intérieur du vortex est estimée chaque année depuis 1994 en utilisant les observations d'ozone des spectromètres SAOZ déployés dans les régions arctiques à partir de la méthode dite « du traceur passif ». La perte est évaluée par différence entre un traceur passif d'ozone (sans chimie) d'un modèle chimie-transport (CTM) et les observations des SAOZ. En arctique, cette destruction est de l'ordre de 25% les années très froides et inférieure à 10% les années chaudes. En 2011, la perte d'ozone a atteint un record de l'ordre de 40% du à la persistance de températures très basses dans la stratosphère pendant le mois de mars avec une extension importante de nuages stratosphériques polaires et un vortex stable.

Utilisation de nouveaux marqueurs de banquise dans les écosystèmes polaires

■ (20 minutes)

A.Goutte¹, J. Etourneau¹, M. Eleaume², C.Ozouf², Y. Cherel³, M. Raccurt⁴ et G. Massé¹

¹LOCEAN/IPSL, Université Pierre et Marie Curie, 75005 Paris, France (aglod@locean-ipsl.upmc.fr)

²MNHN 57 rue Cuvier 75231 Paris cedex 05 France

³Centre d'Etudes Biologiques de Chizé, CNRS UPR 1934, 79360 Beauvoir sur Niort, France

⁴PICM, Université de Lyon 1, 43 bd du 11 novembre 1918, F-69622 Villeurbanne, France MP/LEGOS, Université Paul Sabatier, Toulouse, 31000, France

Résumé

Ce projet vise à développer de nouveaux marqueurs pour explorer le lien entre la glace de mer et les écosystèmes marins polaires. Un ensemble de molécules de type isoprénoïdes hautement ramifiées (HBIs) est en effet synthétisé par certaines diatomées. Alors que certaines espèces de diatomées associées à la glace de mer produisent un HBI di-insaturé (diène), d'autres présentes dans les populations de l'océan ouvert et en bordure de glace synthétisent des HBIs polyinsaturés (triène, tétraène et pentaène). Notre objectif est d'étudier le transfert de ces marqueurs depuis les producteurs primaires jusqu'aux maillons trophiques supérieurs. Nos premiers résultats montrent que ces marqueurs sont présents dans le krill, certaines espèces de poissons et d'oiseaux marins ainsi que dans les organismes benthiques. L'utilisation de ces marqueurs pourrait, à terme, contribuer à une meilleure compréhension de l'importance de la banquise sur l'ensemble de la chaîne trophique dans les régions côtières de l'Antarctique.

Introduction

Les régions polaires sont particulièrement sensibles au réchauffement climatique global. Dans ce contexte, étudier l'influence des conditions de glace sur les écosystèmes marins représente un enjeu capital. En effet, la banquise contrôle en grande partie différents facteurs (intensité lumineuse, oxygénation des eaux, salinité, nutriments,...), qui régissent la production primaire et par conséquent, l'ensemble du réseau trophique. En particulier, certaines espèces de diatomées qui sont à la base du réseau trophique sont directement associées à la couverture de glace ou aux conditions d'océan ouvert. Cependant, la contribution de ces deux types de production primaire aux maillons trophiques supérieurs est controversée (Budge et al. 2008 ; Smetacek and Nicol 2005 ; Smith et al. 2007) et reste à explorer. Cette étude vise donc à développer de nouveaux marqueurs de glace de mer afin de mieux comprendre le degré d'association de certaines espèces-clés de l'écosystème antarctique à la banquise.

Ces marqueurs font partie d'une classe de lipides synthétisés spécifiquement par certaines diatomées. En particulier, des espèces de diatomées qui se développent dans la glace de mer synthétisent des HBIs di-insaturés (diène à une double liaison), tandis que d'autres HBIs polyinsaturés (triènes, tétraènes et pentaènes à respectivement trois, quatre, cinq doubles liaisons) sont produits par d'autres espèces de diatomées évoluant dans l'océan ouvert et en bordure de glace (Massé et al. 2011). L'utilisation de ces nouveaux proxys dans les sédiments marins et les carottes de glace a notamment contribué à d'importantes avancées paléoclimatologiques et paléocéanographiques, aussi bien en Arctique qu'en Antarctique (Belt et al. 2007 ; Massé et al. 2008, 2011 ; Müller et al. 2009 ; Barbara et al. 2010). D'un point de vue écosystémique, il est envisageable que ces marqueurs soient transférés des diatomées jusqu'aux prédateurs supérieurs. Ainsi, l'abondance relative de diène par rapport aux autres HBIs polyinsaturés pourrait refléter la contribution de la production primaire issue des diatomées de banquise par rapport à celle du phytoplancton pélagique dans le réseau trophique antarctique. Le premier objectif de ce projet consiste donc à vérifier la présence de HBIs chez les principales espèces antarctiques et à déterminer leurs niveaux de concentration.

Les campagnes d'été 2009-2010 et 2010-2011 en Terre Adélie ont permis la récolte de spécimens appartenant aux espèces clés de l'écosystème marin Antarctique. Du krill (*Euphausia superba*, *E. crystallophias*), certaines espèces de poissons (*Pleuragramma antarcticum*, *Pagothenia borchgrevinkii*), et d'oiseaux marins (des poussins de manchots Adélie *Pygoscelis adeliae*, de 1 à 30 jours après l'éclosion et des œufs abandonnés de pétrels des neiges, *Pagodroma nivea*) ont été prélevés pour l'étude du réseau trophique pélagique. Pour le compartiment benthique, bivalves (*Laternula elliptica*), échinodermes (*Sterechinus* sp., *Abatus* sp., *Saliasterias brachiata*, *Odontaster validus*), németes (*Parbolasia corrugatus*), holothuries, polychètes, et poissons démersaux (*Notothenia coriiceps*) ont été récoltés. L'analyse des échantillons a ensuite été effectuée au laboratoire (LOCEAN, IPSL, Université Pierre et Marie Curie), afin de déterminer les concentrations relatives de chaque HBI.

Observations et résultats

Les premiers résultats montrent que les HBIs sont présents dans tous les organismes analysés, avec des abondances très variables, non seulement entre espèces, mais aussi entre individus. En particulier, l'abondance relative en diène est plus élevée chez les organismes benthiques (N = 63, mean \pm SE : 0.266 ± 0.029) que chez les pélagiques (N = 70, 0.078 ± 0.016 , N = 133, $\chi^2 = 49.418$, $p < 0.001$). Au niveau pélagique, le poisson *Pagothenia borchgrevinki* présente une abondance relative en diène plus élevée que les deux espèces de krill et les œufs de pétrels des neiges (t-tests pairés avec correction de Bonferroni, $p < 0.021$, Figure 1). Au cours de la croissance des poussins d'Adélie (1 à 30 jours après l'éclosion), l'abondance relative en diène tend à diminuer dans les contenus stomacaux et à augmenter dans le foie. Dans les autres tissus de manchot Adélie (muscles et tissus adipeux), les HBIs sont quasiment absents.

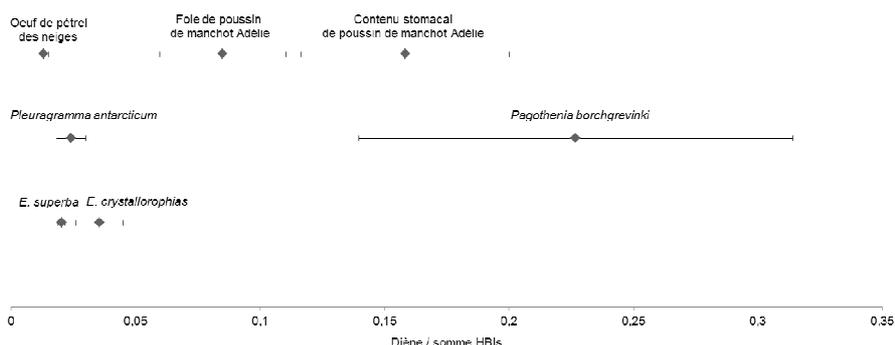


Figure 1 : Abondance relative de diène par rapport à la somme totale en HBIs dans le krill (*Euphausia superba* et *E. crystallophias*), poissons (*Pleuragramma antarcticum* et *Pagothenia borchgrevinki*) et oiseaux marins (œufs abandonnés de pétrels des neiges, *Pagodroma nivea*; contenus stomacaux et foies de poussins de manchots adélie, *Pygoscelis adeliae*)

Discussion et conclusion

Cette première étape du projet confirme le transfert des HBIs des producteurs primaires (diatomées de la glace et de l'océan ouvert) vers les prédateurs supérieurs. En particulier, la forte abondance relative de diène dans les organismes benthiques pourrait être expliquée par un transfert de la matière organique produite au sein de la banquise vers le sédiment (Brockington et al. 2001; Quijon et al. 2008). Ces résultats suggèrent également que le régime alimentaire des poussins d'Adélie est de moins en moins associé à la banquise, ce qui semble cohérent avec son retrait progressif au cours de la saison. Pour affiner ces interprétations, plusieurs paramètres seront à prendre en compte, tels que les taux d'assimilation et de dégradation des HBIs au sein des organismes, les lieux et dates de prélèvements... De plus, afin de calibrer ce nouvel outil, il sera nécessaire de combiner nos analyses à d'autres méthodes (isotopes stables, acides gras...) qui, bien qu'indirectement liées à la banquise, sont couramment utilisées pour l'étude des réseaux trophiques. Ces premiers résultats prometteurs montrent donc que l'utilisation de ces marqueurs de banquise pourrait contribuer à une meilleure compréhension de la contribution de la production primaire liée à la banquise et du phytoplancton pélagique pour les principales espèces des écosystèmes marins polaires.

Remerciements

Ce projet est soutenu financièrement par le Conseil Européen de la Recherche (ICEPROXY) et par l'Institut Polaire Français (programmes 1010 (IceLipids), 131 (OrnitoThermo), 109 (OrnithoEco)). Nous remercions les VCAT des différents programmes pour leur précieuse contribution à la collecte des échantillons sur le terrain, ainsi que Vincent Klein et Morgane Labadie pour leur aide technique au laboratoire.

Références

- Barbara et al. (2010) Deglacial environments in eastern Prydz Bay, East Antarctica, Quaternary Science Reviews 29, 2731-2740
- Belt et al. (2007) A novel chemical fossil of palaeo sea ice: IP25. Organic Geochemistry 38, 16-27
- Brockington et al. (2001) Seasonality of feeding and nutritional status during the austral winter in the Antarctic sea urchin *Sterechinus neumayeri*. Marine Biol. 139, 127-138
- Budge et al. (2008) Tracing carbon flow in an arctic marine food web using fatty acid-stable isotope analysis. Oecologia 157, 117-

- Quijon et al. (2008) The role of sinking phytodetritus in structuring shallow-water benthic communities. *J. of Exp. Marine Biol. and Ecol* 366, 134-145
- Massé et al. (2008) Abrupt climate changes for Iceland during the last millenium: evidence from high resolution sea ice reconstructions. *Earth and Planetary Science Letters* 269, 564-568
- Müller, J. et al (2009). Variability of seaice conditions in the FramStrait overthe past 30,000 years. *Nature Geoscience*, 2, 772-776.
- Quijon, P.A., Kelly, M.C., Snelgrove, P.V.R. 2008 The role of sinking phytodetritus in structuring shallow-water benthic communities. *J. of Exp. Marine Biol. and Ecol* 366, 134-145
- Massé, G. et al. (2011) Highly branched isoprenoids as proxies for variable sea ice conditions in the Southern Ocean. *Antarctic Science*, in press
- Smetacek and Nicol (2005) Polar ocean ecosystems in a changing world. *Nature* 437, 362-368
- Smith et al. (2007) Trophic interactions within the Ross Sea continental shelf ecosystem. *Phil. Trans. R. Soc. B* 362, 95-111

The way to a males heart is through his stomach: Reproductive strategies in Weddell seals

■ (10 minutes)

Prof Rob Harcourt

Graduate School of the Environment, Macquarie University, Sydney 2109 NSW

Abstract

In terrestrially breeding phocid seals males are significantly larger than females with large size conferring advantage in male-male competition, increasing their ability to fast during the breeding season, prolonging tenure and hence mating opportunities. For aquatically breeding seals, the opportunity to feed during the breeding season may offset the need for large size and the ability to fast. We measured individual differences in male breeding success, behaviour and mass changes for Weddell seals (*Leptonychotes weddellii*) at Turtle Rock, McMurdo Sound (77.727S, 166.85E). Paternity analysis was used in conjunction with measures of age, site fidelity and behaviour during the breeding season to assess variance in male breeding success. Paternity could be assigned to 177 pups at relaxed or 80% confidence level or 111 pups at strict or 95% confidence levels. Weddell seals at Turtle Rock show a modest degree of polygyny with the greatest number of pups sired by any individual male in a single season equalling 5, or ~10% of the pups born. Over four consecutive years most (89.2%) males sired at least one pup. In a GLM model, age, and the age first seen at the study site as an adult were unrelated to mating success but adult experience, either site-specific or elsewhere in McMurdo Sound over the reproductive lifespan of males explained nearly 40% of variance in total mating success with 80% confidence and 24% of variance at 95% confidence. Furthermore, males were tracked under the ice through each breeding season using an acoustic array (n=15). Mass changes were measured for 30 males all of which were successfully genotyped and were aged between 6 and 20 years (mean 13.7). Territory use was dynamic, with some males spending most of the time either at or near the surface, others diving deep and others switching from regular diving to near surface behaviour. Rate of mass loss varied more than three fold (mean 2.1 ± 0.53 kg / day, range 0.0 to 4.1) as did mass-specific loss (mean 0.53 ± 0.23). Maximum dive depth also varied dramatically (10 to 518 m) and was inversely related to the rate of mass-specific loss suggesting that the deep diving males may offset the costs of breeding by foraging. Foraging during the breeding season may be a male strategy to prolong tenure, but appears to be facultative rather than obligative.

Ecology of Weddell seals during winter: influence of ocean and sea-ice parameters on their foraging behaviour.

■ (10 minutes)

Heerah, K¹, Andrews-Goff, V², Williams, G³, Sultan, E¹, Hindell, M² and Charrassin J.B.*¹

1 LOCEAN – UMR 7159, Départements Milieux et Peuplements Aquatiques, Muséum National d'Histoire Naturelle, 43 rue Cuvier 75231 Paris Cedex 05, France.

2 Marine Predator Unit, Institute for Marine and Antarctic Studies, University of Tasmania, Private Bag 129, Hobart, Tasmania 7001, Australia.

3 LOCEAN - UMR 7159, Université Paris 6, 4 Place Jussieu, Paris, France (jbc@mnhn.fr)

Résumé

L'étude du comportement alimentaire des prédateurs marins permet d'obtenir des informations sur la manière dont ils interagissent avec leur environnement et la distribution de leurs proies. Nous avons étudié pour la première fois en Terre Adélie la stratégie alimentaire hivernale des phoques de Weddell (*Leptonychotes weddelli*), et ce en fonction des caractéristiques physiques de l'environnement (bathymétrie, hydrologie, glace de mer, luminosité). Un total de 8 phoques a été équipé de balises argos-CTD miniaturisées à Dumont d'Urville (~67°S, 140°E) au cours des hivers austraux 2007 et 2008. Les balises ont transmis les positions et les profils de plongée des animaux pendant 165 ± 86 jours, permettant d'acquérir des données sur 33000 plongées et 2500 profils hydrographiques collectées pendant les plongées. Nous avons utilisé des Modèles Linéaires à Effets Mixtes pour explorer les relations entre les paramètres comportementaux et environnementaux. Nous montrons que ces derniers affectent de manière significative le comportement de plongée et d'utilisation de l'habitat. Leur succès alimentaire (mesurée par les résidus du temps passé au fond des plongées) est meilleur sur des fonds peu profonds mais accidentés et lorsque la glace de mer est peu à moyennement concentrée. Les phoques de Weddell semblent privilégier l'Eau Circumpolaire Profonde Modifiée. Nos résultats sont en accord avec une alimentation à base de *Pleuragramma a.* dont ils semblent suivre les migrations nyctémérales.

Abstract

Studying the foraging strategies of marine top predators can provide information on both how animals interact with their environment and the movement patterns of their prey. We studied for the first time in Terre Adélie the influence of environmental abiotic parameters (bathymetry, hydrology, sea ice, light intensity), on the winter foraging strategy of Weddell seals (*Leptonychotes weddellii*). A total of 8 seals were fitted with conductivity temperature depth satellite relayed data logger in Dumont d'Urville (~67°S, 140°E) during the austral winters 2007 and 2008. The tags transmitted positions and dive information over 165 ± 86 days. A total of 33000 dive profiles and 2424 CTD profiles were collected. The relationships between behavioural and environmental parameters were studied using Linear Mixed Effects models. Significant environmental influences on seal diving behaviour and habitat use were detected. The foraging success (measured by dive bottom time residuals) was higher in relatively shallow waters with a high bathymetry gradient and within sea ice of low to medium concentration. Weddell seals tended to favour Modified Circumpolar Deep Water. Our results are consistent with seals feeding primarily on *Pleuragramma antarctica* during winter and tracking the vertical diel migrations of these prey.

L'intégration phénotypique et environnementale augmente avec l'endémisme des espèces végétales des îles Kerguelen.

■ (10 minutes)

M. Hermant¹, A. Prinzing¹, P. Vernon¹ & F. Hennion¹

¹Université de Rennes 1, UMR CNRS 6553 Ecobio, Av. du Général Leclerc, 35042 Rennes, France (marie.hermant@univ-rennes1.fr ; andreas.prinzing@univ-rennes1.fr ; philippe.vernon@univ-rennes1.fr ; francoise.hennion@univ-rennes1.fr)

Introduction

Pourquoi les espèces endémiques sont-elles géographiquement limitées ? Les interprétations écologiques actuelles suggèrent une spécialisation des espèces endémiques à des conditions environnementales particulières, notamment à des environnements stressants où la compétition interspécifique serait plus faible. Une telle spécialisation est supposée en raison de caractéristiques particulières des espèces endémiques : forte tolérance au stress, faible compétitivité, faible capacité de dispersion et/ou faible variabilité phénotypique. Cependant, chez les Végétaux, ces caractéristiques ne sont pas systématiquement observées, ce qui laisse à penser que d'autres processus pourraient intervenir dans l'endémisme. De plus, ces caractéristiques ne sont pas suffisantes pour démontrer une restriction de la gamme de phénotypes exprimés par les espèces endémiques, ou une restriction de leur valence écologique. Dans cette étude, nous testons l'hypothèse que les espèces endémiques sont plus limitées que les espèces à plus large distribution géographique : (i) dans leur expression phénotypique (forte intégration phénotypique, i.e. fortes corrélations entre les valeurs de traits exprimées par les individus d'une espèce), (ii) dans leur distribution environnementale (forte intégration environnementale, i.e. fortes corrélations entre les positions occupées par les individus d'une espèce le long de différents gradients abiotiques), et (iii) dans la relation phénotype - environnement (fortes corrélations entre les traits et les conditions abiotiques).

Observations et résultats

Nous mesurons la phénologie de la floraison, la taille des plantes (hauteur, diamètre et longueur de la plus grande feuille) et la distribution le long de trois types de gradients abiotiques (altitude, humidité du sol et conductivité du sol) chez quatorze espèces de plantes vasculaires d'un archipel subantarctique, les îles Kerguelen. Un niveau d'endémisme est attribué à chacune des espèces selon sa distribution biogéographique, de l'endémisme plus ou moins strict (restriction à une ou quelques îles) à la distribution cosmopolite (large distribution géographique). Nous observons une distribution plus restreinte des espèces endémiques sur certains gradients abiotiques (les espèces endémiques se trouvent dans des gammes d'altitude plus élevées et plus étroites, ainsi que sur des sols de plus faible conductivité), mais nos résultats mettent en évidence que la valeur moyenne et la variabilité des traits ne dépendent pas du niveau d'endémisme des espèces. Pour chaque espèce, nous estimons alors le degré d'intégration phénotypique par le pourcentage de variance capturée par le premier axe d'une ACP à travers tous les traits. Nous estimons également le degré d'intégration environnementale par le pourcentage de variance capturée par le premier axe d'une ACP à travers les positions occupées par l'espèce le long des trois gradients abiotiques. Nous trouvons que l'intégration phénotypique et l'intégration environnementale augmentent avec le niveau d'endémisme des espèces. Enfin, la force des corrélations entre les traits et les variables abiotiques augmente avec le niveau d'endémisme des espèces.

Conclusion

Nos résultats suggèrent que plus les espèces sont intégrées dans leur phénotype, dans leur distribution environnementale et dans la relation phénotype - environnement, plus leur distribution géographique est réduite. La mise en évidence de ces caractéristiques chez les espèces végétales endémiques fournit une nouvelle interprétation de la sensibilité élevée des espèces endémiques des îles subantarctiques aux variations climatiques.

Remerciements

Nous remercions l'Institut Polaire Français Paul-Emile Victor pour le support financier et logistique du programme 136 (responsable Marc Lebouvier). Nous remercions également les hivernants Hélène Demeringo, Quiterie Duron, Alexia Garnier et Marine Pascal, pour leur aide sur le terrain et au laboratoire. MH était financée par une bourse de thèse du Ministère de la Recherche et de l'Éducation (France).

Foraging habitats of top predators, and Areas of Ecological Significance on the Kerguelen Plateau.

■ (10 minutes)

Mark A. Hindell*, Charlie Bost, Jean-Benoit Charrassin, Nick Gales, Simon Goldsworthy, Mary-Anne Lea, Malcolm O'Toole, Christophe Guinet

*Marine Predator Unit Institute of Marine and Antarctic Studies University of Tasmania, Private Bag 129, Hobart, TAS 7001, Australia

Abstract

Avian and mammalian predators play a key role in the ecosystem of the Kerguelen Plateau, both with respect to structuring the marine community and its response to anthropogenic influences such as climate change and commercial fisheries. A powerful way of identifying regions that are particularly important ecologically is to identify Areas of Ecological Significance (AES), regions that are utilized by multiple predator species. Such concentrations of foraging activity are indicative of enhanced primary and/or secondary productivity. These are regions that require particular management efforts, and which are of considerable importance in the development of ecological models and climate monitoring systems. This study integrates tracking and diving data from a suite of predator species collected as part of both the French and Australian Antarctic programs. Data were used from Macaroni and King Penguins, Southern Elephant seals, Antarctic fur seals and Black-browed albatross from Isles Kerguelen and Heard Island. The estimated path of each animal was derived using State-Space Models, which also allocated each location to either “transit” or “search” behavioural modes. For diving species, dive depth data were temporally allocated along the path, providing information on 3 dimensional habitat use. AES for each species, and for the combined suite of predators were identified using Kernel Density analysis. The role of bathymetry, ocean circulation and other environmental factors underlying the AESs were established using deterministic models, which can be used to predict predator foraging habitats across the entire plateau.

Vulnérabilité des communautés natives face aux insectes invasifs et au changement climatique dans les îles sub-antarctiques

■ (20 minutes)

Maurice Hullé¹, Marc Lebouvier², Mathieu Laparie³, Armelle Marais⁴, Yann Cozic¹, Lisa Lalouette⁵, Philippe Vernon², Thierry Candresse⁴, Yves Frenot⁶, David Renault³

¹INRA, UMR BiO3P, Rennes, 35650, France (maurice.hulle@rennes.inra.fr)

²UMR CNRS 6553 Ecobio, Université de Rennes 1, Paimpont, 35380, France

³UMR CNRS 6553 Ecobio, Université de Rennes 1, Rennes, 35042, France

⁴UMR BFP 1332, INRA, Université de Bordeaux, Villenave d'Ornon, 33883, France

⁵UMR CNRS 5023, Université Claude Bernard—Lyon 1, Villeurbanne, 69622, France

⁶IPEV, Plouzané, 29280, France

Introduction

Avant leur découverte à la fin du 18^{ème} siècle et jusqu'à leur fréquentation assidue depuis le 20^{ème} siècle, les écosystèmes sub-antarctiques comportaient un petit nombre de plantes et d'insectes. Les insectes étaient pour l'essentiel des décomposeurs de la matière organique morte, végétale ou animale. Les plantes et les insectes introduits récemment ont considérablement modifié les communautés natives. Ainsi 69 plantes et 30 invertébrés ont été introduits à Kerguelen doublant voire triplant le nombre d'espèces (Frenot et al., 2005). Parmi les insectes introduits, on compte des prédateurs et des phytophages qui ont sensiblement changé les équilibres biologiques originaux puisque ces groupes fonctionnels sont très peu représentés dans la faune autochtone. Parmi ces espèces nouvelles, certaines sont responsables d'invasions biologiques aux conséquences incomplètement décrites. Le programme ANR EVINCE cherche à évaluer l'impact de ces introductions d'invertébrés sur les communautés natives des îles sub-antarctiques (Lebouvier et al., 2011). Il s'appuie sur le programme IPEV 136 « Ecobio » avec le soutien de la Zone Atelier de recherche sur l'environnement antarctique et subantarctique (CNRS, INEE). Il comporte trois volets d'étude: 1) scénarios d'introduction et de dispersion des espèces invasives, 2) rôle des changements climatiques sur la biologie et la démographie de ces espèces et 3) vulnérabilité des communautés natives face à ces invasions. Le milieu considéré est l'archipel de Kerguelen et les espèces retenues pour cette étude sont un prédateur, le coléoptère *Merizodus soledadinus*, un insecte phytophage, le puceron *Myzus ascalonicus* et un insecte détritivore, la mouche *Calliphora vicina*. Nous donnons ici quelques uns des résultats acquis dans ce programme.

Observations et résultats

Dispersion des espèces invasives

Le coléoptère, non volant, *Merizodus soledadinus* a été probablement introduit en 1913 sur la ferme de Port-Couvreux lors de l'importation de moutons et fourrage en provenance des Falkland. Observé pour la première fois en 1939 sur le site de Port Couvreux, il a ensuite colonisé toute la Péninsule Courbet et le Golfe du Morbihan à une vitesse de quelques km par an. *M. soledadinus* montre une faible diversité génétique (Lalouette et al., 2009) dont l'analyse permet de décrire les routes empruntées par l'insecte et de mettre en évidence le rôle des déplacements humains sur l'archipel dans la dispersion de l'espèce. Le puceron *Myzus ascalonicus* est actuellement l'un des invertébrés les plus invasifs de Kerguelen. Il a été trouvé partout où il a été cherché y compris dans l'ouest (Péninsule Rallier du Baty) et l'extrême nord de la Péninsule Loranchet. Il occupe une répartition plutôt littorale et ne dépasse guère l'altitude de 100m.

Impact des espèces invasives

M. ascalonicus est une espèce polyphage qui a colonisé 29 plantes différentes dont 6 plantes natives (Hullé et al., 2003). En conditions de laboratoire, l'espèce se nourrit préférentiellement sur les plantes natives, montrant des développements de 2 à 10 fois plus importants que sur plantes introduites selon les plantes hôtes et les conditions de température. La température minimale permettant un développement de l'espèce est de l'ordre de 3,4°C. En deçà, les individus survivent mais ne se multiplient pas. Une faible augmentation de température moyenne de l'ordre de 0,5°C (ordre de grandeur de l'augmentation récente des températures à Kerguelen) peut permettre une multiplication très importante des populations.

Dans la nature, le taux de colonisation des plantes est important pouvant atteindre 100% dans certains secteurs de l'archipel. Par exemple, début 2011, 70% des choux de Kerguelen visités sur l'île Australia étaient colonisés. De même 79% des *Acaena* observées à l'île Verte étaient infestées et 35% montraient des symptômes visibles de dégâts.

En se nourrissant de la sève des plantes, les pucerons peuvent transmettre des virus causant des maladies. Une recherche à grande échelle de virus de plantes a été entreprise dans le cadre d'EVINCE. Les premiers résultats indiquent la

présence de virus bien connus comme le *Barley yellow dwarf virus* (BYDV) and le *Cucumber mosaic virus* (CMV) et aussi de virus nouveaux. Les virus déjà connus ont été observés dans des plantes introduites, mais aussi, dans le cas du BYDV, dans la graminée native *Poa cookii*. Les virus nouveaux ont surtout été observés dans les plantes natives comme l' *Acaena* et l' *Azorelle*. Le BYDV est transmis obligatoirement par puceron. L'un de ces principaux vecteurs, le puceron *Rhopalosiphum padi* est aussi présent à Kerguelen et colonise aussi bien des graminées introduites que des espèces natives comme le *P. cookii*, suggérant ainsi qu'il aurait joué un rôle dans l'infestation des plantes natives. Le CMV peut être transmis par le puceron *M. ascalonicus* mais aussi par la graine. A Kerguelen, en utilisant les plantes et le puceron récoltés localement, nous avons réussi en conditions de laboratoire à transmettre le CMV d'une plante source, le trèfle, à une plante cible, le Sénéçon, montrant ainsi que la transmission du virus par les pucerons est possible dans les conditions de Kerguelen. Du fait de sa gamme d'hôtes très large, le CMV a un potentiel invasif très important qu'il conviendra de suivre.

Discussion et conclusion

Les résultats présentés ici sont très partiels. Le programme EVINCE a permis une évaluation de l'impact des espèces introduites et plus particulièrement des espèces invasives mettant également en évidence le rôle du réchauffement climatique actuel qui favorise l'expansion de ces espèces. Les travaux en cours sur le régime alimentaire de *M. soledadinus* et sur les interactions compétitives entre détritivores introduits (*C. vicina*) et natifs (*Anatalanta aptera*) viendront compléter cette évaluation.

Remerciements

Outre le financement ANR, ces recherches nécessitent l'appui de l'IPEV via le programme 136 Ecobio et la Zone Atelier de recherche sur l'environnement antarctique et subantarctique (CNRS, INEE) et s'appuient sur les travaux d'un grand nombre de personnels, techniciens, étudiants, CDD, VCAT.

Références

- Frenot Y., Chown S.L., Whinam J., Selkirk P., Convey P., Skotnicki M. and D. Bergstrom, (2005), Biological invasions in the Antarctic: extent, impacts and implications. *Biological Reviews*, 80, 45-72.
- Hullé M., Pannetier D., Simon J.C., Vernon P., and Y.Frenot, (2003), Aphids (Hemiptera: Aphididae) of subantarctic Îles Crozet and Kerguelen: species diversity, host range and spatial distribution. *Antarctic Science* 15(2), 203-209
- Lalouette L., Kaufmann B., Konecny L., Renault D., and C.J. Douady, (2009), Characterization and PCR multiplexing of 14 new polymorphic microsatellite loci for the invasive subantarctic carabid *Merizodus soledadinus* (Coleoptera: Carabidae) *Conservation Genetic Resources*, 1, 455-458
- Lebouvier M., Laparie M., Hullé M., Marais A., Cozic Y., Lalouette L., Vernon P., Candresse T., Frenot Y., and D. Renault, (2011), The significance of the sub-Antarctic Kerguelen Islands to assess the vulnerability of native communities to climate change, alien insect invasions and plant viruses. *Biological Invasions*, DOI 10.1007/s10530-011-9946-5

Présentation des régimes hydrographiques identifiés en été sur le plateau Antarctique en Terre Adélie dans le cadre du projet ALBION

■ (20 minutes)

M. Lacarra¹, M-N. Houssais¹, E. Sultan¹, C. Herbaut¹

¹LOCEAN/IPSL, Université Pierre et Marie Curie, MNHN, Paris, 75005, France (Maite.Lacarra@locean-ipsl.upmc.fr)

Résumé

Depuis 2007, dans le cadre du projet ALBION, une campagne océanographique a lieu tous les étés sur le plateau Antarctique en Terre Adélie pour étudier la formation d'eau dense à l'aide de mesures CTD (Conductivity, Temperature, Depth) et des lignes de mouillage. Ces observations sont uniques, elles permettent de décrire la distribution des masses d'eau dans la dépression Adélie. Dans cette région, les eaux denses du plateau se forment chaque année au niveau de la polynie côtière et s'exportent à travers le seuil Adélie afin de former l'Antarctic Bottom Water du bassin Australo-Antarctique. Dans un premier temps, à travers un court-métrage intitulé "Le Petit Manchot", présenté au festival Les Chercheurs Font Leur Cinéma en 2010, nous expliquerons l'importance de cette région dans la circulation thermohaline. Dans un deuxième temps, nous présenterons les 7 régimes hydrographiques identifiés en été ainsi que leur variabilité interannuelle.

Antarctic adaptive radiations: The Trematominae (Notothenioidei, Teleostei)

■ (5 minutes)

A.-C. Lautrédou¹, C. Gallut¹, C. Cheng², C. Cruaud³, G. Lecointre¹, A. Dettai¹,

¹Equipe Phylogénie, UMR7138, Département Systématique et Evolution, MNHN, 75005 Paris (adettai@mnhn.fr, lecointr@mnhn.fr, ozouf@mnhn.fr)

²Department of Animal Biology, University of Illinois, Urbana, IL 61801, USA (c-cheng@illinois.edu HYPERLINK "mailto:c-cheng@uiuc.edu" c-cheng@illinois.edu)

³Génoscope. Centre National de Séquençage. 2, rue Gaston Crémieux, CP5706, 91057 Evry cedex, France. (cruaud@genoscope.cns.fr)

Résumé

Plusieurs études ont proposé que la radiation adaptative du sous-ordre des Notothenioidei (Téléostéens endémiques de l'Océan Austral) est comparable aux bouffées d'espèces observées chez les téléostéens des lacs africains et sibériens. Les mécanismes évolutifs et la biogéographie de la sous-famille des Trematominae, qui occupent un grand nombre de niches écologiques, s'avèrent très intéressants à étudier. Ceux-ci comprennent 13 ou 14 espèces selon les études. Bien que la phylogénie moléculaire de cette sous-famille ait été largement analysée, les marqueurs moléculaires utilisés n'ont pu donner de réponse définitive ni sur la présence d'une radiation évolutive, ni éclaircir les relations entre espèces. Nous présentons ici une étude basée sur des marqueurs nucléaires et mitochondriaux multiples.

Abstract

Several studies have argued that the adaptive radiation of the suborder Notothenioidei (endemic teleosts of the Southern Ocean) is comparable to the Siberian and African rift lakes species flocks (Eastman & McCune 2000). Evolutionary mechanisms and biogeography of the subfamily Trematominae, which occupy a large range of ecological niches (see Causse et al., in press for the most recent corroboration), are particularly interesting. The genus *Trematomus* contains eleven species and forms a monophyletic group when including the two species *Pagothenia borchgrevinki* and *P. brachysoma*. Moreover, a recently described species, *Cryothernia amphitrete*, appears to also belong to this clade, and there are doubts on whether *T. lepidorhinus* is a distinct evolutionary unit from *T. loennbergii* (Lautrédou et al. 2010).

Although the fourteen species of Trematominae are well studied, their inter-relationships are still unclear (Lautrédou et al. 2010). Several recent molecular phylogenetic studies gave contradictory and unstable results (Kuhn and Near 2010, Janko et al. 2011), due to a low number of insufficiently variable markers, as well as probable incomplete lineage sorting problems. The only repeated results place *T. scotti* as the most divergent species and *T. loennbergii* and *T. lepidorhinus* as a single, mixed species clade. We present here an analysis of multiple nuclear and a mitochondrial marker with several approaches to get a better insight of the complex history of this possible recent radiation.

Remerciements

We thank the crew and participants of the cruises involved in the capture of the samples, and especially the chief scientists of the CAML-CEAMARC cruises. The CAML-CEAMARC cruises of RSV *Aurora Australis* and TRV *Umitaka Maru* (IPY project n°53) were supported by the Australian Antarctic Division, the Japanese Science Foundation, the French polar institute IPEV (ICOTA and REVOLTA programs), the CNRS, the MNHN and the ANR (White Project ANTFLOCKS USAR n°07-BLAN-0213-01 directed by Guillaume Lecointre). This project is a contribution to the EBA-SCAR program. This work was supported by the „Consortium National de Recherche en Génomique, and the Service de Systématique Moléculaire of the Muséum national d'Histoire naturelle (IFR 101). It is part of the agreement number 2005/67 between the Genoscope and the MNHN on the project „Macrophylogeny of life,, directed by G. Lecointre.

Références

- Causse, R., Ozouf-Costaz, C., Koubbi, P., Lamy, D., Eléaume, M., Dettai, A., Duhamel, G., Iglesias, S., Busson, F., Pruvost, P., Post, A., Beaman, R.J., Riddle, M.J. (In Press, available online). Demersal ichthyofauna from the Dumont d'Urville Sea (East Antarctica) during the CEAMARC surveys in 2007-2008. *Polar Science*
- Eastman, J. T. and A. R. McCune. (2000). Fishes on the Antarctic continental shelf: Evolution of marine species flocks? *Journal of Fish Biology* 57:84-102.
- Janko, K., Marshall, C., Musilova Z., Houdt, J.V., Couloux, A., Cruaud, C., Lecointre, G. (in press). Multilocus analyses of an Antarctic fish species flock (Teleostei, Notothenioidei, Trematominae): Phylogenetic approach and test of the early-radiation event. *Molecular Phylogenetics and Evolution*.
- Kuhn, K.L. and Near, T.J. (2010). Phylogeny of *Trematomus* (Notothenioidei: Nototheniidae) inferred from mitochondrial and nuclear

gene sequences *Antarct. Sci.*

Lautredou, A.-C., Bonillo, C., Denys, G., Cruaud, C., Lecointre, G., and Dettai, A. (2010). Molecular taxonomy and identification of genus *Trematomus* (Notothenioidei, Teleostei): How good is barcoding with COI ? *Polar Science* 4(2):1-20.

Le Centre Européen pour l'Arctique (UVSQ/OVSQ, France): Une approche pluridisciplinaire de l'Arctique dans la recherche et l'enseignement.

■ (10 minutes)

A. Lavrillier

Centre européen arctique, Université Versailles Saint Quentin en Yvelines

Résumé

Cette intervention présentera d'abord le CEARC (Centre Européen pour l'Arctique) de l'Observatoire Versailles Saint Quentin en Yvelines à l'Université de Versailles Saint Quentin en Yvelines, ses recherches et la formation proposée dans le cadre des masters "Arctic Studies". Enfin, à titre d'exemple de recherches menées au CEARC, l'auteur présentera son approche en anthropologie sociale des conséquences économiques et religieuses engendrées par le changement climatique chez les Toungouses éleveurs de rennes en Sibérie.

Kerguelen and Saint Paul hot springs: hot spots of microbial diversity in a very remote subantarctic area

■ (20 minutes)

M. Le Romancer¹, A. Gramain¹, F. Brillet¹, S. Dupont¹, C. Renac², B. Moine², D. Guillaume³, G. Sarragoni⁴, P. Le Chevalier⁵, J.L. Birrien¹

¹IUEM, Université de Bretagne Occidentale, UMR6197, Laboratoire de Microbiologie des Environnements Extrêmes, Technopole Brest Iroise, Avenue Dumont D'Urville, 29280 Plouzané, France (marc.leromancer@univ-brest.fr)

²Département de géologie, Université Jean Monnet, UMR6524, 23 rue du docteur P. Michelon, 42023 ST Etienne, France (Christophe.Renac@univ-st-etienne.fr; Bertrand.Moine@univ-st-etienne.fr)

³Université de Toulouse, UPS (SVT-OMP), GET UMR5563, 14 Avenue Edouard Belin, F-31400 Toulouse, France (damien.guillaume@get.obs-mip.fr)

⁴Université de Perpignan, UMR5244, Via Domitia, 66860 Perpignan, France (saragoni@univ-perp.fr)

⁵Laboratoire Universitaire de Biologie et d'Ecologie Microbienne, Université de Bretagne Occidentale, 6 rue de l'Université, 29334 Quimper, France (lecheval@univ-brest.fr)

Introduction

Si la majorité des sites géothermiques étudiés à ce jour se situe dans l'hémisphère nord, l'hémisphère sud abrite aussi de tels écosystèmes, y compris en zone polaire. Les Terres australes françaises -Saint Paul et Kerguelen- totalement isolées au milieu d'immenses masses océaniques, tout comme le continent Antarctique -Mont Erebus, île de la Déception,...- sont le siège d'activités géothermiques résiduelles.

Dans le domaine de la microbiologie, la connaissance de la diversité des communautés microbiennes hyper/thermophiles dans ces environnements polaires est tout à fait primaire et celle des sources chaudes des îles Saint Paul et Kerguelen reste à ce jour totalement inexplorée.

Cette diversité est-elle similaire de celle rencontrée dans d'autres sites géothermiques terrestres ? Existe-t-il des similitudes entre les communautés microbiennes présentes dans les sources chaudes de ces deux îles australes ? Et avec celles des sites géothermiques du continent Antarctique ? Ces communautés présentent-elles des homologies avec celles qui peuplent les sources hydrothermales océaniques profondes ? Quelles peuvent être les voies de dissémination de ces microorganismes ?

Ce sont autant de questions auxquelles le programme IPEV n°408 HOTVIR, mené en étroite collaboration avec les géologues et géochimistes du programme IPEV n° 444 DYLIOKER, a tenté d'apporter des réponses.

Résultats

Les différentes missions organisées entre 2005 et 2010 sur les sites de Rallier du Baty, Val Travers à Kerguelen (49°30'S 69°30'E) et à l'intérieur du cratère immergé de l'île Saint Paul (38°43'S 77°32'E) ont permis de dresser l'inventaire d'une partie des sources chaudes terrestres et sous-marines présentes dans les terres australes françaises. En collaboration avec les géochimistes du programme DYLIOKER, les caractéristiques géochimiques (température, pH, conductivité, salinité, composition en ions, en gaz dissous) ont pu être établies montrant une grande diversité chimique des systèmes hydrothermaux. Les sources sont caractérisées par des températures comprises entre 30°C et 100°C, les sources sous-marines de Saint Paul ressortant à plus de 80°C à une profondeur de 7m, avec des pH variant de 3,5 à 10 et révélant même l'origine probablement marine des sources chaudes du plateau de Fumerolles, au sud-ouest de Kerguelen, sur la péninsule Rallier du Baty.

Ces sources chaudes, en particulier celles dont la température excède 60°C, représentent des écosystèmes très singuliers hébergeant des communautés microbiennes extrémophiles constituées de microorganismes hyper/thermophiles appartenant aux deux grands domaines *Bacteria* et *Archaea*. Des approches combinées d'analyses moléculaires (DGGE ; banques de clones ADN_r16S) et culturelles (cultures à haute température, en aérobiose et anaérobiose), ont permis de révéler les populations dominantes et d'isoler un certain nombre d'espèces, pour certaines nouvelles, dans ces sources. Les populations détectées indiquent une composition des communautés des sources de Kerguelen différente de celles de Saint-Paul, notamment pour les bactéries. Ainsi les Thermales, typiques des sources chaudes terrestres, sont présentes dans la majorité des sources de Kerguelen mais rares à Saint-Paul. Les séquences bactériennes d'ADN_r 16S obtenues ont pour représentants les plus proches dans les banques de données internationales des séquences issues de sources chaudes terrestres d'Islande, du Japon, de Nouvelle-Zélande, et de façon plus surprenante, de sources hydrothermales océaniques pour des séquences de Saint-Paul affiliées aux CFB (Okinawa -Japon), et également d'Antarctique (Mont Melbourne). Les archées mises en évidence appartiennent majoritairement à des groupes

d'hyperthermophiles du phylum des Crenarchaeota qui contient comme unique groupe taxinomique la classe des Thermoprotei. Si quelques séquences ont pu être affiliées aux ordres des Desulfurococcales et des Thermoproteales, la grande majorité appartient à des archées non classifiées et qui, d'après les distances phylogénétiques obtenues, représenteraient de nouveaux ordres. Quelques rares taxons appartenant au phylum des Euryarchaeota (Thermoplasmatales, Methanococcales) ont été également détectés. Les séquences les plus proches de celles identifiées dans les sources chaudes et les fumerolles de Kerguelen sont majoritairement issues de sources géothermales terrestres, notamment de Yellowstone aux USA, d'Islande, ou encore de Nouvelle Zélande alors que les archées présentes dans les sources chaudes marines et côtières de Saint-Paul sont, au contraire, proches de représentants colonisant les sources hydrothermales océaniques mais également issus d'environnements froids comme la Fosse des Mariannes ou encore d'écosystèmes polaires. L'analyse moléculaire montre surtout qu'une très forte majorité de séquences identifiées n'a aucun proche représentant cultivé et correspondent à autant de nouveaux taxons procaryotiques qui n'ont, à l'heure actuelle, jamais été décrits.

Nous avons réussi à cultiver un certain nombre d'isolats thermophiles originaux représentant pour certains de nouvelles espèces. La bactérie thermophile *Caldiclava thermospodii* gen. nov., sp. nov., isolée d'une source chaude de Saint Paul, ouvre un nouveau genre. La bactérie thermophile *Geobacillus stearothermophilus*, également isolée à Saint Paul, présente des caractéristiques tout à fait originales en fossilisation expérimentale, ce qui ouvre des perspectives dans la recherche de traces de vie primitive dans les roches anciennes, les météorites ou encore dans la recherche de signatures microbiennes au niveau des exoplanètes. De son côté, *Marinitoga litoralis* sp. nov., est la première espèce du genre *Marinitoga* isolée dans une source côtière (également à Saint Paul) et non dans les sources hydrothermales profondes comme *M. piezophila*, représentant piezophile du genre. L'analyse comparative des génomes complets de ces deux dernières espèces, complétée par des études de transcriptomique, ouvre des perspectives pour la compréhension des mécanismes physiologiques et moléculaires qui permettent à ces microorganismes de vivre sous des contraintes de pression fortes. La découverte d'un nouveau représentant de ce genre dans une source côtière pose aussi la question de l'existence de voies souterraines de communication entre les sources hydrothermales profondes et les systèmes géothermiques côtiers, qui pourraient alors représenter autant de fenêtres ouvertes sur la biosphère souterraine profonde.

Les analyses réalisées sur les vapeurs émanant des sources chaudes comme sur les fumerolles crachées par les steamers à Rallier du Baty révèlent la présence de signatures moléculaires de microorganismes hyperthermophiles, une minorité étant identiques à celles détectées dans les sources chaudes, d'autres au contraire étant phylogénétiquement distantes de tout organisme cultivé et parfois même d'incultivés. Ceci suggère que ces signatures appartiennent à de nouvelles espèces, de nouveaux genres et également à de nouveaux ordres. Certaines de ces signatures sont également détectées aussi bien dans l'air froid environnant que dans le sol à proximité des zones à activité géothermique. Ceci suggère que ces microorganismes extrêmophiles sont très probablement activement disséminés dans l'atmosphère par les vapeurs fumerolliennes sous la forme d'aérosols et qu'ils sont vraisemblablement capables de survivre dans les sols froids et potentiellement aptes à coloniser de nouveaux biotopes pour peu que les conditions environnementales deviennent favorables.

Conclusion

Les sites géothermiques des Terres australes françaises, Kerguelen et Saint Paul, représentent des points chauds de la biodiversité des microorganismes extrêmophiles. En raison de leur isolement géographique et de l'absence quasi-totale d'activité humaine, les écosystèmes chauds de ces îles abritent des populations de microorganismes hyper/thermophiles constituées de nombreux taxons totalement nouveaux qui restent à isoler et à décrire. Les sources géothermales des îles Kerguelen et Saint-Paul présentent des conditions de vie extrêmes qui font des microorganismes qui y vivent des candidats idéaux pour la recherche d'enzymes d'intérêt industriel. L'obtention de souches en culture permettra d'accéder à leur potentiel biotechnologique. L'un des acquis majeurs de cette étude réside dans la découverte que les microorganismes mis en évidence dans les sources côtières à Saint-Paul sont principalement affiliés à des souches d'origine hydrothermale océanique profonde. L'île Saint Paul pourrait ainsi représenter un écosystème relais, similaire à celui des sources hydrothermales profondes de la ride Indienne, mais plus accessible. Une découverte qui ouvre également toute une série de questions quant à l'existence de voies souterraines de communication entre ces sources hydrothermales profondes et les systèmes géothermiques côtiers, sources qui pourraient alors représenter des fenêtres ouvertes sur les communautés microbiennes cachées dans les entrailles de biosphère profonde.

Remerciements

Les équipes des programmes IPEV 408 et 444 remercient tout particulièrement Henri Perau, qui, par la mise en place d'une logistique irréprochable sur les sites difficilement accessibles de la côte ouest de Kerguelen, a permis le bon déroulement des missions successives des programmes HOTVIR et DYLIOKER. A. Gramain a bénéficié d'une bourse post doctorale du CNRS (INEE) et d'une aide « accueil post doctorant » du Conseil Général du Finistère.

Chronique d'une invasion par la truite commune d'un milieu vierge subantarctique : l'introduction des salmonidés aux Kerguelen

■ (20 minutes)

F. Lecomte¹ 2, E. Beall¹, P. Gaudin¹

¹INRA-UPPA, UMR ECOBIOP, Pôle d'Hydrobiologie, quartier Ibarron, 64310 Saint-Pée-sur-Nivelle (beall@st-pee.inra.fr; gaudin@st-pee.inra.fr)

²Service de la faune aquatique, Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec 880, chemin Sainte-Foy, Québec, Canada G1S 4X4 (Frederic.Lecomte@mrnf.gouv.qc.ca)

Résumé

A partir des années 1950, différentes espèces de salmonidés ont été introduites avec plus ou moins de succès dans les îles Kerguelen, un archipel initialement vierge de tout poisson d'eau douce. Nous établissons ici une chronique complète et non biaisée de ces introductions à partir des archives disponibles en utilisant une méthode rigoureuse et répétable, dans le but de comprendre quelques unes des causes de l'échec ou du succès des différentes espèces. L'histoire est bien plus complexe que ce qui a été publié jusqu'à présent. Des souches de différentes origines ont été utilisées, de nombreuses tentatives effectuées sur des sites variés avec des effectifs très variables d'individus à des stades divers de développement. Entre 1951 et 1991, 22 essais d'introduction concernant près de 2 millions de sujets ont eu lieu. Sur les 8 espèces importées (*Salmo trutta*, *S. salar*, *Oncorhynchus mykiss*, *O. tshawytscha*, *O. kisutch*, *Salvelinus namaycush*, *S. fontinalis* et *S. alpinus*), 3 ne s'établirent pas (*O. mykiss*, *O. tshawytscha* et *S. namaycush*). Globalement, 23 bassins ont étéensemencés. Actuellement, 45 bassins sont peuplés par une ou plusieurs espèces. *S. trutta*, *S. fontinalis*, *S. fontinalis* et *O. kisutch* ont été capables de coloniser de nouveaux habitats, mais seule la truite commune *S. trutta* a envahi un nombre important de bassins (27 en moins de 10 générations). Son succès peut s'expliquer par la diversité des origines, le nombre et l'importance des essais d'introduction et de transfert, la diversité des sites de lâcher et les particularités de son cycle vital.

Dynamics and calving of the Mertz Glacier ice tongue, East Antarctica.

■ (10 minutes)

L. Lescarmonier^{1,2}, B. Legrésy^{1,2}, L. Testut¹, R. Coleman² and C. Mayet¹

¹LEGOS,(CNRS-Univ. Toulouse-CNES-IRD), Toulouse, 31400 France (Lydie.lescarmonier@legos.obs-mip.fr)

²ACE-CRC, Univ. Tasmania, Hobart 7001, Australia

Résumé

Le projet CRACICE entend étudier et suivre le vèlage de grands icebergs des plateformes et langue de glace antarctique. Le projet s'est notamment attaché au suivi du glacier Mertz. Le projet inclus de multiples aspects et notamment des balises GPS ont été installées sur le glacier et un suivi par imagerie spatiale permettent de mieux comprendre l'évolution de des crevasses qui a mené au vèlage majeur de février 2010. Les traitements GPS précis développés au CNES nous permettent d'atteindre des signaux de vibration de la langue de glace en réponse aux ondes océaniques. En complément des observations, nous avons développé un modèle barotrope régional adapté à l'étude du vèlage qui permet de mieux voir l'influence des courants qui agissent mécaniquement sur la langue de glace et l'interaction des icebergs géants avec les courants de par leurs effets bathymétriques. Nous présentons les résultats de ces études et décrivons les étapes du vèlage.

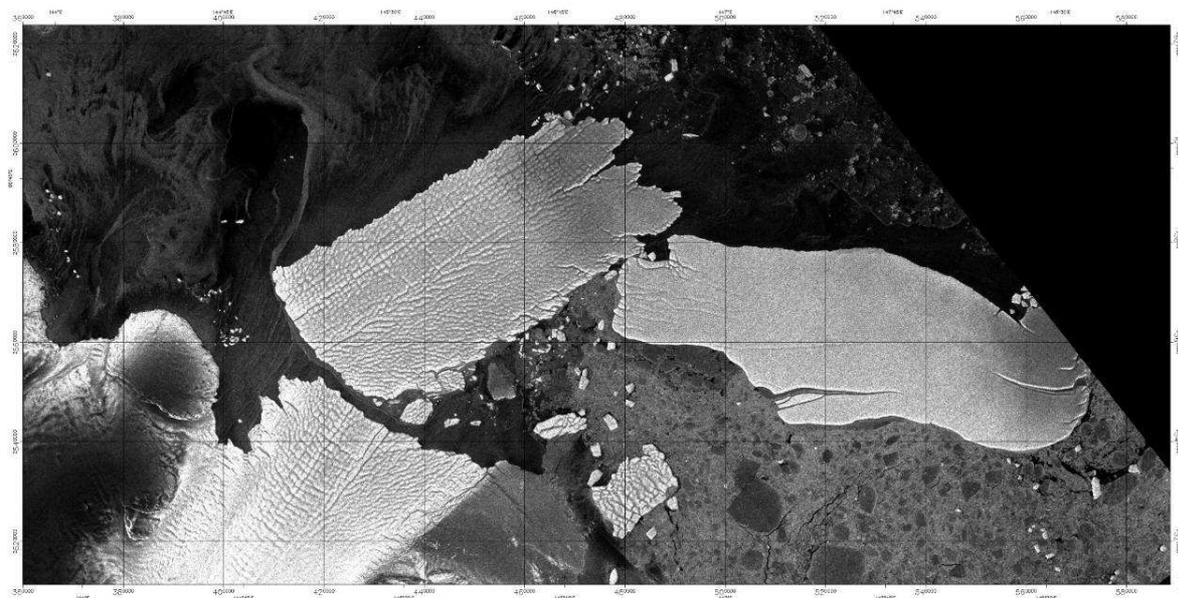


Figure : image ENVISAT-ASAR (©esa) du 23 Février 2010. Le pas de grille est de 20km sur une projection UTM. L'iceberg B9B (à l'EST) est venu se positionner contre la langue de glace du glacier mertz début février 2010 menant au vèlage de l'iceberg C28 (à l'Ouest) se découpant selon des crevasses préexistantes et étudiées du glacier Mertz. La langue de glace (partie flottante du glacier) faisait 150km de long au moment du vèlage. C'est donc quasiment la moitié de cette langue (ce qui représente 70 ans d'avancement du glacier) qui s'est détaché.

Mesures in situ d'épaisseur de la banquise arctique à l'aide d'un sondeur électromagnétique

■ (5 minutes)

H. Le Goff¹, C. Haas²

¹LOCEAN, Université Pierre et Marie Curie, CNRS, Paris, 75005, France (legoff@locean-ipsl.upmc.fr)

²University of Alberta, Dpt of Earth and Atmospheric Science, Edmonton, Alberta, Canada (Christian.Haas@ualberta.ca)

Résumé

Le sondeur EM31 (Geonics) est un instrument de géologue qui mesure la conductivité électromagnétique apparente du sous-sol. Embarqué sur un traîneau de surface, il peut aussi effectuer des mesures in situ d'épaisseurs de banquise [ref 1], en utilisant la forte différence de conductivité entre la glace et l'eau de mer.

Nous présentons les résultats de mesures réalisées lors de la dérive transpolaire du navire Tara entre Sibérie et Groenland [ref 2] : une ligne de validation de 1 km sur l'ice floe portant le navire a été parcourue chaque semaine pendant 7 mois (mai-sept 2007), mettant en évidence la variabilité inter saisonnière de l'épaisseur de cet échantillon lagrangien qui s'est déplacé de 1000 km entre le PN et le Détroit de Fram. La diminution estivale de 60 cm moyennée sur la ligne est en bon accord avec les mesures d'épaisseur effectuées ponctuellement sur le même ice floe par un IMB (Ice Mass Balance Buoy du CRREL).

Un sondeur EM31 a été installé dans la coque d'un catamaran-char à glace qui va traverser le bassin arctique à l'été 2011, d'Alaska au Spitsberg via le PN [ref 3]. L'objectif est d'obtenir sur ce trajet de 3000 km une section d'épaisseur de banquise qui sera utilisée dans le programme cal/val du satellite CRYOSAT 2. Des tests préliminaires ont été effectués sur banquise côtière hivernale en Gaspésie et à James Bay (Québec), les résultats en sont présentés. Après correction des mouvements de plateforme (mesurés par une centrale inertielle embarquée), on obtient une précision finale de 10cm sur les épaisseurs mesurées.

Références

[1] C. Haas, S. Gerland, H. Eicken, and H. Miller (1997), Comparison of sea-ice thickness measurements under summer and winter conditions in the Arctic using a small electromagnetic induction device, *Geophysics*, 62(3), 749–757.

[2] C. Haas, H. Le Goff, S. Audrain, D. Perovich, J. Haapala, (2011) Comparison of seasonal sea-ice thickness change in the Transpolar Drift

observed by local ice mass-balance observations and floe scale EM surveys, *Annals of Glaciology* 52(57) 2011

[3] S.Roubinet, R.André, H. Le Goff, (2011) « La Voie du Pôle », <http://www.sebroubinet.eu/la-voie-du-pole.html>

Variations du courant circum-Antarctique durant les 500000 dernières années

■ (20 minutes)

A. Mazaud⁽¹⁾, E. Michel⁽¹⁾, F. Dewilde⁽¹⁾, J.L. Turon⁽²⁾

(1) Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement, CEA-CNRS-UVSQ, domaine du CNRS, 91198 Gif-sur-Yvette France

(2) Département de Géologie et Océanographie, UMR#505, Université Bordeaux I, Avenue des facultés, F-33405, Talence Cedex France

Le courant circum-Antarctique (ACC) est le plus puissant de la planète. Il connecte les différents océans dans l'hémisphère austral et constitue un maillon important de la circulation thermohaline. Il joue donc un rôle majeur dans les changements du climat global. C'est aussi un acteur clé du cycle du gaz carbonique, car c'est au niveau de l'Océan Austral que les masses d'eau profonde de l'océan mondial affleurent en surface et sont donc en contact avec l'atmosphère.

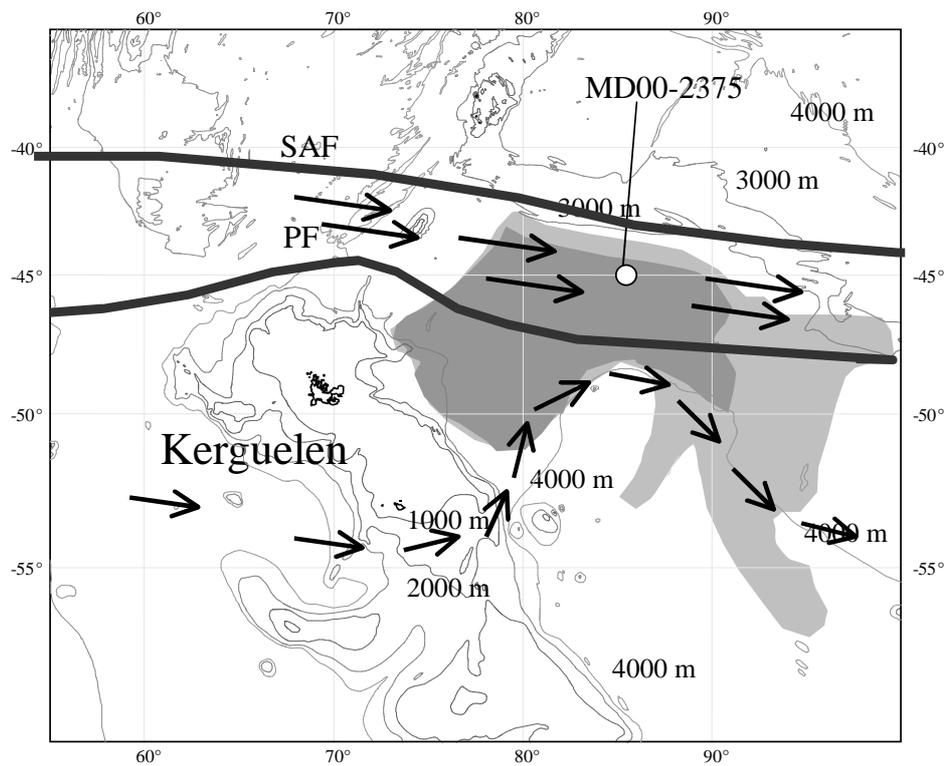
Nous avons examiné les variations passées de ce courant en utilisant les changements de taille et d'abondance des grains magnétiques transportés par ce courant vers l'Est du plateau volcanique de Crozet Kerguelen, dans l'Océan Indien Sud (Figure 1). La carotte sédimentaire étudiée, MD00-2375G, avait été prélevée durant la campagne "ANT AUS" du Marion Dufresne en 2000. Les mesures isotopiques ($\delta^{18}\text{O}$) ont permis d'identifier les successions des périodes glaciaires et interglaciaires, et un modèle d'âge a été établi en corrélant ce profil à celui du forage glaciologique Antactique EPICA .

Les variations de la taille et de l'abondance des grains magnétiques ont été étudiées avec les méthodes du magnétisme environnemental. Les résultats montrent une forte modulation de la force du courant ACC reliées à la succession des périodes glaciaires- interglaciaires. Une faible abondance et une petite taille des grains indiquent un transport réduit pendant les interglaciaires (Figure 2). Au contraire, une forte abondance et des grains plus gros indiquent un fort courant pendant les époques glaciaires. Une modulation est également observée aux plus courtes échelles de temps, sub-stadiales, et un minimum très marqué correspond au début du stade interglaciaire 11.

La campagne de carottages INDIEN-SUD-ACC qui s'est déroulée début 2011 à bord du navire Marion Dufresne (Figure 3) permettra d'étudier dans le détail les variations de l'ACC, en intensité mais aussi en latitude, notamment lors de périodes clés telles les transitions glaciaires-interglaciaires. L'évolution passée de l'hydrologie de l'Océan Indien Sud (températures et salinités : positions des fronts) sera étudiée à partir des mêmes carottes sédimentaires et seront comparées aux variations de l'intensité de l'ACC ainsi qu'aux variations du climat. Cela permettra de mieux comprendre son rôle dans les mécanismes du climat et pour le cycle du carbone. Les données alimenteront les modèles climatiques, et les relations avec les variations climatiques en Antarctique révélées par les carottages glaciologiques (EPICA-Dome-C) seront examinées en détail.

Référence

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



Source: GEBCO.

Figure 1

Localisation de la carotte MD00-2375G à l'Est des îles Kerguelen dans le flux du courant circum-antarctique (flèches) : SAF : Front sub-antarctique, PF: front polaire

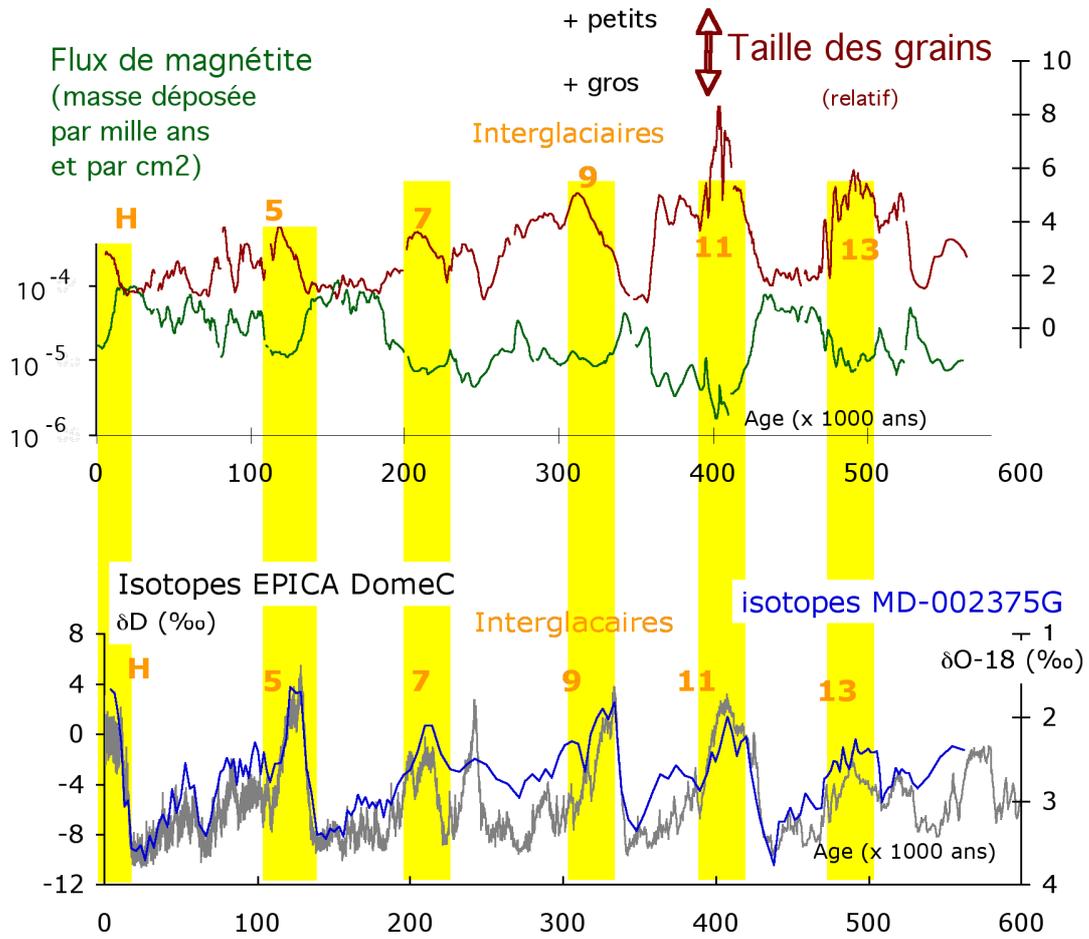


Figure 2

a) Taille des grains de magnétite (trait épais, échelle log.) et flux de magnétite (trait fin) au site MD002375G pendant les 600 000 dernières années,

b) Signal isotopique de l'oxygène ($\delta^{18}O$) obtenu sur les foraminifères planctoniques (G Bulloïdes) de la carotte MD00-2375G (en bleu), et signal à Epica-DomeC (en gris). Les interglaciaires (en jaune), et particulièrement le stade 11, sont caractérisés par un faible apport de magnétite avec des grains de petite taille.



Figure 3

Le tube du carottier géant CALYPSO prêt à l'emploi à bord du Marion Dufresne (campagne Indien Sud, Janvier-Février 2011)

Modélisation de la répartition géographique de *Ptilocrinus amezianeae* sur le Plateau de Kerguelen.

■ (5 minutes)

Moreau C., Hemery L.G., Améziane N., Hautecoeur M., Gasco N., Martin A., Eléaume M.

MNHN, DMPA, UMR7208, 43 rue Cuvier, 75005 Paris (Camille.Moreau@etudiant.univ-brest.fr)

Résumé

Ptilocrinus amezianeae est une nouvelle espèce de Hyocrinidae (Echinodermata) décrite de seamounts au large de la mer de Ross et du Plateau de Kerguelen. La modélisation de la probabilité de présence des *P. amezianeae* a été réalisée grâce aux données de présence récoltées par les contrôleurs de pêche embarqués sur les palangriers et grâce aux spécimens récoltés pendant la campagne POKER II. Ces données de présence, combinées à des données environnementales, ont permis de cartographier les probabilités de distribution de *P. amezianeae*. Les résultats montrent un effet significatif de la pente et de la bathymétrie. Cette influence contraint la distribution géographique de *P. amezianeae* aux bords du Plateau ainsi qu'au niveau du « Banc Skiff », un mont sous-marin présent à l'ouest de l'archipel des Kerguelen. Ces zones semblent propices à la présence d'une courantologie importante expliquant en partie la répartition des organismes. En effet, de nombreuses espèces de crinoïdes pédonculées sont rhéophiles. La présence de spécimens provenant des seamounts de la mer de Ross permet de confirmer cette hypothèse. Cependant, l'analyse des séquences du marqueur mitochondrial COI de 61 spécimens provenant des deux régions montre un « barcode gap » qui pourrait être interprété comme issu de l'analyse de deux espèces.

Introduction

Durant les quatre-vingts dernières années, plus de 30 campagnes ont été menées aux îles Kerguelen (Hureau, sous presse), toutefois les données concernant le benthos ont été peu abondantes lors de ces missions. Ainsi, en 1961 et 1970, P. Arnaud, R. Délepine, J.C.Hureau et M. Rannou ont initiés des récoltes benthiques. Localisées essentiellement en milieu côtier et dans des zones géographiques restreintes, ces récoltes ont permis de dresser un premier bilan de la biodiversité marine benthiques des îles Kerguelen. Plus tard, lors des années 1974 et 1975, deux importantes campagnes océanographiques (respectivement MD03 et MD04), menées à bord du Marion Dufresne ont eu pour objectif de décrire et cartographier les différentes communautés benthiques. Depuis ces travaux, seules quelques récoltes ponctuelles ont été effectuées pour des programmes ciblés sur un type d'organisme. L'évolution constante des connaissances scientifiques et l'augmentation de la demande sociétale vont peut-être permettre de redonner un essor aux études de ces faunes benthiques ; de caractériser les niches écologiques et de modéliser les habitats. De plus, de nouvelles problématiques interviennent désormais, et c'est sous de nouveaux angles tels que les impacts des changements climatiques globaux, les diversifications rapides d'espèces ou encore les impacts anthropiques (pêche, pollutions) que les écosystèmes benthiques doivent être étudiés. Il ne faut toutefois pas abandonner la recherche fondamentale et continuer l'exploration de la biodiversité en mettant à profit les nouvelles approches. En effet, la liste des organismes benthiques des îles Kerguelen est loin d'être exhaustive de nombreuses espèces restent encore à découvrir (Améziane et al. sous presse).

Ptilocrinus amezianeae (Echinodermata, Crinoidea, Hyocrinidae) est une nouvelle espèce découverte en 2008 lors de chalutages au nord de la Mer de Ross sur deux monts sous-marins : Admiralty et Scott (Eléaume et al. sous presse). D'autres individus ont été échantillonnés lors de la campagne POKER II, organisée par Guy Duhamel (MNHN), ou encore par les contrôleurs de pêche (COPEC) embarqués sur les palangriers. De nombreuses caractéristiques de cette espèce, notamment les traits de vie, restent inconnues. Sa répartition atypique (uniquement les bords de seamounts et du Plateau de Kerguelen) conduit à s'interroger sur les caractéristiques de son habitat et les paramètres environnementaux principaux décrivant sa niche écologique. Cette étude se base sur l'échantillonnage du Plateau de Kerguelen issu de POKER II et des prises accidentelles des COPEC, et vise à décrire la niche écologique de *P. amezianeae* et cartographier les probabilités de présence de cette espèce.

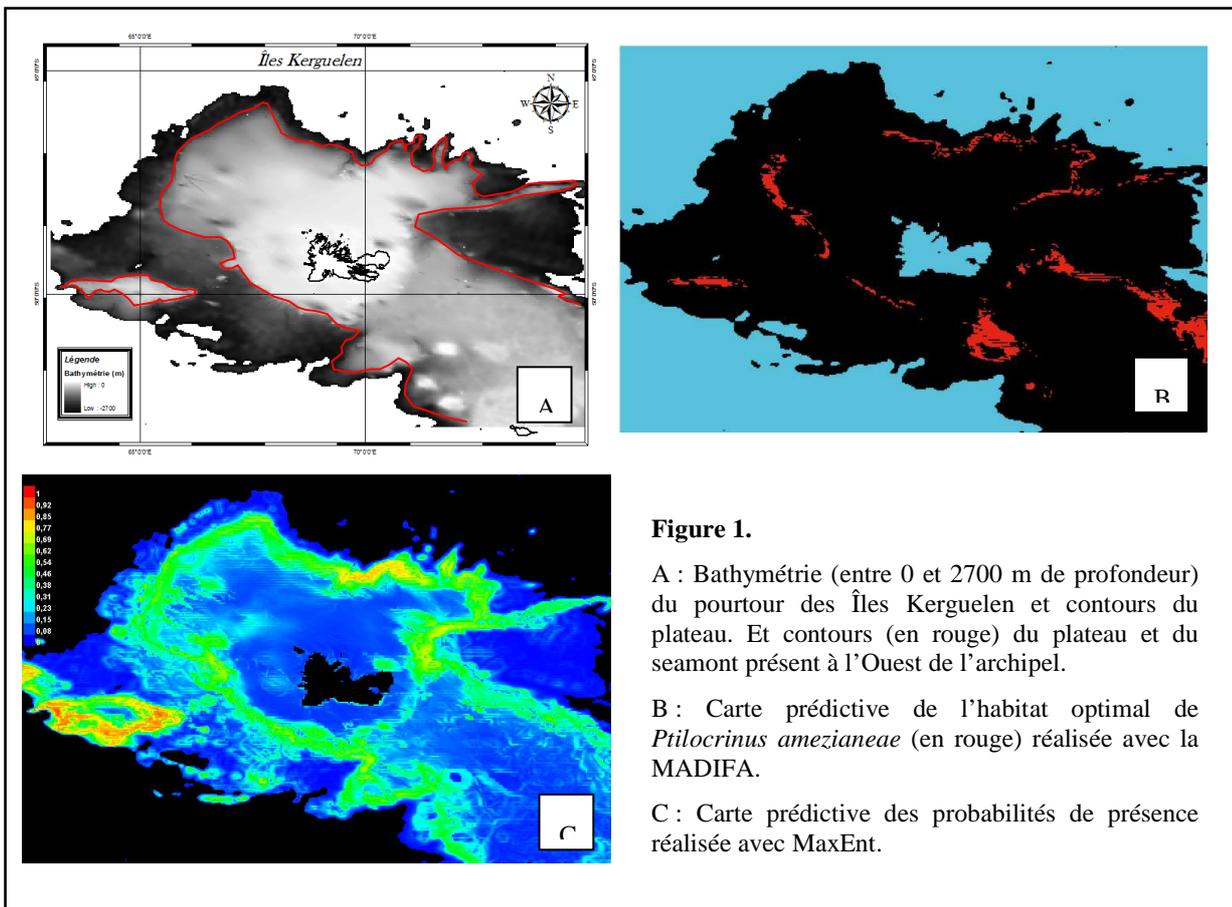
Matériel et méthodes

Au total 18 occurrences provenant de 8 stations POKER II et 131 occurrences provenant de 24 prises COPEC ont été prises en compte. Huit facteurs environnementaux ont été inclus dans les analyses : la bathymétrie, la température, la salinité, la concentration en nitrate, la concentration en phosphate, le taux d'oxygène dissous, la concentration en chlorophylle a et la pente. Ces renseignements proviennent de différentes bases de données en fonction de leur disponibilité comme celle de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), celle d'OceanColor Web,

certaines renseignements proviennent des missions préalables effectuées autour des Îles Kerguelen ou encore de données de palangre de la base KERPECHE.

Un ensemble d'outils multidimensionnels a été utilisé pour explorer la niche écologique (sensu Hutchinson 1957) de cet organisme à partir de données de présence uniquement : l'Ecological-Niche Factor Analysis (ENFA, Hirzel et al. 2002) et la Mahalanobis Distances Factor Analysis (MADIFA, Calenge et al. 2008). Ces techniques sont basées sur des analyses factorielles et sont capables de prendre en compte des paramètres présentant une distribution non-normale de leurs valeurs (Basille et al. 2008). Chaque variable d'environnement définit une dimension dans un hyper volume, qui est l'espace écologique. La niche est décrite par la distribution de l'espèce dans l'hyper volume, à chaque station, pondérée en fonction du nombre d'occurrences (Basille et al. 2008). L'ENFA analyse les données du point de vue de l'environnement, ou ce qui est disponible pour les espèces, tandis que la MADIFA met l'accent sur l'habitat, ou ce qui est utilisé par l'espèce. Les deux méthodes permettent la prédiction de l'habitat potentiel pour les espèces et la construction de cartes prédictives (Environmental Suitability Maps) (ESM, Calenge et al. 2008). Les analyses ont été conduites grâce au logiciel R (R development Core Team, 2010). Enfin, le logiciel MaxEnt (Phillips et al. 2006 ; Phillips and Dudik 2008) a été utilisé pour créer des modèles de distribution d'espèces (SDM) à partir de données de présence (Elith et al. 2010). Les SDMs estiment la relation qu'il existe entre les présences ou occurrences au sein de différents sites, et les caractéristiques spatiales et/ou environnementales dans ces mêmes sites (Franklin 2009). Ainsi notre modèle attribuera une valeur de probabilité de présence à chaque pixel de la carte raster de l'aire d'étude.

Résultats



La niche écologique et l'habitat optimal de *P. amezianae* ont été décrits en mettant en relation les facteurs environnementaux et les occurrences de cette espèce. Les résultats des trois outils utilisés (MaxEnt, ENFA et MADIFA) mettent en évidence l'importance significative de deux paramètres : la bathymétrie et la pente. Des cartes prédictives de la présence de *P. amezianae* ont aussi été réalisées (Figure 1. B et C). La relation avec les limites du plateau et la présence d'un seamont (Figure 1. A) est très claire dans le modèle obtenu à partir de MaxEnt et de la MADIFA.

Discussion

La répartition prédite de *P. amezianeae* semble être caractérisée par une bathymétrie et une pente importante. Ces conditions particulières sont présentes au niveau du bord du plateau et des seamounts. Ces observations permettent de penser qu'une courantologie importante est nécessaire à la vie de *P. amezianeae*, un organisme rhéophile comme la majorité des crinoïdes. La présence de spécimens de cette même espèce sur des seamounts de la mer de Ross (Bowden et al. 2011 ; Eléaume et al. sous presse) permet de confirmer cette hypothèse. Cependant, l'analyse des séquences du marqueur mitochondrial COI de 61 spécimens provenant des deux régions montre un « barcode gap » qui pourrait être interprété comme issu de l'analyse de deux espèces. Il semble, de plus, que les observations sur le seamount Admiralty de très nombreux restes de crinoïdes morts nous indiquent que cette population est actuellement en déclin. La cause de ce déclin pourrait être un manque de recrutement ou encore une augmentation de la mortalité par prédation (Eléaume et al. sous presse). La présence de prédation par une astérie et un oursin a été mise en évidence (Bowden et al. 2010) par le biais de photographies réalisées in situ.

Ce travail permettra peut-être de faciliter l'observation et l'étude de ces organismes afin de connaître la dynamique de population autour des îles Kerguelen et décrire les communautés benthiques associées.

Remerciements

Je tiens à remercier dans un premier temps G. Duhamel pour son accueil au sein du Département Milieux et Peuplements Aquatiques (DMPA) au Muséum national d'Histoire naturelle (MNHN) ainsi que pour l'apport des échantillons de la campagne POKER II. Je souhaite également remercier vivement Marc Eléaume et *Lenaïg Hemery* leur encadrement et leur précieuse aide tout au long de ce travail. Enfin, je remercie Nicolas Gasco et les COPEC pour les échantillons et les renseignements apportés.

Bibliographie

- Améziane N., Eléaume M., Hemery L., Monniot F., Hemery A., Hauteceur M., Dettai A., 2011. Biodiversity of the benthos off Kerguelen Islands: overview and perspectives. *In: The Kerguelen Plateau: marine ecosystems and fisheries*, Duamel & Welsofrd (eds.), Société Française d'ichtyologie, in press.
- Basille, M., C. Calenge, E. Marboutin, R. Andersen, and J. M. Gaillard. 2008. Assessing habitat selection using multivariate statistics: Some refinements of the ecological-niche factor analysis. *Ecological Modelling* 211:233-240.
- Bowden DA, Schiaparelli S, Clark MR, Rickard GJ (2010) A lost world? Archaic crinoid-dominated assemblages on an Antarctic seamount. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*. Doi:10.1016/j.dsr2.2010.09.006.
- Calenge, C., G. Darmon, M. Basille, A. Loison, and J. M. Jullien. 2008. The factorial decomposition of the Mahalanobis distances in habitat selection studies. *Ecology* 89:555-566.
- Eléaume, M., L. G. Hemery, D. A. Bowden, and M. Roux. Sous presse. A large new species of the genus *Ptilocrinus* (Echinodermata, Crinoidea, Hyocrinidae) from Antarctic seamounts. *Polar Biology*, sous presse.
- Franklin, J. 2009. Mapping species distributions: spatial inference and prediction. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Hirzel, A. H., J. Hausser, D. Chessel, and N. Perrin. 2002. Ecological-niche factor analysis: How to compute habitat-suitability maps without absence data? *Ecology* 83:2027-2036.
- Hureau J.-C., (2011) Marine Research on the Kerguelen Plateau from early scientific expeditions to the surveys for the CCAMLR objectives. *In: The Kerguelen Plateau: marine ecosystems and fisheries*, Duamel & Welsofrd (eds.), Société Française d'ichtyologie, in press.
- Jane Elith, Michael Kearney, Steven Phillips. 2010. The art of modeling range-shifting species. *Methods in Ecology and Evolution* 1:4, 330-342
- Phillips, S. J. *et al.* 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecol. Model.* 190: 231–259.
- Phillips, S.J., Dudik, M., 2008. Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography*, 31, 161-175.

Le patrimoine historique des Terres Australes et Antarctiques Françaises : problématiques particulières, réflexions et perspectives.

■ (20 minutes)

Nathalie MOREIGNEAUX

Docteur en histoire maritime contemporaine, Chargée de mission patrimoine auprès du Préfet et Administrateur Supérieur des Taaf.
34 boulevard de Sébastopol 75 004 Paris Tél : 01 56 91 50 37 Portable : 07 86 13 38 30 Mail : nathalie.moreigneaux@taaf.re

Le patrimoine historique des Terres Australes et Antarctiques Françaises est un patrimoine particulier et ce à plusieurs titres. La géographie et l'éloignement de ces îles est un élément essentiel de cette diversité. Certains sites historiques se trouvent sur des territoires au climat froid, pensons à Terre Adélie avec Port-Martin. Tromelin¹, îlot corallien au nord de la Réunion et faisant partir des Eparses, est au contraire sous des latitudes tropicales. Entre ces deux extrêmes on peut situer l'île Saint-Paul, celle d'Amsterdam ou encore Kerguelen. Ces diversités climatiques impliquent des conditions de conservations multiples, des accès particuliers, pensons à Port-Martin et à la station Charcot en Terre Adélie qui sont finalement devenues inaccessibles en raison de l'enneigement ou encore à Tromelin dont l'isolement géographique en fait un site archéologique peu accessible et également enfoui mais sous le sable cette fois-ci. Saint-Paul, en devenant une réserve naturelle intégrale, devient difficile d'accès pour les personnes. Tout ces éléments impliquent des problématiques de travail diverses pour le patrimoine historiques des Taaf.

Les patrimoines de ces îles sont thématiquement variés. L'attrait scientifique des Terres Australes et Antarctiques Françaises est connu, mais il n'a pas toujours été celui de la réserve naturelle et la protection et l'étude de la faune et de la flore. L'intérêt scientifique initial pour les Kerguelen fut, dès la fin du XIX^e siècle, astronomique. Ainsi, ce sont tout d'abord les anglais qui dès 1874 viennent observer le passage de Vénus, puis les allemands en 1903/4 pour l'étude du magnétisme. De ces passages, nous avons conservé en Baie de l'Observatoire à Kerguelen, un site archéologique qui fut fouillé en 2006 par la mission archéologique Archéobs. Divers objets du quotidien ont ainsi pu être retrouvés et enregistrés. Dans la première moitié du XX^e siècle, ces territoires furent également économiquement exploités, nous reviendrons sur ce thème ultérieurement.

Cependant, tous ces sites ont un point commun, celui d'être le témoignage d'une aventure humaine à la mer.

Le patrimoine historique des Taaf est un patrimoine contemporain ; on parlera pour certains sites d'archéologie industrielle. A Saint Paul, une des plus ancienne îles connues de ces territoires², se trouve les restes d'une ancienne langousterie, une usine de fabrication de boîte de conserve de langouste. Mais le site est largement endommagé par les otaries.

Sur l'île de Tromelin, dont nous avons déjà parlé, se trouve, enfoui sous le sable, un site archéologique lié à une histoire bien particulière. L'*Utile* navire transportant illégalement des esclaves vers l'île Maurice s'y échoue en 1761. Pendant quinze années « les esclaves oubliés de Tromelin » y resteront ; le Chevalier de Tromelin viendra finalement les chercher en 1892. En 2006, 2008 et 2010, le Gran³, associé à l'Inrap et l'Unesco, a procédé à des campagnes de fouilles pour tenter de mieux comprendre le site. De nombreux objets ont pu être identifiés permettant de mieux connaître cette histoire, celle des personnes et des événements qui s'y sont déroulés. Mais ce site reste difficile d'accès en raison de son isolement extrême et d'une mer qui ne permet pas facilement d'accoster.

En décembre 2010, la mission patrimoine est partie sur le terrain dans le but d'enregistrer et de travailler sur la station baleinière de Port-Jeanne-D'Arc sur l'île de Kerguelen. Cette station baleinière fut construite en 1908 et exploitée par les norvégiens à la demande des frères Bossières⁴. La station fonctionnera jusque dans les années 1924 date à laquelle elle est définitivement abandonnée. Ce site d'archéologie industrielle est extrêmement dégradé en raison des conditions climatiques des Kerguelen. C'est un site particulièrement intéressant car, contrairement aux autres stations baleinières de cette époque et en raison de son abandon définitif et soudain, il n'a pas été réutilisé ni remanié et il est resté techniquement inchangé.

¹ Tromelin fut découvert en 1722 par un navire de la Compagnie des Indes. L'îlot fut pendant très longtemps mal positionné par les navigateurs.

² La prise de possession de Saint-Paul date de 1843.

³ GRAN : Groupement de Recherche en Archéologie Navale.

⁴ Les frères Bossières, originaires du Havre, avaient obtenus du gouvernement français l'autorisation de s'installer et d'exploiter ces territoires français.

Se posent alors de multiples problèmes liés à la conservation, la restauration⁵, mais également à la compréhension du fonctionnement technique du site sachant que les bâtiments construits en bois, se sont écroulés sur eux-mêmes. De là, comment savoir si les machineries que l'on peut voir aujourd'hui se trouvaient au rez-de-chaussée ou bien au premier étage d'un bâtiment ? C'est un patrimoine qui, littéralement, part en morceau. Mais avant de le sauvegarder ou encore de le sécuriser, voire de le supprimer comme le suggèrent certains, il faut commencer par comprendre le site. Comment fonctionnait cet ensemble ? Comment y vivait-on ? L'interprétation du site est à la fois globale et particulière, exigeant la compréhension de chaque élément désormais au sol.

Nous sommes partis sur place avec un appareil laser qui permet de numériser en 3D tous les éléments de la station si petits soient-ils. Le principe étant que l'appareil balaie systématiquement le site et le restitue informatiquement sous forme de points qu'il faut alors nettoyer pour obtenir une image nette, voir colorisée, des lieux. Il nous fut également possible, au cours de la même mission, de numériser des éléments plus petits comme par exemple sur l'île de Saint-Paul⁶. Ce principe technique présente plusieurs avantages : il permet d'enregistrer la station dans son état à un certain moment. Il permet « d'emporter avec soi » la station pour travailler dessus ultérieurement et à distance. Il permet, (c'est sur cet aspect qu'il rejoint le travail d'archive, plus classique, de l'historien) en superposant l'enregistrement de l'état actuel avec des photos anciennes, de comprendre l'évolution de la dégradation des lieux, de positionner différents éléments les uns par rapport aux autres. Le but étant plus globalement de tenter de comprendre le site dans son intégralité, mais également d'appréhender le quotidien de ceux qui y ont séjourné, la vie sur place, les métiers, etc...

Il est également essentiel de travailler avec des partenaires pour la recherche d'archives ou la conservation de textes connus, l'identification de photos ou encore l'enregistrement des témoignages. Nous citerons deux partenaires officiels pour Port-Jeanne-D'Arc : les norvégiens et le musée de Sandefjord, musée consacré à la pêche à la baleine⁷ et les anglais qui travaillent sur la Géorgie du Sud où se trouve une station baleinière tout à fait similaire.

Enfin, nous ajouterons pour conclure que le travail sur le patrimoine consiste également en la constitution d'une base de donnée pertinente sur tous les aspects du patrimoine des Taaf, dans le rassemblement et la conservation d'une documentation thématique, de la préservation des sites historiques et de leur mise en valeurs, de communication et d'enrichissement des connaissances⁸ avec la possibilité d'une mise en valeurs de nouveaux patrimoines identifiés.

⁵ Certains bâtiments ont déjà été restaurés comme une porcherie, une maison d'habitation et un atelier.

⁶ Nous avons numérisé la Pierre de Pellefourrier.

⁷ Souvenons-nous que ce sont les norvégiens qui ont construit et exploité Port-Jeanne-D'Arc.

⁸ Témoignages oraux, films, données.

Sénescence multi-traits chez un oiseau extrêmement longévif : l'albatros à sourcils noirs

■ (20 minutes)

D. Pardo, C. Barbraud, H. Weimerskirch

CEBC-CNRS (Centre d'Etudes Biologiques de Chizé), 79360 Villiers-en-bois, France. (pardo@cebc.cnrs.fr; barbraud@cebc.cnrs.fr; henriw@cebc.cnrs.fr).

Résumé

L'âge influence fortement la physiologie, le comportement, le phénotype et la démographie des organismes, mais la plupart des études analysent généralement l'influence de l'âge sur un seul paramètre à la fois. Etant donné la complexité des phénomènes de maturation et de vieillissement, des analyses multi-traits sont nécessaires. Grâce à un jeu de données exceptionnel, les patrons âge-dépendants de 7 traits majeurs sont estimés simultanément chez une espèce extrêmement longévive : l'albatros à sourcils noirs.

Les jeunes individus produisent des poussins de bonne qualité mais ont un succès reproducteur plus faible à cause d'échecs dus à leur inexpérience. La survie des vieux individus décroît dès 30 ans, 27 ans pour les traits reproducteurs avec des chances accrues de perdre le poussin dont la condition corporelle chute dramatiquement. Les interactions entre traits suggèrent des capacités de recherche alimentaire fortement altérées avec l'âge.

Introduction

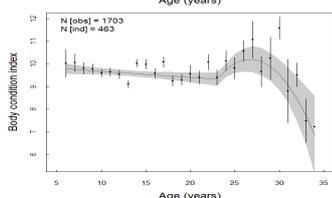
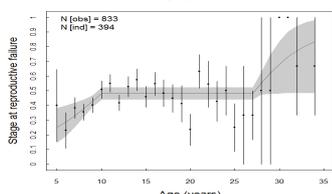
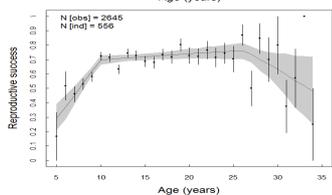
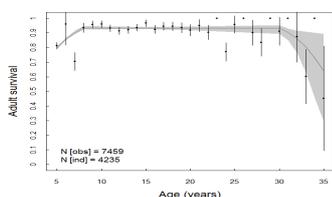
Les variations des paramètres démographiques avec l'âge sont connues chez les vertébrés, particulièrement chez les organismes longévifs (vivant longtemps). L'âge implique des modifications sur les traits démographiques clés tels que la survie et le succès reproducteur, qui représentent typiquement 2 à 3 phases distinctes le long de la vie. D'abord une phase d'augmentation des capacités des jeunes reproducteurs qui est expliquée par 3 hypothèses non exclusives : augmentation de l'expérience, disparition par sélection naturelle des individus de moins bonne qualité, optimisation de la valeur reproductive résiduelle avec le temps qui passe. Tout au long de leur vie les organismes tentent de maximiser leurs capacités ce qui amène parfois à une phase de stabilisation, au maximum des capacités chez les individus d'âge moyen. Par contre à des âges avancés, une détérioration inévitable des capacités de l'organisme apparaît, c'est la sénescence. Les individus doivent alors faire des compromis entre reproduction et survie. La survie diminue inéluctablement tandis que 2 stratégies sont possibles pour le succès reproducteur: soit une augmentation si l'organisme investit toutes ses ressources restantes (hypothèse d'investissement terminal), soit une diminution petit à petit à cause de la sénescence de reproduction. Afin de mieux comprendre les phénomènes sous-jacents à ces compromis, plusieurs études ont suggéré la prise en compte simultanée de plusieurs traits morphologiques, démographiques en fonction de l'âge (Nussey *et al.* 2008). Pour cela nous estimons 7 traits différents : la survie adulte et la probabilité de détection ainsi que la probabilité de reproduction, le succès reproducteur, le stade à l'échec reproducteur (incubation ou élevage du poussin), la condition corporelle du poussin (masse/mesure de l'aile) et enfin la taille de son bec au moment où il est prêt à s'envoler pour la première fois. La combinaison des patrons âge-dépendants de tous ces traits nous permet de mieux comprendre les contraintes rencontrées par les albatros tout au long de leur vie.

Notre étude se base sur l'albatros à sourcils noirs (*Thalassarche melanophris*). Cette espèce est étudiée depuis 1968 à Kerguelen dans les Terres Australes et Antarctiques Françaises, elle est classifiée en danger d'extinction. Cette espèce est extrêmement longévive (peut vivre jusqu'à plus de 40 ans) et présente des traits de vie caractéristiques : un seul poussin par an tous les ans et une forte survie annuelle. Cela implique que théoriquement on s'attend à une sélection des individus maximisant leur survie plutôt que leur reproduction quand des difficultés liées par exemple à la sénescence se font sentir. Les albatros à sourcils noirs sont donc un modèle particulièrement pertinent pour étudier l'écologie évolutive des populations structurées en classe d'âges.

Observations et résultats

Une sélection de modèles nous a permis de montrer que la survie adulte variait selon 3 classes d'âge. Tout d'abord une augmentation entre 5 ans (l'âge minimum de première reproduction chez l'albatros à sourcils noirs) et 8 ans. Puis un

plateau entre 8 et 30 ans où la survie est maximale et constante à 0.934 ± 0.041 . Enfin, des preuves d'une sénescence significative sont apparues à partir de 30 ans et ce jusqu'à l'âge de 35 ans (le plus vieil individu d'âge connu).



De la même manière 3 classes d'âge représentent le mieux les variations du succès reproducteur au cours de la vie. Entre 5 et 10 ans une forte augmentation est détectée, puis jusqu'à 26 ans une phase plane avec un succès maximal à 0.763 ± 0.027 . Dès 27 ans le succès chute à 0.479 ± 0.120 montrant une sénescence. Les vieux individus ont moins de 50% de chances de mener leur poussin jusqu'à l'envol tandis que cette proportion est de 75% pour les individus d'âge moyen.

Une analyse complémentaire chez les individus en échec reproducteur nous indique que les jeunes jusqu'à 10 ans échouent majoritairement au stade de l'œuf, tandis que les vieux à partir de 27 ans ont des problèmes au niveau de l'élevage de leur poussin unique. L'âge de 27 ans semble être critique, à partir duquel les albatros à sourcils noirs commencent à ne plus pouvoir mener leur reproduction à bien.

Enfin, la condition corporelle du poussin à l'envol varie selon deux classes d'âge des parents. Les individus jeunes et d'âge moyen produisent des poussins de taille équivalente aux oiseaux plus expérimentés. Cela montre que les jeunes individus arrivent bien à nourrir leurs poussins. Les vieux individus eux présentent une forte baisse (quadratique) de la condition corporelle de leur poussin à partir de 27 ans. Peut-être ont-ils des difficultés pour rapporter de la nourriture au nid?

Discussion et conclusion

L'approche multi-trait nous a permis pour la première fois de mieux comprendre les relations complexes entre les traits liés à la démographie des albatros à sourcils noirs dans leur milieu naturel (Weimerskirch *et al.* 1992). Nous avons pu clairement mettre en évidence la période de maturation des jeunes individus au niveau de leur survie et de leur succès reproducteur. Cela suggère qu'ils semblent avoir acquis pendant leur période juvénile (en mer avant la 1^{ère} reproduction) de bonnes capacités de recherche alimentaire. Une forte sénescence sur la survie et le succès des vieux

individus, ajouté à la chute dramatique de la condition corporelle de leurs poussins suggère l'apparition de difficultés importantes concernant les capacités de recherche alimentaire en mer. Cette hypothèse corrobore avec d'autres études sur les vieux albatros (Lecomte *et al.* 2010).

Remerciements

Ce travail effectué à Kerguelen est supporté par l'Institut Paul Emile Victor (IPEV programme n°109) et par les Terres Australes et Antarctiques Françaises, et a été approuvé par le comité d'éthique de l'IPEV et par le Comité de l'Environnement Polaire. Nous remercions toutes les personnes qui ont participé à la collecte des données sur le terrain ces 45 dernières années sur les albatros à sourcils noirs du Canyon des Sourcils Noirs à Kerguelen. Nous voudrions également remercier Dominique Besson et Karine Delord pour la gestion des données, Matthieu Authier, Christophe Bonenfant, Vincent Lecomte, Nigel Yoccoz et le groupe Français « d'Ecologie Evolutive et comparée » pour leur aide fructueuse en statistique et bibliographie.

Références

- Lecomte, V.J., Sorci, G., Cornet, S., Jaeger, A., Faivre, B., Arnoux, E., Gaillard, M., Trouvé, C.B.D., Chastel, O. & Weimerskirch, H. (2010) Patterns of aging in the long-lived wandering albatross. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **107**, 6370-6375.
- Nussey, D.H., Coulson, T., Festa-Bianchet, M. & Gaillard, J.M. (2008) Measuring senescence in wild animal populations: towards a longitudinal approach. *Functional Ecology*, **22**, 393-406.
- Weimerskirch, H. (1992) Reproductive effort in long-lived birds: age-specific patterns of condition, reproduction and survival in the wandering albatross. *Oikos*, **64**, 464-473.

Etude de la distribution du $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ dans les eaux de surface de l'Océan Indien Sud [20°S-60°S]

■ (5 minutes)

V. Racapé¹, C. Lo Monaco¹, N. Metzl¹, C. Pierre¹

¹LOCEAN/IPSL, Université Pierre et Marie Curie, Paris, 75005, France (virginie.racape@locean-ipsl.upmc.fr; claire.lomonaco@locean-ipsl.upmc.fr; nicolas.metzl@locean-ipsl.upmc.fr; catherine.pierre@locean-ipsl.upmc.fr)

Résumé

Le carbone 13 dans le carbone inorganique dissous ($\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$) est un traceur océanique qui renseigne sur les processus de circulation, l'activité biologique ainsi que sur le carbone anthropique dans l'océan. Les variations spatio-temporelles du $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ ont été peu étudiées dans l'Océan Austral. Cette analyse présente pour la première fois la distribution du $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ dans les eaux de surface de la région Sud-Ouest de l'Océan Indien, données récoltées au cours de 10 campagnes OISO conduites à bord du Marion-Dufresne entre 1998 et 2005. Cette région est caractérisée par des valeurs de $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ supérieures en été qu'en hiver. Les maximums (>2‰ en été, ~1.8‰ en hiver) sont observés dans la zone frontale, siège d'une forte activité biologique intensifiée en été. Les minimums (<1 ‰ en hiver) sont détectés dans la région subtropicale (25°-35°S), expliqués par les flux de CO_2 à l'interface air-mer et le mélange vertical.

Etude sur le retour d'hivernage

■ (20 minutes)

A.Solignac¹

¹Psychologue, service médical des TAAF/IPEV, Paris, 75004, France (asolignac@gmail.com)

Résumé

Tout comme dans la plupart des contextes extrêmes, les recherches en psychologie polaire se concentrent sur la préparation et le déroulement de la mission. La période du retour chez soi est moins connue : très peu de recherches existent sur ce sujet, et peu d'hivernants l'évoquent publiquement dans leurs récits.

Une étude récente, menée auprès de 150 anciens hivernants contactés par l'intermédiaire des AAEPF et de l'AMAPOF, a permis de rassembler un premier corpus de données sur le retour d'hivernage. Les résultats de cette étude indiquent que, pour la grande majorité des participants à cette enquête, le retour a présenté des difficultés mineures, ou tout au moins surmontables. Toutefois, pour quelques uns, le retour a pu s'avérer pénible, parfois plus difficile que la mission elle-même. Les difficultés exprimées peuvent rejoindre le domaine sentimental, familial, professionnel, social, ou encore somatique.

Par ailleurs, en analysant le contenu d'un grand nombre d'entretiens de *debriefing* psychologique réalisés à Dumont d'Urville et Concordia depuis le milieu des années 1990, cette recherche explorait aussi le déroulement de l'hivernage lui-même, tel qu'il est rétrospectivement perçu par ses participants. L'étude de ces différentes sources a permis de mieux comprendre la dynamique du retour chez soi : du mélange d'anticipation et d'appréhension qui caractérise les dernières semaines sur le terrain, jusqu'aux retrouvailles avec ses proches, et avec son environnement habituel.

Validation des observations en éthologie humaine dans les TAAF et application aux futurs équipages interplanétaires.

■ (20 minutes)

C. Tafforin¹

¹ETHOSPACE, Groupe de Recherche et d'Etude en Ethologie Humaine et Spatiale, 31000 Toulouse, France (ethospace@orange.fr)

Résumé

Cette communication fait la synthèse des études éthologiques relatives aux stratégies adaptatives des équipes polaires dans des conditions d'isolement et de confinement qui définissent également les conditions environnementales auxquelles les équipages interplanétaires devront faire face pour des missions de longue durée. Les observations comportementales menées à PAF, DDU et Concordia ont montré des changements périodiques et des variations cycliques dans l'organisation des groupes isolés et confinés, pouvant être appliqués à des scénarios d'un voyage vers Mars. La validation des résultats est discutée en regard de l'expérience Mars-500 (à l'IBMP-Moscou) simulant, dans un habitat modulaire réduit et clos, 250 jours aller, 30 jours sur la surface Martienne et 240 jours retour.

Introduction

Les études développées, depuis 20 ans, en éthologie humaine spécifiquement appliquées aux missions spatiales ont d'abord concerné l'adaptation du comportement moteur des astronautes dans les conditions d'apesanteur. Les premières observations ont porté sur les stratégies de mouvement, de posture et d'orientation en vols paraboliques d'avion pour des périodes de 20 secondes de microgravité, puis durant des vols orbitaux de navette pour des courtes durées de 8 à 10 jours (Tafforin, 1994). Le modèle d'adaptation qui sous-tend ces études fait référence à un système de régulation conservatrice, qui tend à retrouver les équilibres initiaux, conséquence d'un environnement sensori-moteur perturbé, lié à un système de régulation novatrice, avec la construction de nouvelles stratégies comportementales. Elles conduisent à une nouvelle représentation spatiale et sociale, conséquence d'un environnement confiné et isolé. Ce modèle est dynamique et évolue jour après jour d'un état adaptatif à un autre. Les études éthologiques menées alors, se sont focalisées sur le comportement social d'équipages confinés et isolés pour des séjours de moyenne durée (30 à 135 jours) et de longue durée (>250 jours), dans la perspective d'explorations humaines de planètes éloignées. Ces observations constituent aujourd'hui une base de données exhaustive combinant variables environnementales et temporelles (Tafforin, 2006).

L'hypothèse de travail porte sur la transformation du groupe social, exprimée par des étapes d'organisation, désorganisation et réorganisation du comportement des équipages, avec des changements périodiques et des variations cycliques en fonction du temps. Les objectifs appliqués sont la définition de scénarios pour des séjours sur la Lune ou un voyage vers Mars. Des observations en éthologie humaine ont ainsi été faites dans les Terres Australes et Antarctiques Françaises (TAAF). Les missions polaires sont des conditions environnementales qui permettent de simuler au plus près, les facteurs d'isolement et de confinement des futures missions interplanétaires. Les hivernages annuels, dans des sites éloignés (Ile Kerguelen, Terre Adélie, Dôme C) et dans des habitats fermés (stations Port-aux-Français, Dumont d'Urville, Concordia) sont des situations d'observations pertinentes.

Observations et résultats

Le mode d'observation éthologique

Les outils d'observation en éthologie humaine se distinguent de la psychologie par l'exploitation du domaine de l'observable et de la sociologie en élargissant l'investigation au comportement global, des actions motrices aux interactions sociales. La méthode est basée sur l'observation, la description et la quantification du comportement moteur et spatial spontané du sujet durant des tâches de la vie quotidienne. Dans les bases polaires, la situation choisie fut une activité collective commune, le repas dans la salle de restaurant (matin, midi, soir). Les sessions d'observations réalisées par le médecin d'hivernage, ont consisté à répertorier, une fois par semaine, les positions à table des sujets, les directions du champ visuel, les durées de présence à table, les nombres de sujets du sous-groupe (hivernants) et de l'équipe polaire (en campagne d'été) ainsi que tout événement social. Les observations ont été transcrites en données géocentriques (localisation des sujets), en allocentriques (entre les sujets) et égocentriques (par rapport à un sujet) et traitées par des évaluations quantitatives (durée, fréquence, distance).

Résultats

A la station Port-aux-Français (PAF), durant la mission KER49, sur 322 jours de mission polaire incluant 128 jours d'isolement continu, les observations ont porté sur le sous-groupe d'hivernants composé des VAT (Volontaire à l'Aide Technique), du médecin et du chef de base (n=15). Les résultats sur l'utilisation de l'espace en terme de préférence de place, dans le lieu de vie collectif ont montré une organisation fluctuante de l'équipe, induite par de fréquentes rotations du bateau de relève (le Marion Dufresne), comme facteur de variation de l'organisation globale du groupe. Après la phase critique de la *midwinter*, l'occupation de l'espace des membres du groupe s'est réduite et les rapprochements proxémiques furent sensiblement augmentés (Tafforin, 2006).

A la station Dumont d'Urville (DDU), durant la mission TA46, sur 238 jours d'isolement continu, les observations ont porté également sur le sous-groupe d'hivernants (n=13) dont les résultats en terme d'orientations sociales ont montré une diminution les trois premiers mois (environ 90 jours), de fortes variations au point critique de la *midwinter* autour de 60 jours, puis une stabilisation durant les 90 derniers jours. Cela met en évidence trois périodes adaptatives de durée variable, avec une phase initiale d'organisation de l'équipe par un regroupement les premiers jours, et une phase finale de dispersion du groupe, les derniers jours, comme stratégie anticipative de désorganisation générée à la rupture de l'isolement (Tafforin, 2002 ; 2004).

A la station Concordia, durant la mission DC2, sur 272 jours d'isolement continu, les observations ont porté sur les variations comportementales de l'équipe d'hivernage (n=10) au travers d'indicateurs temporels, spatiaux, sociaux et moteurs. Les résultats majeurs ont montré des changements périodiques de présence collective en terme d'occupation des places, suivant trois phases de 90 jours chacune, ainsi qu'une augmentation cyclique du temps collectif tous les 50 jours en moyenne. Cela confirme des périodes adaptatives d'organisation, de désorganisation et de réorganisation de l'équipe (Tafforin, 2009a ; 2009b).

Discussion et conclusion

Les équipes polaires comme les futurs équipages interplanétaires ont et auront à faire face à des conditions extrêmes de l'environnement à la fois physique (espace réduit, habitat fermé, absence de lumière naturelle, système support-vie) et psychologique (groupe restreint, charge de travail monotone, risque et danger, communications discontinues) qui nécessitent, jour après jour, un comportement social adapté aux tensions internes et aux perturbations externes du groupe. Les résultats issus des observations éthologiques des d'hivernants dans les TAAF donnent aujourd'hui un large panel d'indicateurs comportementaux pouvant s'appliquer à la description de scénarios d'une mission de plus de 500 jours que sera un voyage vers Mars. Deux profils d'organisation de l'équipage ainsi confiné et isolé sont discutés, postulant que les variations observées sont des situations nominales. Les premiers résultats de l'expérience Mars-500, relatifs aux 250 jours du voyage aller permettraient de valider le scénario de sous périodes d'organisation, de désorganisation et de réorganisation sociale, incluant des variations cycliques dans chaque étape du voyage aller, du séjour et du voyage retour. Un petit documentaire vidéo présentant ce paradigme expérimental exceptionnel conclue la communication.

Remerciements

Ces études ont été réalisées avec le soutien de l'Institut Polaire Français Paul Emile Victor (IPEV), le Centre National d'Etudes Spatiales (CNES) et l'Agence Spatiale Européenne (ESA).

Références

- Tafforin, C. (1994), Synthesis of ethological studies on behavioral adaptation of the astronaut to space flight conditions, *Acta Astronautica*, 32, 131-142.
- Tafforin C., (2002), Ethological observations on a small group of wintering members at Dumont d'Urville station (Terre Adélie), *Antarctic Science*, 14, 4, 310-318.
- Tafforin, C. (2004), Ethological analysis of a polar team in the French Antarctic station Dumont d'Urville as simulation of space teams for future interplanetary missions, *Acta Astronautica*, 55, 51-60.
- Tafforin, C. (2006), Human ethology in the French polar bases: Port-aux-Français, Dumont d'Urville and Concordia. *Human Ethology Bulletin*, 21, 13-15.
- Tafforin, C. (2009a), Life at the Franco-Italian Concordia station in Antarctica for a voyage to Mars: ethological study and anthropological perspectives, *Online Journal of Anthropology*, 5, 1, 67-72.
- Tafforin, C. (2009b), From summer to winter at Concordia station in Antarctica: a pilot study for preparing missions to Mars, *Proceedings of the 60th International Astronautical Congress*, Deajon, Corée, 12-16 Octobre, # IAC-09-A1.1.6.

Estimation des variations passées du niveau de la mer dans l’océan austral à partir de données et repères historiques.

■ (20 minutes)

L. Testut¹, G. Wöppelmann², B. Martin-Miguez³, M. Calzas⁴, A. Guillot⁴, C. Guillerm⁴, R. Coleman⁵, C. Watson⁵, H. Broksma⁶ et R. Handswoth⁶

¹ LEGOS, 14 av. E. Belin, 31401 Toulouse cedex 9, France. (laurent.testut@legos.obs-mip.fr)

² LIENSS, Univ. de La Rochelle. ILE, 2 rue Olympe de Gouges, 17000 La Rochelle, France.

³ Centro Tecnológico del Mar, Fundación CETMAR, Eduardo Cabello s/n Vigo, Spain

⁴ DT/INSU, Bât IPEV, Plouzané, 29280, France

⁵ UTAS (Univ. of Tasmania), Ace-CRC, Hobart, Australia

⁶ AAD (Australian Antarctic Division), Hobart, Australia

Résumé

Les sites d’observations *in situ* de niveau de la mer dans l’océan austral sont très peu nombreux et consiste essentiellement en séries temporelles de courte durée. La banque mondiale du PSMSL (Permanent Service for Mean Sea Level) ne possède que de quelques séries temporelles longues au sud de 40°. Le peu de données disponible pour cet océan contraint fortement notre capacité à estimer les variations globales du niveau de la mer sur le siècle passé. Pour cette raison la présence de données historiques du niveau marin devient indispensable pour compléter nos estimations et pour améliorer notre connaissance sur le sujet. Cette présentation fera le point sur la manière dont nous avons retrouvé et analysé les différentes archives historiques concernant le niveau de la mer dans cette région du globe. Les sites de Saint-Paul, Kerguelen, Dumont d’Urville, Macquarie Island et Commonwealth Bay seront présentés.

Introduction

L’étude de la variabilité à long terme du niveau de la mer est un sujet qui a pris une grande importance de nos jours en raison de son lien étroit avec les changements climatiques globaux mais aussi en raison de son impact sur les sociétés humaines. Des efforts énormes de modélisation et d’observation sont entrepris pour mieux comprendre les processus qui interviennent dans cette variabilité et expliquer les différences régionales observées. Même si l’altimétrie satellitaire a prouvé sa capacité à étudier finement et globalement le phénomène, cette technique n’est accessible que pour les dernières décennies. Quand on veut regarder plus loin dans le passé on fait face rapidement au manque de données disponible. Les plus longues séries de niveau marin disponibles sont essentiellement concentrées dans l’hémisphère nord et le long des côtes. Nous présentons ici un travail visant à compléter le puzzle des variations du niveau de la mer sur le siècle passé à partir de l’étude des observations historiques présentes dans l’océan austral.

Observations et résultats

Différents exercices de “data archaeology” ont été effectués en vue d’estimer les variations du niveau de la mer en plusieurs sites de l’océan austral où des données historiques et/ou des repères ont été retrouvés. Le travail présenté fera la synthèse des différents travaux déjà entrepris dans cette zone de l’océan (Hunter et al., 2003; Woodworth et al. 2010; Testut et al., 2006 et 2010; Watson et al., 2010). Nous détaillerons aussi dans le cas de Saint-Paul la méthodologie employée pour obtenir et analyser les variations de niveau marin.

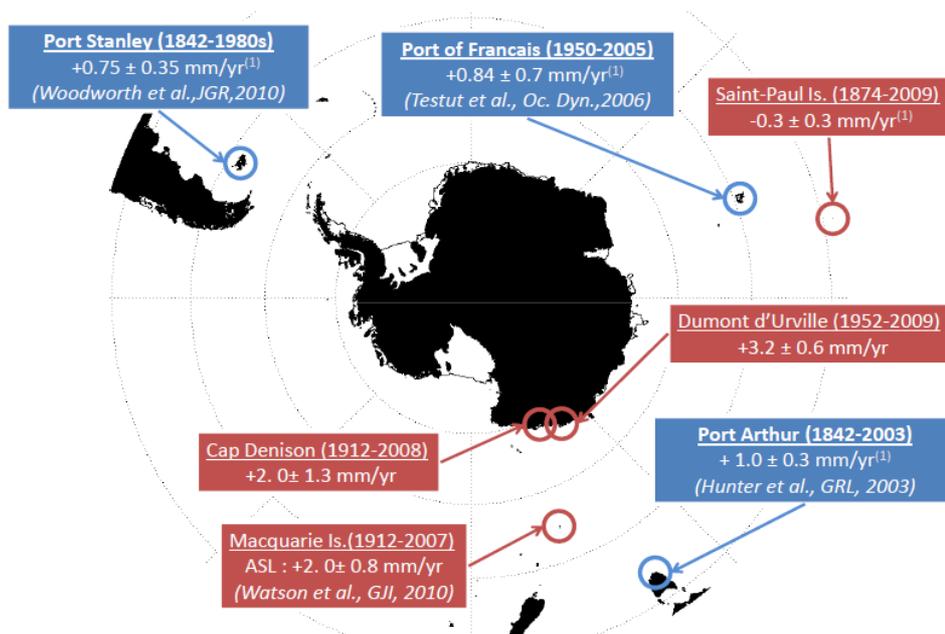


Figure 1 : Carte des estimations de tendance de niveau de la mer dans l'océan austral obtenu à partir de données historiques.

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 technique de l'INSU, la Division Antarctique Australienne (AAD), la Mawson Hut Foundation, la Mitchell Library, le Service Hydrographique Français (SHOM) qui ont tous apporté leur soutien lors des différentes opérations NIVMER et des travaux de recherche de documents historiques.

Références

- Gougenheim, A. (1949), Les marées de l'île Saint Paul, *Ann. Hydrogr.*, 3(21), 325–326.
- Hunter, J., R. Coleman, and D. Pugh (2003), The sea level at Port Arthur, Tasmania, from 1841 to the present, *Geophys. Res. Lett.*, 30(7), 1401, doi:10.1029/2002GL016813.
- Mouchez, E. (1878), Recueil de Mémoires, Rapports et Documents relatifs à l'observation du passage de Vénus sur le soleil du 9 Décembre 1874, Mission de l'île Saint Paul, Tome II, partie 1, pp. 397–402, edited by Académie des Sciences, Paris.
- 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., 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.
- Watson, C., B. Reed, P. Tregoning, N. White, J. Hunter, R. Coleman, R. Handsworth, and H. Broslma (2010), Twentieth century constraints on sea level change and earthquake deformation at Macquarie Island, *Geophys. J. Int.*, 182(2), 781–796, doi:10.1111/j.1365-246X.2010.04640.x.
- Woodworth, P. L., D. T. Pugh, and R. M. Bingley (2010), Long-term and recent changes in sea level in the Falkland Islands, *J. Geophys. Res.*, 115, C09025, doi:10.1029/2010JC006113.

Hormone de stress, perturbations météorologiques et investissement parental au cours de l'incubation chez le manchot Adélie

■ (10 minutes)

A.-M. Thierry, S. Massemin, Y. Handrich, Y. Le Maho & T. Raclot

Institut Pluridisciplinaire Hubert Curien, Département Ecologie, Physiologie et Ethologie, UMR7178 CNRS/UdS, 23 rue Becquerel, 67087 Strasbourg, France (amthierry@gmail.com)

Résumé

Nous avons examiné le rôle de la corticostérone, hormone de stress, dans l'investissement parental au cours de l'incubation chez le manchot Adélie. Les manchots avec des niveaux expérimentalement élevés de corticostérone ont soit abandonné leur nid de façon précoce soit couvé pendant une durée plus longue que les témoins. Des œufs factices remplaçant les couvées de certains nids ont permis d'enregistrer de façon précise le comportement d'incubation. Une diminution des températures d'incubation chez les oiseaux présentant des niveaux élevés d'hormone de stress a été observée. De plus, ces oiseaux se sont montrés plus susceptibles à une perturbation météorologique que les oiseaux témoins. Des études complémentaires sont nécessaires afin de préciser les relations entre comportement d'incubation, investissement parental, croissance et qualité des poussins.

Introduction

Les organismes vivants disposent de ressources limitées, qu'ils allouent à différentes fonctions biologiques. De cette allocation différentielle résultent des compromis évolutifs, comme celui entre la reproduction et la survie (Stearns, 1992). La corticostérone, principale hormone de stress chez les oiseaux, est décrite comme l'un des principaux acteurs des décisions de reproduction, permettant la mobilisation des réserves énergétiques pour soutenir l'effort reproducteur (Romero, 2002). Les niveaux de corticostérone sont susceptibles de varier avec la disponibilité des ressources et l'hormone permet aux organismes de faire face à des situations énergétiques variables en redirigeant la physiologie et le comportement vers la survie lorsqu'elle est compromise (McEwen et Wingfield, 2003 ; Landys *et al.*, 2006).

Au cours de la reproduction, les manchots alternent entre des périodes à terre (incubation et élevage des poussins) et des périodes en mer (recherche alimentaire). Les besoins énergétiques liés à l'incubation peuvent être importants et représenter une part conséquente des coûts de la reproduction, d'autant plus qu'elle est associée à un long jeûne chez les manchots. D'autre part, de mauvaises conditions d'incubation peuvent affecter le développement de l'embryon (Olson *et al.*, 2006), et donc le succès à l'éclosion et la condition corporelle des poussins (Metcalf et Monaghan, 2001).

Notre étude a visé à déterminer les effets de la corticostérone sur l'effort reproducteur chez le manchot Adélie *Pygoscelis adeliae*, et plus particulièrement sur l'investissement parental au cours de l'incubation. Notre approche expérimentale a consisté à augmenter artificiellement le niveau de corticostérone de manchots mâles au début de la période d'incubation. Ces manchots, ainsi qu'un groupe témoin, ont été suivis tout au long de la saison de reproduction afin d'évaluer les effets de l'augmentation des niveaux de corticostérone sur l'investissement parental au cours de l'incubation et sur le succès reproducteur. Nous avons également considéré l'effet de perturbations météorologiques sur le comportement d'incubation.

Observations et résultats

Parmi 99 mâles suivis au cours de 3 étés austraux, 37 ont reçu un implant sous cutané de corticostérone. Les couvées de 24 nids (15 contrôles et 9 traités) ont été remplacées de façon temporaire par des œufs factices enregistreurs de températures et mouvements de rotation, indicateurs de l'investissement parental dans l'incubation et de l'attentivité au nid.

Corticostérone et succès reproducteur

Une proportion importante d'abandons du nid a été observée chez les oiseaux avec des niveaux élevés de corticostérone, avec 64% d'abandons chez les oiseaux traités contre 7% pour les témoins. De plus, ces abandons ont eu lieu de façon précoce, en moyenne $14,7 \pm 0,9$ jours après l'expérimentation pour les oiseaux traités, contre $21,5 \pm 1,8$ pour les témoins. Le succès reproducteur des oiseaux traités a donc été nettement diminué. Parmi les oiseaux n'ayant pas abandonné la reproduction, les manchots traités ont couvé pendant en moyenne 3 jours de plus que les témoins. Pour les oiseaux n'ayant pas échoué lors de la reproduction, le succès reproducteur n'a pas été affecté par le traitement.

Corticostérone et comportement d'incubation

Les données recueillies par les œufs factices montrent que les mâles traités ont couvé leurs œufs à des températures plus basses que les témoins, avec une différence de 2,4°C en moyenne. De plus, les œufs ont été plus fréquemment à des températures inférieures à 30°C, températures décrites comme pouvant inhiber le développement de l'embryon. Le nombre de mouvements de rotation n'a pas différé entre les deux groupes.

Corticostérone, mauvaises conditions météorologiques et comportement d'incubation

Lors d'une perturbation météorologique (épisode de blizzard ayant durée une journée), le nombre de mouvements de rotation des œufs a diminué, que les manchots soient témoins ou traités. D'autre part, les températures d'incubation étaient plus basses suite à l'épisode neigeux, en particulier pour les oiseaux avec des niveaux élevés de corticostérone.

Discussion et conclusion

Les manchots Adélie ayant reçu un implant sous-cutané de corticostérone présentent un investissement parental au cours de l'incubation réduit. Pris dans leur ensemble, nos résultats soutiennent l'hypothèse que l'hormone de stress participe à l'allocation des ressources disponibles entre la reproduction en cours d'une part, et la survie et les reproductions futures d'autre part. De plus, les mauvaises conditions météorologiques ont un effet d'autant plus marqué que les oiseaux ont des niveaux d'hormone de stress élevés. Des analyses sont en cours afin d'évaluer les conséquences de l'augmentation expérimentale de corticostérone chez les adultes sur la condition corporelle et la croissance de leurs poussins.

Remerciements

Cette étude a bénéficié du soutien logistique et financier de l'IPEV (Programme 137 ECOPHY, responsable : Y. Le Maho).

Références

- McEwen, B. S. et J. C. Wingfield. 2003. The concept of allostasis in biology and biomedicine. *Hormones and Behavior* 43:2-15.
- Metcalfe, N. B. et P. Monaghan. 2001. Compensation for a bad start: grow now, pay later? *Trends in Ecology & Evolution* 16:254-260.
- Olson, C. R., C. M. Vleck et D. Vleck. 2006. Periodic cooling of bird eggs reduces embryonic growth efficiency. *Physiological and Biochemical Zoology* 79:927-936.
- Romero, L. M. 2002. Seasonal changes in plasma glucocorticoid concentrations in free-living vertebrates. *General and Comparative Endocrinology* 128:1-24.
- Stearns, S. C. 1992. *The evolution of life-histories*. Oxford University Press.

Transport de la neige par le vent, observations et modélisation en Terre Adélie, Antarctique

■ (10 minutes)

A. Trouvilliez^{1&2}, H. Gallée¹, F. Naaim², C. Genthon¹, V. Favier¹

¹LGGE, Saint-Martin d'Hères, 38402, France (alexandre.trouvilliez@lgge.obs.ujf-grenoble.fr)

²CEMAGREF, UR ETNA, Saint-Martin d'Hères, 38402, France (florance.naaim@cemagref.fr)

Résumé

Le Bilan de Masse de Surface (BMS) de la calotte antarctique est probablement la seule importante contribution négative à la hausse du niveau moyen des mers. La contribution de la neige soufflée semble jouer un rôle important dans le BMS à la côte antarctique, particulièrement aux endroits où les vents sont violents. Le Modèle Atmosphérique Régional est un modèle développé au LGGE possédant un module de neige soufflée. Pour valider ce module, des instruments spécifiques à la mesure de neige soufflée, des FlowCaps, ont été installés près du camp d'été de Cap Prud'homme, en Terre Adélie, en ajout aux mesures météorologiques classiques. Une comparaison des événements de neige soufflée observés par les FlowCaps et modélisés par le MAR est faite. La comparaison porte sur le mois de janvier 2010. La météorologie générale de la région tout comme les événements de neige soufflée semblent bien reproduits par le modèle

Introduction

La neige soufflée représente une part importante du Bilan de Masse de Surface, surtout à la côte. Ce serait même le processus le plus important des composantes négatives du BMS dans les zones de glace bleue (Genthon et al., 2007). Sa modélisation revêt une forte importance pour appréhender l'avenir de la calotte. Actuellement aucun des modèles de circulation générale utilisés par le GIEC ne prend en compte la neige soufflée. Un Modèle Atmosphérique Régional (le MAR) est actuellement développé au Laboratoire de Géologie et de Géophysique de l'Environnement (LGGE). Il possède un module de neige soufflée déjà opérationnel (Gallée et al., 2001 ; Gallée et al., 2005). Il pourrait ainsi permettre d'évaluer l'erreur faite sur le BMS en Antarctique par les modèles sur la non prise en compte de ce processus physique.

La validation d'un module de neige soufflée est difficile de part le peu d'observations fiables de mesures de flux de neige soufflée en milieu polaire existantes (Budd et al., 1965, Mellor et Fellers, 1986, Mann et al., 2000, Scarchilli et al., 2010). Dans le but d'obtenir des mesures de neige soufflée valides tant au niveau événementiel que quantitatif, des capteurs spécifiques à la mesure de neige soufflée ont été installés en Terre Adélie. Ces capteurs ont été fixés sur une station météorologique déjà existante nommée D3 à 300m de la station de Cap Prud'homme (66°41S, 139°55'E, altitude 30m). Des doutes ont été émis sur la validité des mesures de flux obtenus par les capteurs en se basant sur la calibration des capteurs (Cierco et al., 2007, Naaim et al., 2010). Nous n'utiliserons les FlowCaps qu'au niveau événementiel où leur qualité n'a jamais été mise en cause.

Le mois de janvier est étudié pour plusieurs raisons. D'une part durant cette courte période différents phénomènes météorologiques se sont produits (précipitations neigeuses et aqueuses, neige soufflée, jours blancs, etc.). D'autre part, les observations des Stations Météorologiques Automatiques (SMA) ont pu être vérifiées par du personnel présent sur place.

Observations et résultats

Description du MAR

Les principales caractéristiques du module couplé atmosphère-manteaux neigeux-neige soufflée vont être décrites. Ce module est une version remaniée de celui précédemment publié (Gallée et al., 2001 ; Gallée et al., 2005). Une description complète de la dynamique atmosphérique est disponible dans Gallée et Shayes (1994).

La dynamique atmosphérique au sein du MAR est basée sur l'approximation hydrostatique des équations primitives. La coordonnée verticale est la pression normalisée. Le sommet du modèle est situé au niveau de pression 1Pa. La paramétrisation de la turbulence de la Couche Limite de Surface (CLS) prend en compte l'effet stabilisateur par la neige soufflée (Gallée et al., 2001).

Les équations pronostiques sont utilisées pour décrire 5 espèces d'eau (Gallée, 1995) : l'humidité spécifique, l'eau nuageuse, les cristaux de glace, les goutte d'eau et les particules de neige. La paramétrisation de la microphysique

nuageuse est issue des travaux de Kessler (1969), Lin et al. (1983), Meyers et al. (1992) et Levkov et al. (1992). Le flux de neige soufflée est une source directe dans l'équation pronostique des particules de neige. L'influence du poids de ces particules sur les vents catabatiques est donc prise en compte. De plus, la sublimation de ces particules aériennes de neige est une contribution directe au budget d'humidité et au bilan thermique.

Les calculs des transferts radiatifs à travers l'atmosphère sont basés sur les travaux de Morcrette (2002) et identiques à ceux utilisés dans les réanalyses de ERA-40. Les particules de neige soufflée sont plutôt de petites tailles (Walden et al., 2003) et peuvent avoir un impact sur les transferts radiatifs. L'influence de ces particules de neige sur la profondeur optique est pris en compte (Gallée et Gorodetskaia, 2010).

Les processus de surface dans le MAR sont modélisés par le schéma SISVAT (Soil – Ice – Snow – Vegetation – Atmosphere – Transfert). Les caractéristiques du sol sur la calotte antarctique sont celles de la neige continentale. L'influence de l'érosion-dépôt de neige sur la rugosité de surface est prise en compte en permettant à la longueur de rugosité d'augmenter en fonction du vent lorsque la neige est érodée. Le temps de formation des sastrugi est pris comme étant d'environ une demi-journée (Andreas, 1995) ; la longueur de rugosité peut augmenter jusqu'à 10mm pour un vent d'une vitesse de 20 m/s. La longueur de rugosité peut diminuer lorsqu'une précipitation se produit sans déplacement de cette neige. Dans ce cas, les sastrugi sont supposés être progressivement enterrés par la neige déposée. Les sastrugi font parti de la rugosité de surface et de ce fait sont responsables d'une partie de la friction de vélocité qui dissipe une partie de l'énergie disponible pour l'érosion de la neige par le vent. La contribution de la forme des sastrugi sur la décroissance de l'efficacité du flux de neige érodée est prise en compte dans le MAR d'après Marticorena et Bergamatti (1995). La densification de la neige par le vent est également incluse dans SISVAT. La densité des particules de neige soufflée déposées est, contrairement aux articles précédents, basés sur la paramétrisation de Kotlyakov (1961) :

$$\rho = 104 (V - 6)^{0.5}$$

Avec ρ la densité en kg/m^3 , et V supérieur à 6 m/s la vitesse des vents.

La densification du manteau neigeux par le vent implique une augmentation de la vitesse de frottement seuil permettant l'érosion. Le modèle avec le module de neige soufflée qui vient d'être esquissé a besoin de données pour vérifier sa validité dans les conditions antarctiques extrêmes.

Description du site

Les sites d'observations sont proches du camp d'été franco-italien de Cap Prud'homme (CP) situé à près de 5 km de la station de Dumont D'Urville (DDU). A cette dernière, un long enregistrement de variables météorologiques est disponible. Une station météorologique a également été déployée en 1984 au point appelé D10 situé à 4 km de CP sur la route du Raid qui relie CP à Dôme Concordia. Les enregistrements montrent que de puissants vents catabatiques soufflent dans cette région pouvant atteindre les 200 km/h. De telles occurrences et vitesses de vent sont responsables d'une fréquente présence de neige soufflée en Terre Adélie. Cette occurrence était déjà frappante lors de l'expédition du commandant Charcot entre 1949-51 à Port Martin. Pour estimer le BMS, un observatoire a été déployé à la côte depuis 2004. Les résultats montrent que le BMS est négatif dans le premier 1km côtier souvent constitué de glace bleue avant de devenir positif à l'intérieur des terres. La neige soufflée est le terme négatif le plus important du BMS dans cette zone (Genthon et al., 2007). Ce site se révèle être un endroit intéressant pour l'acquisition de mesures de neige soufflée.

Pour réaliser ces mesures, des capteurs spécifiques à la neige soufflée ont été installés, des FlowCaps de IAV Technology (Chritin et al., 1999). Ils permettent de mesurer la pression acoustique créée par les particules de neige soufflée et d'en déduire le flux de neige. Ils sont composés dans le cas de cette installation de 3 tubes de 1m installé verticalement entre 0 et 3 m de hauteur. Ils sont placés à un point appelé D3, à 900 m de CP, au niveau de l'équilibre du BMS. De récentes études ont montrées que cette valeur de flux était surestimée (Cierco et al., 2007 ; Naaim et al., 2010). Par contre ils se révèlent fiables au niveau de l'occurrence de transport. L'avantage de ces capteurs réside dans leurs robustesses et leurs installations dans la zone de saltation ce qui permet de détecter le transport même en cas de faible flux.

Une SMA avec mesure de température et d'humidité relative de l'air, de vitesse et de direction des vents et de hauteur de neige est associée à la mesure de neige soufflée faite par les FlowCaps. Toutes ces mesures sont faites à 2m de hauteur et moyennées sur une demi-heure à partir de mesures réalisées toutes les 10s. Une autre SMA identique à celle de D3 est installée au point nommé D17 situé à 9km de CP. Cette dernière est par contre située en zone de BMS positif et montre des variations importantes d'accumulation à l'échelle du kilomètre. Bien qu'éloignée de seulement 7km, les 2 stations possèdent de fortes différences en terme de SMB et il est important de vérifier la météorologie sur ces 2 sites.

Résultats

Le MAR a été initialisé avec une grille de 5km autour des points de D3 et D17. 60 niveaux verticaux ont été simulés avec une forte résolution dans les couches basses de l'atmosphère. Le premier niveau se trouve à 2m de hauteur où se

font les mesures météorologiques. Par contre cela ne permet pas de mesurer la forte concentration de neige soufflée dans la couche de saltation. Une simulation en 2-D avec une résolution beaucoup plus fine près de la surface a été faite. La comparaison des flux à 2m de hauteur entre les 2 simulations montrent des concentrations proches.

La figure 1 montre les températures observées et celles simulées à D17 à 2m au-dessus de la surface.

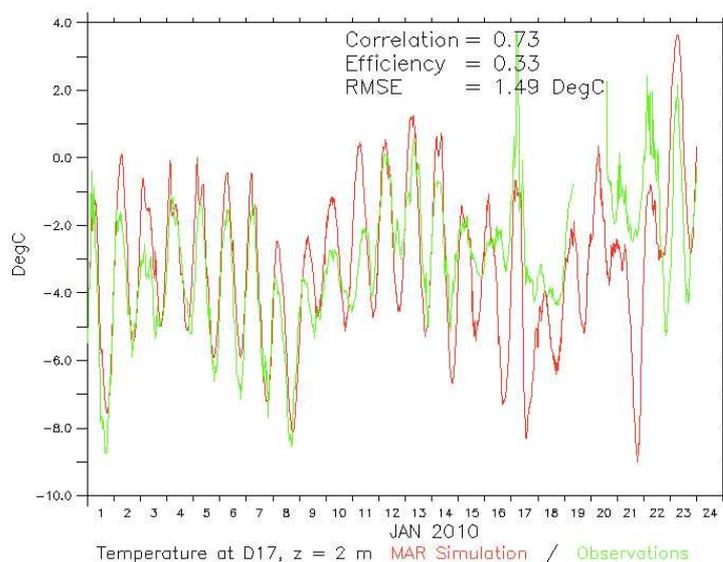


Figure 2 Température à D17 à 2m de hauteur observée (vert) et modélisée (rouge) lors du mois de janvier 2010

Le test statistique de Nash et Sutcliffe (1970) est utilisé pour comparer les deux températures. Il est défini comme :

$$E = 1 - \text{RMSE}^2 / \sigma^2$$

Où σ et RMSE sont respectivement l'écart type et l'erreur quadratique moyenne de la température simulée.

Ce test varie entre $-\infty$ et 1. Plus la valeur est proche de 1, plus la modélisation est bonne. Une valeur positive correspond à un RMSE supérieur à la variance, justifiant ainsi une modélisation plus fidèle que la variance des données. La corrélation entre les deux températures est forte (0,73) avec un test positif (0,33). Le MAR surestime la température du cycle diurne, surtout le 14 janvier. Cette surestimation probablement due à une surestimation (sous estimation) des courtes (longues) longueur d'ondes durant la journée (nuit) et peut être expliqué par une sous estimation de la couverture nuageuse.

La figure 2 montre la vitesse des vents demi horaire observées à D17 à 2m de hauteur observés et simulés par le MAR.

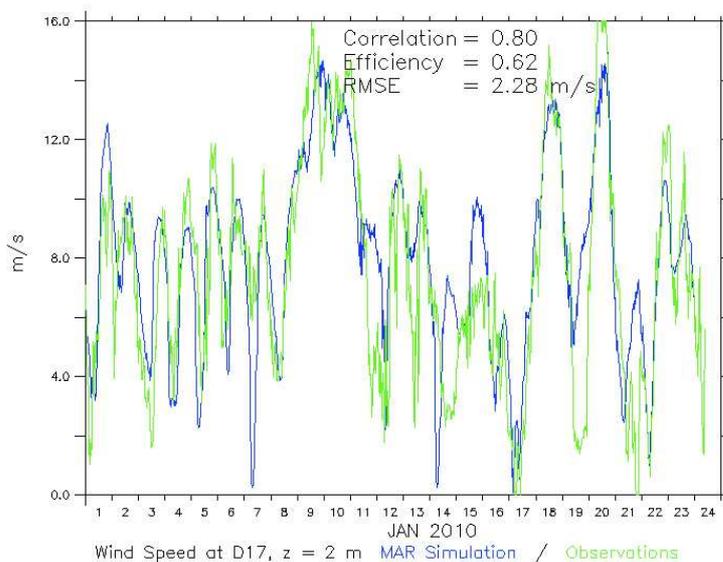


Figure 3 Vitesse de vent à D17 à 2m de hauteur observée (vert) et modélisée (bleu) lors du mois de janvier 2010

La corrélation entre les deux est plus importante que pour la température (0,80) avec un test statistique encore meilleur (0,62). Les maxima et leurs temporalités sont bien reproduits également exception faite du 15 janvier où le Mar surestime les vents. Cette bonne modélisation peut être expliquée par la présence de radiosondages journaliers. Ces derniers sont utilisés dans les analyses de l'ECMWF qui contraignent le modèle aux limites.

Le MAR simule de manière correcte la météorologie sur la région de Terre Adélie et les paramètres clefs que sont la vitesse des vents et la température. L'étude sur la neige soufflée peut être menée. La figure 3 représente les événements de neige soufflée vu par les capteurs acoustiques et ceux simulés par le MAR.

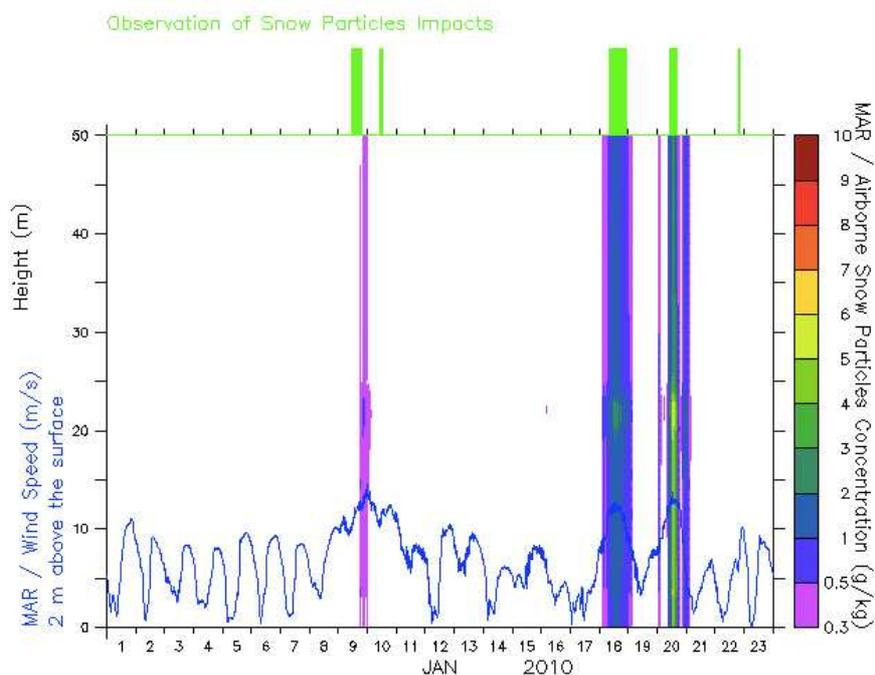


Figure 4 Episodes de neige soufflée observés (barres vertes supérieures) et modélisés (échelle colorimétrique) par rapport à la vitesse des vents (courbe bleue) à D3 lors du mois de janvier 2010

Trois épisodes de neige soufflée sont simulés par le MAR le 9 puis le 18-19 et enfin le 20-21 janvier de manière concomitante avec les Flowcaps. L'épisode du 22 janvier vu par les FlowCaps n'est pas modélisé, cependant le MAR sous estime la vitesse des vents cette journée. Le MAR est donc capable de reproduire la temporalité des événements de neige soufflée lorsque la météorologie est bien simulée.

Discussion et conclusion

La région de Terre Adélie est une zone intéressante pour étudier la neige soufflée. De part la vitesse des vents importantes et leur fréquence, c'est un processus physique souvent présent. Les variables météorologiques modélisées proche de la côte par le MAR sont en accord avec les observations sauf un biais chaud dans le cycle diurne. L'évènementiel de neige soufflée est également proche des observations quand la vitesse des vents est bien modélisée. Une modélisation sur de plus longues périodes permettrait de tester l'adéquation du MAR dans d'autres conditions. Une comparaison avec des valeurs de flux est également nécessaire pour comparer la modélisation du MAR et pouvoir, s'il est validé, estimer l'erreur faite par les modèles de circulation générale sur le BMS de l'Antarctique en ne prenant pas en compte ce processus.

Remerciements.

Merci au programme européen ICE2SEA et à l'IPEV pour son soutien logistique et financier.

Références

- Andreas, E.L, (1995), Physically based model of the form drag associated with sastrugi, U.S. Army Cold Regions Research and Engineering Laboratory. Report, United States, CRREL Report No: CR 95-16.
- Budd, W. F., W. R. J. Dingle and U. Radok, (1965), The Byrd Snow Drift Project: Outline and basic Results, American Geophysical Union, Antarctic Research Series 7, 71 – 134.
- Chritin, V., Bolognesi, R. and H. Gubler, (1999), Flowcapt: a new acoustic sensor to measure snowdrift and wind velocity for avalanche forecasting, Cold Regions Science and Technology, 30, 125 – 133.
- Cierco, F.X., NaaimBouvet, F., and H. Bellot, (2007), Acoustic sensors for snowdrift measurements: How should they be used for research purposes?, Cold Regions Science and Technology, 49, 74 – 89.
- Duynkerke, P. G., (1988), Application of the E- closure model to the neutral ϵ and stable boundary Layer, J. Atmos. Sci, 45, 865–880.

- Gallée, H., and G. Schayes, (1994), Development of a Three Dimensional Mesogamma Primitive Equations Model, Katabatic Winds Simulation in the area of Terra Nova Bay, Antarctica, *Monthly Weather Review* 122, 671 – 685.
- Gallée H., (1995), Simulation of the mesocyclonic activity in the Ross Sea, Antarctica, *Monthly Weather Review* 123, 2051--2069.
- Gallée, H., Guyomarc'h, G., and E. Brun, (2001), Impact of Snow Drift on the Antarctic Ice Sheet Surface Mass Balance: Possible Sensitivity to Snow Surface Properties, *Boundary-Layer Meteorol.* 99, 1 – 19.
- Gallée, H., Peyaud, V., and I. Goodwin, (2005), Simulation of the net snow accumulation along the Wilkes Land transect, Antarctica, with a regional climate model, *Ann. Glaciol.*, 41, 17 – 22.
- Gallée, H., and I. Gorodetskaya, (2010), Validation of a limited area model over Dome C, Antarctic Plateau, during winter, *Climate Dynamics*, 23(1) 61 – 72.
- Genthon, C., P Lardeux and G. Krinner, (2007), The surface accumulation and ablation of a blue ice area near Cap Prudhomme, Adélie Land, Antarctica, *J. Glaciol.*, 183, (53) 635-645.
- Kessler, E., (1969), On the distribution and continuity of water substance in atmospheric circulations, *Met. Monograph*, 10, No.32, American Meteorological Society, Boston, 84 pp.
- Kotlyakov, V.M., (1961), Results of a Study of the Processes of Formation and Structure of the Upper Layer of the Ice Sheet in Eastern Antarctica, *Antarctic Glaciology*, 55, IAHS Press, 88 – 99.
- Levkov, L., B. Rockel, H. Kapitza and E. Raschke (1992), 3D Meso-Scale Numerical Studies of Cirrus and Stratus Clouds by their Time and Space Evolution, *Contrib. Atmos. Phys.* 65, 35–58.
- Lin, Y.J., Farley, R.D., and H.D. Orville, (1983), Bulk parameterization of the snow-field in a cloud model, *J. Climate. Appl. Meteor.*, 22, 1065-1092.
- Mann G.W., Anderson P.S., and S.D. Mobbs, (2000), Profile measurements of blowing snow at Halley, Antarctica, *J. Geophys. Res.*, 105, 24491 – 24508.
- Marticorena, B., and G. Bergametti, (1995), Modeling the atmospheric dust cycle: 1. Design of a soil-derived dust emission scheme, *J. Geophys. Res.*, 100, 16,415–16,430.
- Mellor M. and G. Fellers, (1986), Concentration and flux of wind-blown snow, US Army Corps of Engineers, Special Report 86-11.
- Meyers, M.P., P.J. DeMott, and W.R. Cotton, (1992), New primary ice nucleation parameterizations in an explicit cloud model, *J. Appl. Met.*, 31, 708-721.
- Morcrette, J.J., (2002), Assessment of the ECMWF model cloudiness and surface radiation fields at the ARM-SGP site, *Mon. Wea. Rev.*, 130, 257-277.
- Nash, J.E. and J.V. Sutcliffe, (1970), River flow forecasting through conceptual models part I A discussion of principles. *Journal of Hydrology*, 10 (3), 282-290.
- Naaïm-Bouvet F., H. Bellot and M. Naaïm, (2010), Back analysis of drifting snow measurements over an instrumented mountainous site, *Annals of Glaciology*, 51(54).
- Scarchilli, C., M. Frezzotti, P. Grigioni, L. Silvestri, L. Agnoletto, and S. Dolci, (2010), Extraordinary blowing snow transport events in East Antarctica, *Clim Dyn*, 34(7-8), 1195 – 2306.
- Walden, Von P., Stephen G. Warren and E. Tuttle, (2003), Atmospheric Ice Crystals over the Antarctic Plateau in Winter, *J. Appl. Meteor.*, 42, 1391–1405.
- Comité National Français des Recherches Arctique et Antarctique; 7^{èmes} Journées Scientifiques, Paris, 19 et 20 mai 2011, Résumé yy, X-X

Comprehensive isotopic composition of nitrate in the Antarctic atmosphere and surface snow: Towards interpretation of the polar ice core record

■ (20 minutes)

William C. Vicars, Joseph Erbland, Joël Savarino

Laboratoire de Glaciologie et Géophysique de l'Environnement, CNRS, Université Joseph Fourier, St. Martin d'Hères, 38400, France
(william.vicars@lgge.obs.ujf-grenoble.fr)

Résumé

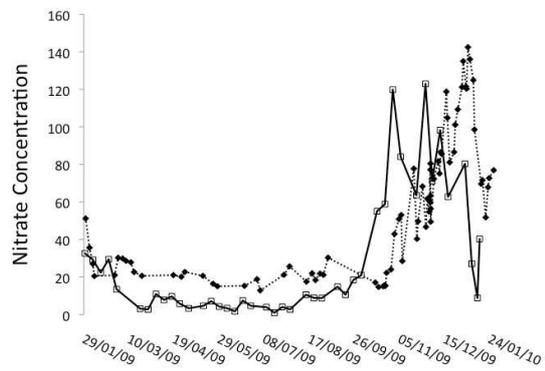
Le nitrate (NO_3^-) est le produit final de l'oxydation des oxydes d'azote et est l'ion le plus abondant de la glace et de la neige polaire. Sa composition isotopique devrait permettre d'obtenir des informations pertinentes sur les conditions passées de l'activité chimique de l'atmosphère en lien avec les changements climatiques. Il est cependant nécessaire d'étudier d'abord comment le signal atmosphérique est archivé dans la neige et la glace. Nous reportons dans cette étude les compositions isotopiques en azote ($\delta^{15}\text{N}$) et en oxygène ($\delta^{17}\text{O}$ and $\delta^{18}\text{O}$) du nitrate des premiers millimètres de neige et de l'atmosphère au cours d'un suivi sur toute l'année, travail effectué dans le cadre du programme NITEDC 1011 soutenu par l'IPEV. Les résultats préliminaires indiquent que la couche de surface en contact directe avec l'atmosphère préserve bien le signal atmosphérique.

Introduction

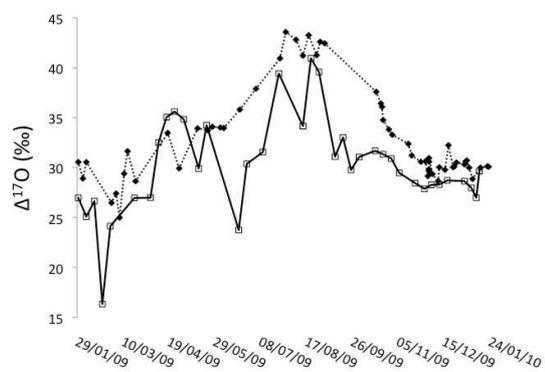
Atmospheric nitrogen oxides ($\text{NO}_x = \text{NO} + \text{NO}_2$) play a key role in the biogeochemical cycling of reactive nitrogen and can have a significant impact on the oxidative capacity of the atmosphere. Nitrate (NO_3^-), the final product of the atmospheric oxidation of NO_x , is one of the most abundant ions present in polar ice and snow. There has been a great amount of interest in using the polar ice core record of NO_3^- concentration and isotopic composition to assess past levels of atmospheric NO_x and to infer historic variations in NO_3^- production pathways. $\Delta^{17}\text{O}$ values for NO_3^- are deemed especially important as they are indicative of NO_x interactions with important atmospheric oxidants (e.g., O_3 and OH) and may reflect the overall oxidative capacity of the atmosphere (Morin et al., 2008). However, strong post-depositional processing (photolysis of NO_3^- and desorption/evaporation of HNO_3) in snow can lead to significant isotopic fractionation within the upper snow pack, particularly for nitrogen isotopes, thus obscuring the isotopic signal and complicating the interpretation of long-term ice core records of nitrate (Frey et al., 2009). This is particularly true for sites with low snow accumulation rates, such as Dome C. It is hypothesized that the upper-most snow layer maintains an approximate equilibrium with the lower atmosphere and that the atmospheric isotopic signal is preserved in this "skin layer," however this has yet to be established in field studies. A primary goal of this project was to establish the atmosphere/snow transfer of the NO_3^- isotopic signal, particularly the $\Delta^{17}\text{O}$ anomaly, which reflects the relative importance of different NO_3^- formation pathways.

Observations et resultants

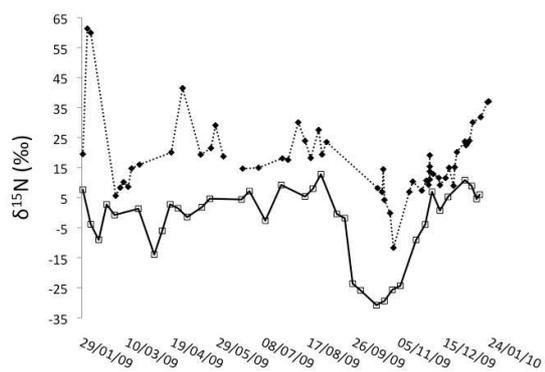
Snow and atmospheric sampling was conducted throughout the period of January 2009 – January 2010 at Dome C, Antarctica (75.1° S, 123.3° E). Atmospheric particle samples were collected on glass fiber filters using a high volume sampler operated at 1 m³ min⁻¹. Surface snow samples (skin layer, upper 3-5 mm) were collected at regular intervals. These two sample types were analyzed for both the concentration and isotopic composition of NO_3^- . Concentration measurements for both sample types are displayed in Figure 1a, while measurements of $\Delta^{17}\text{O}(\text{NO}_3^-)$ and $\delta^{15}\text{N}(\text{NO}_3^-)$, referenced against VSMOW and atmospheric N_2 , are reported as per mil (‰) in Figures 1b and 1c, respectively. NO_3^- concentrations in the surface snow and atmosphere at Dome C were relatively low (ranging from 150-300 ppb and 10-20 ng m⁻³, respectively) for most of the year; however, atmospheric concentrations increased rapidly with the return of the polar day (September/October), reaching maximum values of more than 100 ng m⁻³ in October and November. Concurrently, the $\delta^{15}\text{N}$ of NO_3^- in the skin layer drops sharply, suggesting isotopic fractionation via photolysis, which is known to lead to the removal of lighter NO_3^- isotopologues from the snowpack. These observations suggest that the photolysis of NO_3^- in the surface snow acts as a source of NO_x to the local atmosphere during the summer. This locally produced NO_x is then reoxidized and deposited as NO_3^- to the snow surface, as suggested by the seasonal maxima in surface snow NO_3^- (1.4 ppm) occurring in December, shortly after the maxima in atmospheric concentration.



(a)



(b)



(c)

Figure 1. Surface snow and atmospheric NO_3^- at Dome C during 2009: (a) NO_3^- concentrations, (b) $\Delta^{17}\text{O}(\text{NO}_3^-)$ and (c) $\delta^{15}\text{N}(\text{NO}_3^-)$.

Discussion et conclusion

Variations in the oxygen isotopic composition of NO_3^- in the surface snow closely follow those of atmospheric NO_3^- . In the winter, the $\Delta^{17}\text{O}(\text{NO}_3^-)$ of both surface snow and aerosols reach maximum values (40-45 ‰), reflecting an increased interaction of NO_x with ozone (O_3), which possesses a strongly positive oxygen isotope anomaly ($\Delta^{17}\text{O}$). The lowest $\Delta^{17}\text{O}(\text{NO}_3^-)$ values (25-30 ‰) for surface snow and aerosols are observed in the late spring/summer when O_3 concentrations are at a seasonal low and atmospheric NO_3^- production occurs predominantly through reaction of NO_x with the hydroxyl radical (OH). $\delta^{15}\text{N}(\text{NO}_3^-)$ values of surface snow also reflect the basic atmospheric trend, with lowest values occurring during the late spring/early summer, when photolysis of snowpack NO_3^- results in high levels of atmospheric NO_x and NO_3^- . However, skin layer $\delta^{15}\text{N}(\text{NO}_3^-)$ values are consistently enriched by 10-20 ‰ over the atmospheric signal throughout most of the year, indicating strong post-depositional processing of nitrogen isotopes, even in the skin layer.

For both the $\Delta^{17}\text{O}$ and $\delta^{15}\text{N}$ of NO_3^- , an approximate equilibrium between the atmosphere and skin layer is achieved in the late spring/early summer, when atmospheric NO_3^- concentrations reach their annual maxima. This strongly suggests that NO_3^- removal and subsequent recycling is very intense and most likely composed of more than one cycle (i.e., removal, atmospheric processing, re-deposition and/or export). Information on these cycles is critical to the development of a conceptual view of NO_3^- recycling at the snow surface on the Antarctic plateau.

Remerciements

The authors would like to thank Jean Martins and Erwann Vince of the Laboratoire d'étude des Transferts en Hydrologie & Environnement (LTHE) for their assistance in preparing bacterial cultures. The research leading to these results has received funding from the European Community's Seventh Framework Programme (FP7/2007-2013) under grant n° 237890. This work was also supported by the French Polar Institute (IPEV) NITEDC program under grant n° 1011 and by the Institut national des sciences de l'Univers (INSU) program LEFE

Références

- Frey, M. M., J. Savarino, S. Morin, J. Erbland and J. M. F. Martins, (2009), Photolysis imprint in the nitrate stable isotope signal in snow and atmosphere of East Antarctica and implications for reactive nitrogen cycling, *Atmos. Chem. Phys.*, 9, 22, 8681-8696.
- Morin, S., J. Savarino, M. M. Frey, N. Yan, S. Bekki, J. W. Bottenheim and J. M. F. Martins, (2008), Tracing the origin and fate of NO_x in the arctic atmosphere using stable isotopes in nitrate, *Science*, 322, 5902, 730-732.

Le projet OPTIMISM: observation des processus impactant le bilan de masse de glace de mer.

■ (20 minutes)

F. Vivier

LOCEAN/IPSL, Université Pierre et Marie Curie, 75005 Paris, France (fvi@locean-ipsl.upmc.fr)

Résumé

La glace de mer arctique décroît rapidement, à un rythme dépassant les prévisions des modèles de climat. Les observations in situ sont clés non seulement pour documenter les changements en cours, valider les mesures satellites, mais aussi mieux comprendre et représenter les processus régissant le bilan de glace, dans la perspective d'améliorer les modèles. Un aspect central du projet OPTIMISM, réunissant 5 laboratoires, est le développement d'un système autonome mesurant l'évolution de l'épaisseur de glace, ainsi que les échanges de chaleur avec les fluides environnants. Il est composé du flotteur Ice-T surmonté d'un court mat météorologique (BEAR) mesurant flux turbulents et radiatifs. Les campagnes de mesures visent à analyser le bilan de masse de glace sur deux sites: l'Arctique Central d'une part, et d'autre part une polynie côtière, importante région de formation d'eau dense. Après avoir exposé le projet et l'état des développements, nous présenterons une analyse préliminaire de données issues d'un déploiement en cours au Pôle Nord.