



*Comité National Français
des Recherches
Arctiques et Antarctiques*

9^{èmes} Journées Scientifiques

16 et 17 mai 2013

**Institut océanographique
Fondation Albert I^{er}, Prince de Monaco
Paris**

Résumés des présentations

Sommaire

Angalasut, un projet pédagogique Franco-Groenlandais sur le climat	4
Antarctique, une explosion de vie.....	5
Biodiversité des astéries de l’Océan Austral.....	6
Développement des compétences et transmissions de l’expérience des techniciens en Antarctique.....	7
Diagnostic préliminaire d’une circulation d’été sur le plateau Antarctique au large de la Terre Adélie.	9
Dome C : observer le CMB en conditions de transparence atmosphérique extraordinaires	10
Etude des sources de bruit en Atlantique Nord : variations fréquentielles associées à la présence de banquise	11
Jökulhlaups et climat en Islande	12
Kerguelen et Crozet : deux archipels clés pour une mesure des retombées atmosphériques continentales dans l’océan austral.	13
L’école des pôles, une initiative de vulgarisation sur le plan national.....	18
La Cosmologie avec le fond diffus cosmologique et sa polarisation.....	19
La mitogénomique, un nouvel outil pour l’exploration de la biodiversité et de l’évolution dans l’Océan Austral	20
La neige : Un milieu vivant avec un rôle fondamental dans la régulation de la planète.....	22
Le rôle des foraminifères planctoniques dans la séquestration du CO2 dans l’Océan Austral.....	23
Les premières habitations des districts subantarctiques, les fillods.	24
Missions polaires, spatiales et sous-marines : analogie et prospective	26
Observation de la banquise arctique à partir d’un catamaran amphibie : mesures d’épaisseur de glace et profils CTD	30
Observation du rayonnement fossile depuis l’Antarctique	35
Observations hydroacoustiques dans l’océan Indien austral.....	36
Observations ionosphériques à Tromso et à Svalbard.	37
QUBIC - La Quête des Origines.....	38
Reconstruction du volcanisme terrestre par l’analyse isotopique du sulfate sur les 2500 dernières années	39
Structure de la zone de cisaillement du Mertz : caractérisation de son extension latérale et verticale	41
Suivi pédagogique Antarctique 2012-2013	43
Synthèse des observations de CO2 dans la région de Kerguelen.....	44
Un besoin de sécurité maritime dans les régions polaires - De lignes directrices à un code polaire obligatoire	45
Index des auteurs	46

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 ■ Sciences de l'Univers ■ Autres ■

Durées de présentation

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

Angalasut, un projet pédagogique Franco-Groenlandais sur le climat

■ (15 minutes)

Bourgain P. *, Thouret F. **, Therkelsen L. ***, Villez L. ****, Scarpa D. ****, Cornet V. *****,
Cousin-Klawinski A. *****

* Association Angalasut

** Mairie de Le Portel

*** Ecole Ole Lovstrom- Ikerasak, Groenland

**** Ecole Camus-LePortel, France

***** Ecole Vallois-LePortel, France

***** Nausicaa, centre de la mer de Boulogne sur Mer

Résumé

Dans le cadre d'un programme scientifique international qui a pour vocation d'étudier les interactions entre océan et glaciers sur la côte Ouest du Groenland, un projet pédagogique du nom d'Angalasut a été mis en place sur l'année scolaire 2012-2013. L'objectif d'Angalasut est de créer une passerelle entre le monde scientifique et le grand public, via l'implication et la mise en réseau d'écoles Groenlandaises et Françaises dans des activités pédagogiques associées aux observations menées par les scientifiques. Angalasut se veut également le terrain d'une rencontre culturelle entre enfants Groenlandais et Français, à travers des communications Skype, l'échange de colis, et la rédaction dans les classes d'un roman-photo. Angalasut est également en lien avec le grand public via des interviews en direct avec NAUSICAA, le centre de la mer de Boulogne sur Mer, et la réalisation d'une exposition photo. Enfin, il existe un site web trilingue (français, anglais, groenlandais) du projet.



Antarctique, une explosion de vie

■ (15 minutes)

Ferloni M.*

* Editions de Conti

Résumé

Présentation de l'exposition du même titre au musée d'Histoire Naturelle du Havre

Biodiversité des astéries de l'Océan Austral

■ (5 minutes)

Vasset N.*, Mah Christopher L.***, Ameziane N.*, Hemery L.*, Neill K.***, Eléaume M.*

* Muséum national d'Histoire naturelle, UMR 7208-BOREA MNHN-CNRS-UPMC-IRD, Département Milieux et Peuplements Aquatiques, 43 rue Cuvier 75005, Paris, France; noemie.vasset@mnhn.fr

** Smithsonian Institution, National Museum of Natural History, 10th and Constitution Ave, NW Washington, DC 20560-0163, USA

*** Marine Biodiversity and Biosecurity National Institute of Water and Atmospheric Research Ltd. Taihoro Nukurangi
Mail address: NIWA, Private Bag 14 901 Kilbirnie, Wellington, New Zealand Street address: 301 Evans Bay Parade, Greta Point, Wellington

Résumé

*La biodiversité de l'océan Austral (régionalisé entre haut et sub-Antarctique) est caractérisée par un taux d'endémisme et une proportion d'espèces cryptiques élevé. Selon le taxon considéré, ceci n'est pas toujours vérifié. Les astéries présentent une forte diversité dans l'océan Austral avec 250 espèces décrites et des traits d'histoires de vie contrastés. Nous proposons, de réévaluer leur diversité grâce à l'approche du barcode et de l'analyse morphologique. Les échantillons utilisés proviennent des campagnes CEAMARC, POKER II, ainsi que des collections du British Antarctic Survey et du NIWA. Les résultats mettent en évidence des clades monophylétiques composés de phylogroupes géographiquement isolés (*Bathybiaster loripes*); des groupes morphologiques para- ou polyphylétiques (*Rhopiella hirsuta*/*Perknaster densus*). Ceci laisse à penser qu'il pourrait exister des espèces cryptiques au sein des astéries et qu'il existerait une zonation biogéographique, pour certaines espèces.*

Développement des compétences et transmissions de l'expérience des techniciens en Antarctique

■ (15 minutes)

Villemain A., Lémonie Y.

Laboratoire d'Ergonomie du CRTD, CNAM, Paris

Résumé

L'apprentissage sur le lieu de travail est devenu un réel enjeu de recherche. Dans le cadre d'une approche développementale, l'ergonomie s'intéresse à cette question pour la conception d'environnements de travail permettant l'apprentissage et le développement de nouvelles compétences dans l'activité déployée par les opérateurs au travail (Falzon, 2005). A ce titre, l'environnement polaire devient alors une situation d'étude privilégiée (Grison, 2008) en ce qu'elle oblige au développement de nouvelles compétences et à l'apprentissage de nouveaux savoirs de la part des hivernants. Qu'est-ce qui permet à ces opérateurs d'apprendre et de se développer ? Neuf techniciens hivernants de Dumont D'Urville ont participé à l'étude. Les résultats montrent que les contraintes polaires, l'organisation du travail spécifique qui laisse de l'autonomie aux opérateurs, ainsi que les ressources disponibles permettent le développement de nouvelles compétences.

Introduction

Dans le champ de l'ergonomie de langue française, l'ergonomie constructive part du constat que l'ergonomie ne peut pas se satisfaire d'une conception statique, figée du travail qui conduirait à définir ou à concevoir des systèmes de travail adaptés, certes, mais figés et potentiellement contraignant dès lors que les opérateurs eux-mêmes évoluent. En ce sens, « l'objectif de l'ergonomie doit être le développement » (Falzon, à paraître).

Si le développement apparaît comme une finalité essentielle de l'ergonomie, l'action ergonomique se doit dès lors de concevoir des environnements de travail qui permettent le développement de l'activité dans ses multiples dimensions. Le concept d'environnement capacitant à dans ce sens été avancé comme une modélisation permettant de rendre compte des différents niveaux d'action de l'ergonomie (Falzon, 2005 ; Falzon & Mollo, 2009 ; Pavageau et al. 2007).

Les conditions extrêmes, notamment climatiques et d'isolement, rendent en effet nécessaire l'adaptation et le développement des compétences des opérateurs techniciens pour le maintien du fonctionnement de la base et la survie des personnels qui y habitent au cours de la période d'hivernage. La base DDU constitue à ce titre un terrain particulièrement propice pour rendre compte des contraintes et des ressources au développement des compétences des opérateurs. Qu'est-ce qui permet aux techniciens de DDU d'apprendre et de se développer ?

Observations et résultats

Le recueil des données a été effectué sur la base Dumont D'Urville (DDU) en Terre Adélie en Antarctique en campagne d'été 2010-2011.

L'étude a été menée auprès de neuf hivernants masculins sortant d'hivernage (Moy. 34 ans ; E.T. 12,5 ans) appartenant à neuf corps de métiers techniques différents : un électricien, un plombier, un mécanicien de véhicules, un mécanicien de précision, un chef central, un second central, un soudeur, un menuisier, un chef technique.

Les données ont été recueillies grâce à un travail en immersion d'environ 2 mois et sont de deux ordres :

(1) des observations ouvertes (et parfois participantes) de type ethnographique durant la réalisation du travail technique des hivernants ;

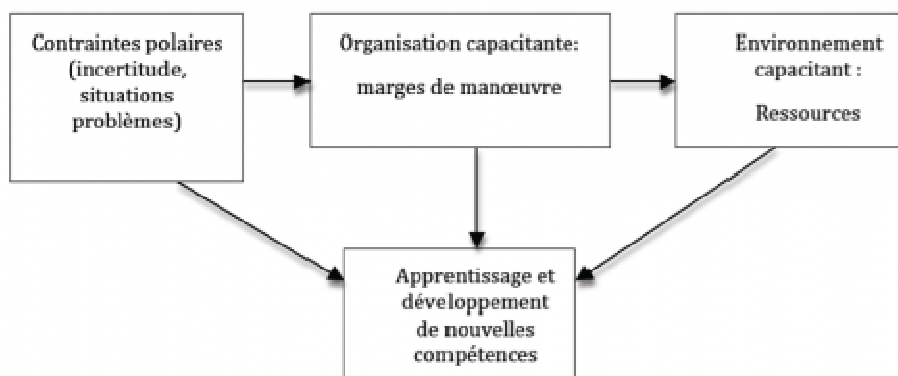
(2) des entretiens semi-directifs (Moy : 1h) ont été menés en deux temps : (a) dans un premier temps il a été demandé à l'hivernant de lister les tâches et fonctions dans le cadre de son activité professionnelle, ainsi que l'organisation de son travail dans le cours de l'hivernage ; (b) dans un deuxième temps il a été demandé aux hivernants de décrire leur activité professionnelle en mettant en avant les particularités du métier dans cet environnement durant les phases opératoires, ainsi que les ressources et stratégies développées pour résoudre les difficultés posées en cours d'hivernage.

Les résultats montrent que différentes contraintes polaires sont exercées sur les opérateurs à DDU, comme les contraintes climatiques qui vont impacter les méthodes de travail, le matériel utilisé et l'organisation du travail des techniciens.

Pour faire face à ces contraintes, les techniciens de DDU vont donc faire appel à des ressources dont ils disposent ou offertes par l'environnement de travail. Dès lors, ils vont développer des stratégies d'utilisation de ces ressources (CRAM, notes durant la relève avec le prédécesseur, documents, manuels d'utilisateurs, demande d'aide aux autres hivernants techniciens, contact mail avec un référent de l'IPEV), pour ajuster leur activité professionnelle aux contraintes. Le choix stratégique vise à préserver le degré de liberté d'action et de décision.

Les opérateurs vont donc par ce biais développer des compétences spécifiques à l'environnement polaire, à la fois organisationnelle et techniques (Figure 1).

Figure 1. Développement de nouvelles compétences en contexte polaire



Discussion et conclusions

Les contraintes polaires agissent sur l'organisation du travail de DDU. La spécificité de l'organisation du travail offre aux techniciens une marge de manœuvre et une liberté d'action, qui, associée aux ressources disponibles (internes ou externes à eux), permet le développement de nouvelles compétences. C'est en ces termes que le contexte polaire devient un environnement capacitant, permettant le développement professionnel des opérateurs, tout comme l'ergonomie constructive le préconise (Falzon, à paraître).

Cette approche soulève la question des enjeux, à la fois pragmatiques (capitaliser les expériences des hivernants transmises entre eux au moment de la relève) et épistémiques (modéliser le développement et l'apprentissage en situation polaire).

Références

- Falzon, P. L'ergonomie constructive. (à paraître). Paris, PUF.
- Falzon, P. (2005). Ergonomics, knowledge development and the design of enabling environments (p. 1-8). Presented at Humanizing Work and Work Environment HWWE'2005. Conference, Guwahati, India.
- Falzon, P., & Mollo, V. (2009). Pour une ergonomie constructive : les conditions d'un travail capacitant. *Laboreal*, 5(1), 61-69.
- Pavageau, P., Nascimento, A., & Falzon, P. (2007). Les risques d'exclusion dans un contexte de transformation organisationnelle. *Pistes*, 9 (2), 1-17.

Remerciements

Cette recherche a été menée en collaboration avec l'Institut Paul Emile Victor (IPEV) et les TAAF, dans le cadre d'un programme déposé en 2010 sur la relève de poste.

Diagnostic préliminaire d'une circulation d'été sur le plateau Antarctique au large de la Terre Adélie.

■ (5 minutes)

Martin A. *, Houssais M.N.*

* LOCEAN, UMR 7159, CNRS/UPMC/IRD/MNHN, Paris, France

Résumé

Les polynies côtières au large de la terre Adélie sont à présent connues pour être une source d'eau dense très importante après les mers de Ross et de Weddell. L'eau dense très salée formée dans ces polynies est exportée du plateau vers le bassin Australo-Antarctique où elle participe au renouvellement de l'eau Antarctique de Fond. Dans le cadre du projet ALBION (Adélie Land Bottom water formation and Ice Ocean interactioNs), des campagnes de mesures ont été effectuées chaque été depuis 2007. Ces campagnes de mesures ont permis d'avoir une bonne connaissance de la répartition et des caractéristiques des masses d'eau dans cette région. Le maintien de mouillages tout au long de l'année a rendu possible la compréhension du cycle saisonnier de la formation de l'eau dense de plateau. Pour appréhender la circulation de ces masses d'eau sur le plateau, un diagnostic préliminaire à partir de la méthode géostrophique a été effectué pour une situation de référence choisie en été 2008.

Dôme C : observer le CMB en conditions de transparence atmosphérique extraordinaires

■ (15 minutes)

Tartari A.

Laboratoire APC - Paris

Résumé

Au sol, on peut observer le ciel aux longueurs d'onde millimétriques seulement dans des bandes limitées: l'atmosphère, une couche de plusieurs dizaines de kilomètres entre nos instruments et le ciel, ne laisse passer que les fréquences qui se trouvent entre des différentes raies spectrales d'émission de molécules comme H₂O ou O₂. Mais même dans les bandes spectrales où l'atmosphère est la plus transparente, son absorption ne peut pas être négligée. Pour des observations cosmologiques, où l'on cherche des signaux très faibles, il faut absolument choisir un site d'observation offrant une atmosphère avec une épaisseur optique la plus mince possible. Dôme-C est l'un de ces sites. En particulier, l'expérience photométrique BRAIN-Pathfinder, qui a fonctionné à Dôme-C pendant l'été 2009-2010, nous a permis de caractériser la transmission atmosphérique à 150 GHz, et de confirmer que Dôme-C peut nous permettre d'observer le ciel millimétrique dans des conditions de transparence exceptionnelles.

Etude des sources de bruit en Atlantique Nord : variations fréquentielles associées à la présence de banquise

■ (15 minutes)

Sergeant A. *, Sutzmann E. *, Maggi A. **, Schimmel M. ***, Arduin F. ****, Obrebski M. ****

* Laboratoire de Sismologie - Institut de Physique du Globe de Paris

** Laboratoire de Sismologie - Institut de Physique du Globe de Strasbourg

*** Laboratoire de Sismologie - Institut de Ciències de la Terra Jaume Almera

**** Laboratoire d'Océanographie Spatiale - Ifremer

Résumé

Les signaux les plus énergétiques observés dans la bande spectrale du bruit sismique 0.1-0.33 Hz sont appelés microséismes secondaires. Ils sont générés par les interactions de vagues océaniques et sont en grande partie des ondes de Rayleigh. Nous étudions les sources de bruit associées en Atlantique Nord par une analyse couplée de la polarisation du bruit et des cartes de sources modélisées à partir d'un modèle océanographique, dans le domaine temps-fréquence. On utilise un an de données continues enregistrées à 20 stations en Arctique. Il apparaît une grande variabilité des back-azimuts et des localisations de sources avec la fréquence. Cette variabilité est en partie reliée à la bathymétrie locale. Une cause directe de la dépendance temporelle et fréquentielle des sources de bruit est l'influence de la banquise sur l'amplitude et la polarisation des microséismes qu'on observe, aux stations de l'Arctique, uniquement à courtes-périodes.

Jökulhlaups et climat en Islande

■ (15 minutes)

Van Vliet-Lanoe B.*, Schneider J.L.** , Guillou***, Chazot G.* , Naaim M.****, Salles T. ***** , Björnsson H.***** , Pálsson F.*****

* Domaines Océaniques Plouzané

** EPOC Bordeaux

***LSCE -CEA Gif/Yvette

**** IRSTEA Grenoble

***** CSIRO Australie

*****Université d'Islande , Islande

Résumé

En Islande, les jökulhlaups correspondent à des flashfloods avec des pics de débit 10-100 fois supérieurs aux crues classiques. Ils sont en relation avec une activité volcanique et hydrothermale sous-glaciaire accentuée lors du réchauffement du climat. Les jökulhlaups possèdent une activité érosive et une capacité de transport importante, ce lors d'évènements récurrents . Le réseau interconnecté de la Þjórsá and Tungnaá à l'Est du Vatnajökull est le siège de crues importantes, mettant en péril les ressources hydroélectriques du pays. L'analyse stratigraphique est basé sur l'analyse des dépôts de décrue en intercalation avec des téphra reconnus via la géochimie. Deux modélisations préliminaires en 2D et 3D ont été effectuées pour les jökulhlaup du sous-système Kaldakvísl-Þjórsá . Nos premiers résultats indiquent une activité au Tardiglaciaire, pendant l'Holocène et les temps historiques, avec pour les crues majeures une activité simultanée des différents exutoires du Vatnajökull.

Kerguelen et Crozet : deux archipels clés pour une mesure des retombées atmosphériques continentales dans l'océan austral.

■ (15 minutes)

R. Losno, A. Heimburger, S. Triquet, E. Bon Nguyen

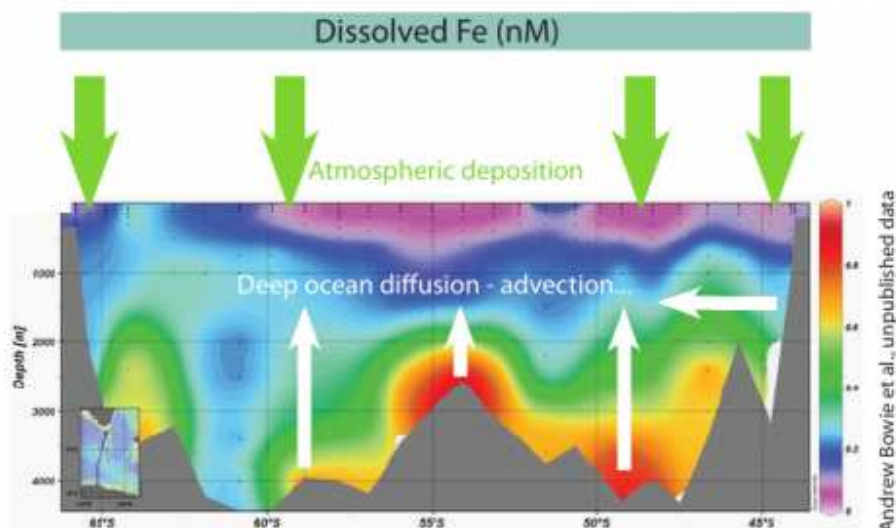
LISA - UMR CNRS 7583 - Université Paris Diderot - Université Paris Est Créteil

Résumé

Le dépôt atmosphérique apporte à l'océan des micronutriments nécessaires à la croissance du phytoplancton lui permettant d'agir par photosynthèse comme un puits de CO₂ atmosphérique. Son impact est encore mal quantifié. Le programme FLATOCOA (FLux Atmosphérique d'Origine Continentale sur l'Océan Austral) a permis de mesurer pendant 2 ans le flux de dépôt atmosphérique sur Kerguelen et sur Crozet. Ces premières mesures directes encore jamais réalisées montrent la qualité de la localisation de ces îles subantarctique. Grâce à 3 points de mesures de dépôt passif et un point par filtration active de la concentration en aérosol atmosphérique, nous avons pu déterminer que le dépôt de poussière d'origine continentale était issu de transport en altitude à très longue distance d'émissions en provenance de Patagonie ou d'Afrique Australe, qu'il est égal à 650µg/m²/j, homogène sur une vaste surface et contient en hiver une part anthropique. Une suite à ce programme est attendue.

Introduction

La production primaire océanique par photosynthèse du phytoplancton se réalise en utilisant le carbone inorganique (CO₂, bicarbonate), de l'azote réactif (nitrate, ammonium, azote organique) et de nombreux autres éléments sous différentes formes dont le phosphore, le silicium, le fer et beaucoup d'autre métaux. Certaines espèces peuvent également métaboliser le diazote atmosphérique. La lumière du soleil fournit l'énergie nécessaire ce qui limite la zone de production à l'océan de surface. Pour la plupart des milieux océaniques, la circulation verticale est bloquée par une thermocline, limitant les échanges de la masse d'eau trophique à son interaction avec l'atmosphère, à la diffusion à travers la thermocline et à la perte de matière organique par sédimentation. Cette perte est aussi un puits pour tous les nutriments et si leur stock est insuffisant leur perte doit être compensée par des apports nouveaux pour que la photosynthèse et la production primaire puisse continuer. En zone hauturière profonde la question se réduit à la comparaison des apports atmosphériques à la diffusion trans thermocline.

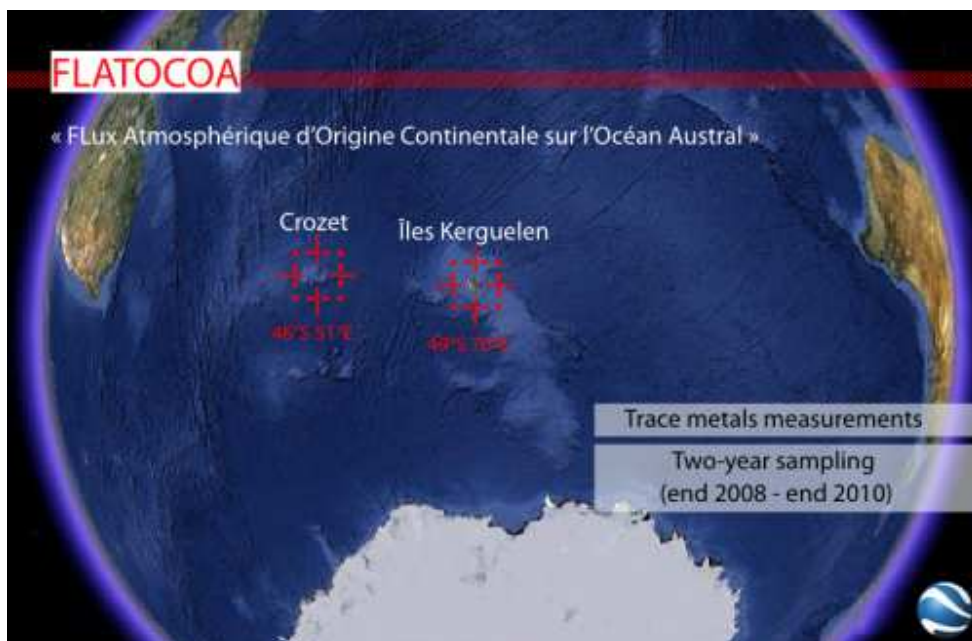


Schématisme de l'apport de nutriments à l'océan de surface, exemple du fer sur la campagne BONUS. Le dépôt atmosphérique se fait à la surface de l'océan, l'apport par diffusion se fait à partir des couches profondes plus riches en nutriments.

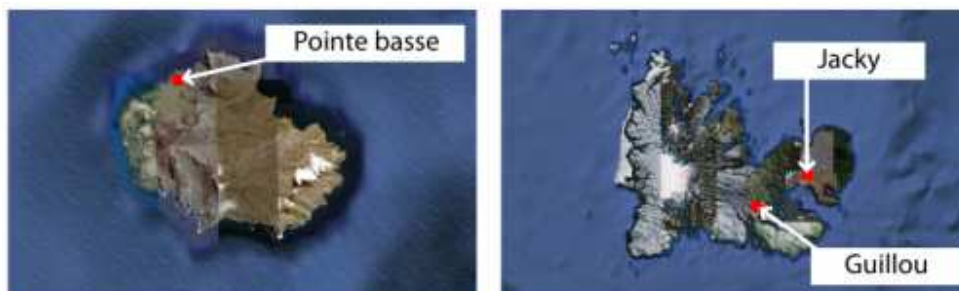
L'Océan Austral est suspecté être un puits majeur de CO₂ par l'activité photosynthétique du phytoplancton. Malgré des concentrations suffisantes en macronutriments (N, P) dans ses eaux de surface, l'Océan Austral est une région océanique de productivité faible, qualifiée de HNLC (High Nutrient Low Chlorophyll) limitée par les micronutriments, notamment en fer, qui limitent la croissance du phytoplancton et par conséquent la pompe biologique de CO₂. Hors quelques zones limitées en surface, le dépôt atmosphérique de particules d'origine continentale dans l'océan Austral constituerait l'apport majeur en micronutriments susceptible de soutenir la production primaire dans cette région. Cet Océan jouerait donc un rôle clef dans la régulation du climat par l'intermédiaire du dépôt atmosphérique de poussières minérales. Les travaux entrepris sur ce thème ont été labellisés par le programme international SOLAS (Surface Ocean Low Atmosphere Studies), voir <http://solas-int.solades.info/community/solas-science/solas-endorsement.html>.

Observations et résultats

Jusqu'à présent, les seules études expérimentales de terrain sur le dépôt atmosphérique conduites dans cette région l'avaient été sur la base de mesures ponctuelles et indirectes. L'objectif du programme **FLATOCOA** (*FLux Atmosphérique d'Origine Continentale de l'Océan Austral*) a été de combler ce manque par la mise en place d'une campagne de terrain de deux ans, entre fin 2008 et fin 2010, destinée à produire une série continue de mesures directe du dépôt atmosphérique. Ce programme a permis d'échantillonner les flux de dépôt atmosphériques aux îles Kerguelen et de Crozet, mais également l'aérosol collecté au sol à 2 m de hauteur. Un suivi ponctuel des événements pluvieux a également été mis en place. L'analyse de ces échantillons et l'interprétation des résultats obtenus font l'objet de la thèse d'A. Heimburger, de 3 publications parues ou en cours dans des revues à facteur d'impact élevé et de 9 communications dans des congrès internationaux en géosciences (voir références ci-après).



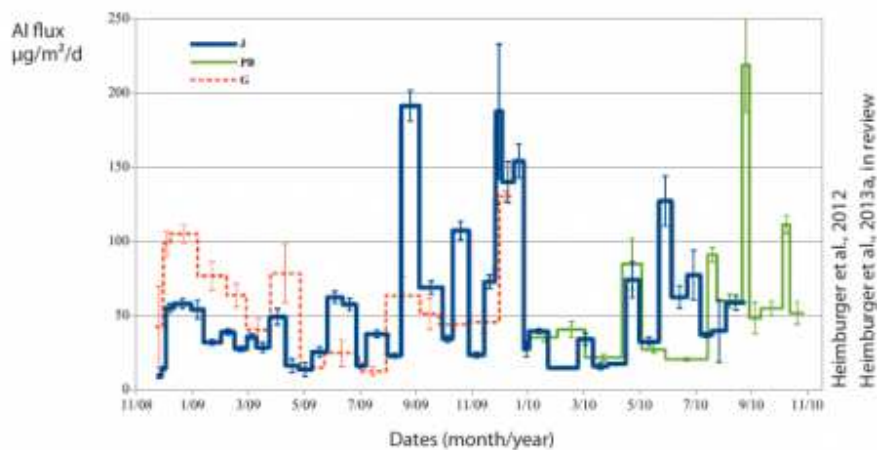
Localisation globale des points de prélèvements du programme FLATOCOA



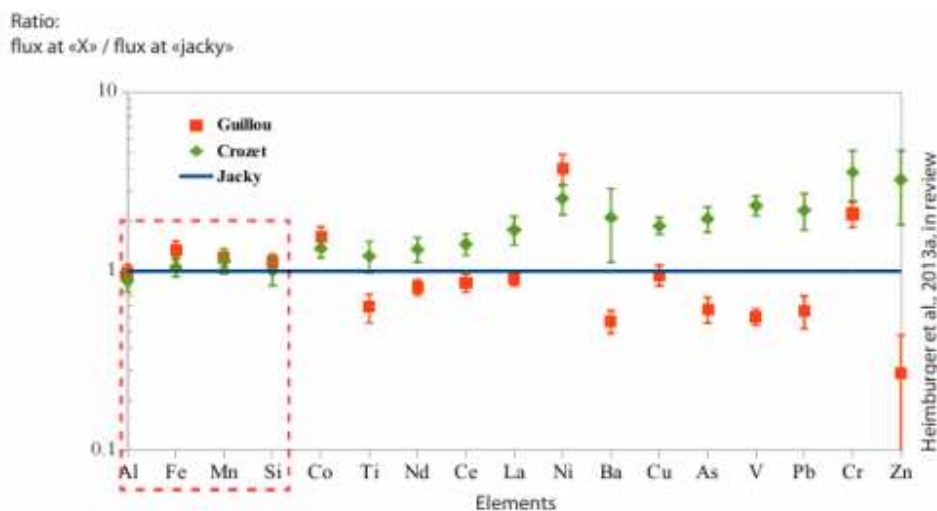
Localisation des prélèvements sur l'île de la possession à Crozet et dans l'archipel des Kerguelen

Discussion et conclusions

Les résultats ont montré que les concentrations en métaux dans l'atmosphère au niveau du sol sont très faibles (de l'ordre de 10 ng/m³ en poussières) et que les flux de dépôt d'aérosols minéral sont 20 fois supérieurs à ceux estimés par les mesures indirectes effectuées précédemment mais en bon accord avec les prévisions des modèles globaux (Heimburger et al., 2012), soit en moyenne 650 µg de poussière minérale continentale par mètre carré et par jour. La composition chimique de ces poussières correspond à peu de choses près à la composition moyenne de la croûte terrestre continentale. Les flux des éléments terrigènes majeurs (Al, Fe, Si, Mn) sont très similaires sur une distance de 1400 km (Heimburger et al, accepté 2013) séparant les deux points de mesure à Crozet et Kerguelen. Ces résultats suggèrent une grande homogénéité des flux à l'échelle régionale et permet l'extrapolation directe de ces mesures locales à une vaste zone océanique.

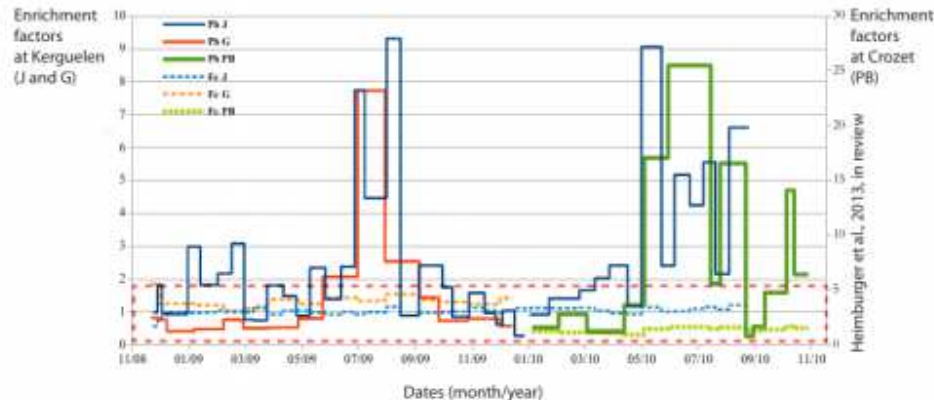


Flux de dépôt atmosphérique d'aluminium mesuré à Crozet et Kerguelen. On en déduit le flux de poussière continentale en considérant que l'aluminium représente 8% de la masse de cette poussière.



Rapport de flux moyens mesurés aux stations "Guillou" à Kerguelen et "Pointe Basse" à Crozet sur le flux mesuré à la station principale "Jacky" à Kerguelen.

Des contributions anthropiques aux flux de dépôt ont également été mises en évidence par l'analyse de traceurs de sources anthropiques (Pb, Cu ; Co, V, As) dont l'origine reste encore à découvrir entre l'Afrique Australe et la Patagonie.



Facteurs d'enrichissement du plomb et du fer en fonction du temps dans les dépôts collectés. On voit une nette saisonnalité de ce facteur d'enrichissement pour le plomb en hiver sur les 3 sites.

La solubilité de certains éléments trace (Al, Fe, Mn, La, Ce, Nd et Ti) a pu être estimée grâce à des prélèvements directs d'eau de pluie en séparant à la collecte les fractions solubles et insolubles. Les solubilités mesurées sont très élevées, supérieures à 70% pour tous les éléments à l'exception du titane (Heimburger et al., soumis 2013). Elles sont supérieures à la plupart des données reportées dans la littérature, mais comparables aux fortes valeurs de solubilité rencontrées en milieu océanique reculé.

Conclusion

Le programme FLATOCOA a permis une avancée considérable dans la compréhension du cycle des poussières minérales d'origine continentale dans l'hémisphère Sud sur l'Océan Austral et va donc contribuer fortement à l'amélioration de la précision des modèles climatiques incorporant la biogéochimie marine. Il a fourni les premières mesures de dépôt atmosphérique jamais réalisées dans cette zone et cela sur une longue période de 18 mois. L'expérience acquise dans cette aventure nous a également permis d'augmenter notre technicité expérimentale et nous a fait comprendre la nécessité de développer des stations de prélèvement entièrement automatiques à très grande autonomie si nous voulons poursuivre notre travail dans ces endroits isolés.

Remerciements

Tout ce travail n'aurait jamais pu être mené à bien sans l'aide de l'IPEV, des TAAF et des opérateurs Florent Montoya, Aurore Perot et Matthieu Campion.

Références

Revue à comité de lecture

- Heimburger, R. Losno, and S. Triquet (2013), "Solubility of iron and other trace elements over the Southern Indian Ocean", {Biogeosciences Discuss.}, 10, 6065-6092, 2013, Manuscript under review for BG.
- Heimburger, A., R. Losno, S. Triquet and E. Bon Nguyen (2013), "Atmospheric deposition fluxes of 26 elements over the Southern Indian Ocean: time series on Kerguelen and Crozet Islands", {Global Biogeochemical Cycles}, accepted for publication.
- A. Heimburger, R. Losno, S. Triquet, F. Dulac and N. Mahowald (2012), "Direct measurements of atmospheric iron, cobalt and aluminium-derived dust deposition at Kerguelen Islands", {Global Biogeochemical Cycles}, {{26}}, GB4016, doi:10.1029/2012GB004301.

Communications

- Alexie Heimbürger, Remi Losno, Sylvain Triquet, and Elisabeth Bon Nguyen, Atmospheric deposition fluxes and solubility over the Southern Indian Ocean: time series on Kerguelen and Crozet Islands. European Geosciences Union, General Assembly 2013, Vienna, 07 – 12 April 2013.
- A. Heimbürger, R. Losno, F. Dulac and N. Mahowald, Atmospheric deposition of trace elements over the Southern Indian Ocean: a time series at Kerguelen and Crozet islands. SOLAS Open Science Conference Cle Elum (WA, USA), 7 to 10 May 2012.
- S. Triquet, E. Bon Nguyen, A. Heimbürger and R. Losno, Remote atmosphere sampling and storage for mercury and very low level trace metals. SOLAS Open Science Conference Cle Elum (WA, USA), 7 to 10 May 2012.
- R. Losno, E. Quel, J. Salvador, F. Monna, S. Lafon, P. Ristori, A. Heimbürger, D. Bulnes, Z. Qu, L. Otero, A. Quesne, Y. Balkanski, S. Triquet, E. Journet, P. Ausset, D. Ruiz-Pino and G. Bergametti, Dust Emission from Patagonia (DFP). SOLAS Open Science Conference Cle Elum (WA, USA), 7 to 10 May 2012.
- Heimbürger, A., Losno, R. and Dulac, F, Atmospheric deposition of trace elements over the South Indian ocean: a time series at kerguelen islands, 2011 ASLO Aquatic Sciences Meeting, San Juan de Porto Rico, 14-18 février 2011.
- R. Losno, S. Triquet, Sandra Lafon, Alexie Heimbürger, Francois Dulac, Florent Montoya and Alain Demaret, Atmospheric transport to Kerguelen and the South Indian Ocean - One year of measurements, AGU OS – Portland (OR) 22-26 February 2010 (GEOTRACES IPY session).
- R. Losno, S. Triquet, S. Lafon, A. Heimbürger, F. Dulac, F. Montoya and A. Demaret, Deposition of trace metals and metalloids on kerguelen island the FLATOCOA program, SOLAS OSC, Barcelone, 16-15 novembre 2009.
- R. Losno , F. Dulac, S. Triquet and J.L. Colin, Summer time dust and mercury deposition at Kerguelen Island, IGAC 10th conference, Annecy, 7-12 Septembre 2008.
- R. Losno, T. Wagener, F. Dulac, C. Guieu, S. Triquet and J.L. Colin, Dust size measurement over Austral Ocean, SOLAS Open Science Conference, Xiamen, China, 6-9 mars 2007.

L'école des pôles, une initiative de vulgarisation sur le plan national

■ (15 minutes)

Thierry A.M.*, Robineau C.**, Bourgain P.**

* Institut Pluridisciplinaire Hubert Curien, Département Ecologie, Physiologie & Ethologie (CNRS - Université de Strasbourg)

** LOCEAN (anciennement)

Résumé

« L'école des pôles » est née de la volonté de jeunes scientifiques français travaillant dans les régions polaires de partager leurs expériences avec les écoles en créant un évènement sur le plan national. Avec le soutien de l'APECS et de PEI, cette initiative a donné lieu à la première semaine polaire française, du 8 au 12 avril dernier. Des activités de vulgarisation des sciences polaires telles que des webinars interactifs, des échanges par mail de questions/réponses, et une activité artistique de composition de fresques ont été proposées. Plusieurs dizaines d'écoles venues de toute la France ainsi qu'une école allemande francophone, de niveau primaire ou collège, ont participé à cette « école des pôles ». Les enseignants et élèves ont affiché la volonté d'approfondir les activités pédagogiques liées aux régions polaires et de renouveler l'expérience. Une première édition encourageante à poursuivre et développer...

La Cosmologie avec le fond diffus cosmologique et sa polarisation

■ (15 minutes)

Bigot-Sazy M.-A. *

* Laboratoire APC - Astroparticules et Cosmologie

Résumé

En 1965 a été détecté un bruit de fond cosmique, rayonnement relique du découplage des photons de la matière 380 000 ans après le Big Bang : le fond diffus cosmologique. Cette découverte a été suivie, par la détection de petites fluctuations en température, ouvrant une ère de cosmologie de précision. Depuis, ses propriétés ont été étudiées par des observations, au sol, par ballon et de l'espace, et ont permis une meilleure compréhension du contenu énergétique de l'univers et de son histoire thermique. La mesure précise de sa polarisation est la prochaine étape. La partie linéaire de la polarisation peut se décomposer mathématiquement en deux modes, mode E et mode B. Le mode E, dominant, a été détecté en 2002 par l'instrument DASI. L'enjeu actuel est donc la détection des modes B, qui constitue une sonde observationnelle de l'univers primordial. Cependant, compte tenu de sa très faible amplitude, et de l'enjeu technologique, la détection représente un défi pour la cosmologie actuelle.

La mitogénomique, un nouvel outil pour l'exploration de la biodiversité et de l'évolution dans l'Océan Austral

■ (15 minutes)

Dettaï A. *, Debruyne R. **, Gallut C. ***, Brouillet S. ***, Pothier J. ****, Couloux A. *****, Ameziane A. *****, Monniot F. *****, Lecointre G.*

* UMR 7138 Systématique Adaptation Évolution UPMC-CNRS-MNHN-IRD-ENS, Muséum national d'Histoire Naturelle

** UMS2700 CNRS-MNHN, Muséum national d'Histoire Naturelle

*** UMR7138 Systématique Adaptation Évolution UPMC-CNRS-MNHN-IRD-ENS, Université Pierre et Marie Curie

**** UFR927 Atelier de BioInformatique, Université Pierre et Marie Curie

***** Génomoscope, Centre National de Séquençage

***** UMR 7208 Biologie des Organismes Aquatiques et Écosystèmes MNHN-CNRS-UPMC-IRD, Muséum national d'Histoire Naturelle

Résumé

Si les résultats moléculaires sont extrêmement prometteurs en ce qui concerne l'étude de la biodiversité (diversité, histoire, phylogéographie) de l'Océan Austral, il reste énormément de questions posées et de groupes peu ou pas étudiés. Des techniques abordables et efficaces sont plus que jamais nécessaires. Nous présentons ici une approche prometteuse pour les animaux métazoaires qui permet de faire des études de grande ampleur sans sacrifier la précision des résultats. Les données générées sont de plus compatibles avec la plupart des études précédentes, permettant une intégration de ceux-ci. L'approche est également adaptée à la métagénomique (études de zooplancton ou de faune interstitielle par exemple), ce qui en fait un outil extrêmement puissant et versatile.

Introduction

Les études de ces dernières années ont apporté des résultats surprenants sur la biodiversité, la phylogéographie et l'évolution des groupes de l'Océan Austral. En particulier, les études de systématique moléculaire, couplant la comparaison de séquences d'ADN pour de nombreux spécimens et espèces avec les études de systématique plus classiques, ont révélé des espèces cryptiques, des lignées génétiques diversifiées et des patterns évolutifs inattendus dans de nombreux groupes. Cependant, ces études ne fournissent qu'un très petit aperçu de la biodiversité du plateau antarctique et de son évolution, et nécessitent d'être développées en des études intégratives de grande ampleur. De telles études requièrent des marqueurs de séquence facile à obtenir, et avec une haute variabilité pour fournir la précision nécessaire à des identifications moléculaires ainsi qu'à des reconstructions de l'histoire des organismes après la mise en place du courant circum polaire. Depuis 2005, une véritable révolution a eu lieu dans le domaine du séquençage ADN, avec ce qui est communément appelé « le séquençage nouvelle génération » (SNG). Ce dernier permet d'obtenir des quantités de données de plusieurs ordres de grandeur supérieurs au séquençage classique, pour une fraction du coût financier par base, ce qui permet d'envisager de manière réaliste des études de grande ampleur. Nous présentons ici une approche adaptée à l'étude comparative à très grande échelle et au séquençage nouvelle génération, et centrée sur un marqueur qui a fait la preuve de son utilité, le génome mitochondrial complet (mitogénome) des métazoaires.

Le mitogénome a été très largement employé, entier ou partiel, au cours des vingt dernières années. Les connaissances sur son évolution, sur sa composition sont légion, et il forme la base de nombreux grands projets internationaux d'étude moléculaire de la biodiversité (Barcode of Life, FishTrace, etc.). Cependant, n'employer qu'une partie du génome mitochondrial peut être insuffisant, que ce soit dans le cadre de l'identification moléculaire ou de la reconstruction des relations de parenté. Le génome mitochondrial complet est plus intéressant, mais complexe à obtenir via les techniques moléculaires classiques, ce qui le rend peu adapté à des études de grande ampleur.

Observations et résultats

Le mitogénome des métazoaires est de taille relativement constante, et on sait depuis les années 70 comment l'isoler du reste de l'ADN de la cellule en se basant sur ses propriétés physiques (revue dans Pollock et al. 2000, Dettaï et al. 2012). Reste ensuite le problème du séquençage : pour que les SNGs soient intéressantes à la fois d'un point de vue technique et coût, il faut pouvoir mélanger l'ADN de nombreux spécimens lors du séquençage et pouvoir les séparer de nouveau ensuite. Ceci est généralement fait en marquant les ADNs de chacun séparément. Ceci rajoute cependant à la fois de nombreuses manipulations, et un coût financier non négligeable, qui limitent les études. Indépendamment, Pollock et al. (2000), Timmermans et al. (2010) et Dettaï et al. (2012) ont proposé de se passer de cette étape de marquage en

sélectionnant pour être co-séquencés des espèces présentant une importante divergence entre leurs séquences mitochondriales. Ces dernières ayant une vitesse d'évolution dix fois supérieure en moyenne aux séquences nucléaires, même des espèces relativement proches (genres différents de la même famille) présentent des divergences suffisantes pour appliquer cette approche. Une fois les séquences obtenues, elles peuvent être séparées et les mitogénomes reconstruits facilement par bioinformatique. Il est alors possible d'identifier de quel spécimen provient chaque mitogénome en les comparant aux séquences de référence disponibles dans les bases de données (GenBank, Barcode of Life Database).

Nous avons réalisé des simulations pour de multiples jeux de données, et la reconstruction des mitogénomes est facilement réalisée par les logiciels courants de reconstruction de génome. Nous avons également comparé de très nombreuses séquences mitochondriales complètes pour déterminer à partir de quel degré de divergence il est possible de combiner les espèces tout en étant certain de pouvoir séparer les séquences par la suite. Il est possible d'employer des séquences de la cytochrome oxidase I (disponibles pour de très nombreux taxons) pour estimer cette divergence facilement, et une divergence supérieure à 15% suffit à garantir une bonne séparation. Ce niveau de divergence est facilement atteint, par exemple chez les ascidies antarctiques, où sur 28 espèces (Monniot et al. 2011) seules deux paires d'espèces ne pourraient pas être combinées.

Il reste à tester les différentes techniques d'extraction et de purification pour les taxons antarctiques, mais Timmermans et al. (2010) ont montré sur des insectes la viabilité de l'approche en employant des PCRS longues.

Discussion et conclusions

Les données mitogénomiques sont beaucoup plus précises que des données ne contenant qu'un fragment de séquence mitochondrial du simple fait de la longueur des séquences. L'ordre des gènes mitochondriaux peut également fournir de précieuses informations pour reconstruire les relations de parenté. Les données ainsi générées sont compatibles avec les très nombreux jeux de données mitochondriaux déjà existants, et peuvent donc être combinées avec les études et projets précédents basés sur des données mitochondriales, comme le Barcode of Life des espèces antarctiques.

Cette approche peut également être employée pour des études de métagénomique de métagènes, pour analyser et identifier en une seule fois des échantillons de zooplancton ou de faune interstitielle. Les séquences mitochondriales sont beaucoup plus variables que les séquences d'ARN 18S généralement employées pour ces études, et permettront d'atteindre un niveau de précision inégalé.

Remerciements

Nous remercions l'équipage et les participants des programmes CAML-CEAMARC (IPY project no. 53), l'Australian Antarctic Division, la Japanese Science Foundation, l'IPEV (Programmes REVOLTA 1 et 2), le CNRS, le MNHN et l'ANR (Projet Blanc ANTFLOCKS USAR no. 07-BLAN-0213-01). Ce projet fait partie de ANTEco (SCAR). Il est soutenu par le Service de Systématique Moléculaire du MNHN (UMS 2700 CNRS-MNHN), l'Action Transversale du MNHN : Taxonomie moléculaire : DNA Barcode et gestion durable des collections, et la Fondation TOTAL (projet Classification des poisons marins : les téléostéens acanthomorphes). Les séquences présentées ont été acquises dans le cadre de l'accord 2005/67 entre le Genoscope et le Muséum national d'Histoire naturelle sur le projet Macrophylogeny of life dirigé par G. Lecointre.

Références

- Dettai A, Gallut C, Brouillet S, Pothier J, Lecointre G, Debruyne R. (2012). Conveniently pre-tagged and pre-packaged: extended molecular identification and metagenomics using complete metazoan mitochondrial genomes. *PLoS One*. 7(12):e51263. Doi: 10.1371/journal.pone.0051263.
- Dettai A, Gallut C, Brouillet S, Pothier J, Lecointre G, Debruyne R. (2013). Correction: Conveniently Pre-Tagged and Pre-Packaged: Extended Molecular Identification and Metagenomics Using Complete Metazoan Mitochondrial Genomes. *PLoS One*. 8(3). doi: 10.1371/annotation/020848d7-0453-42df-bf94-40eb39f1b27a.
- Monniot, F., Dettai, A., Eleaume, M., Cruaud, C., Ameziane, N. Antarctic Ascidians (Tunicata) of the French-Australian survey CEAMARC in Terre Adelie. 2011. *Zootaxa*, 2817:1-54.
- Pollock DD, Eisen JA, Doggett NA, Cummings MP. (2000). A case for evolutionary genomics and the comprehensive examination of sequence biodiversity. *Molecular Biology and Evolution* 7: 1776-1788. <http://mbe.oxfordjournals.org/content/17/12/1776.long>
- Timmermans MJ, Dodsworth S, Culverwell CL, Bocak L, Ahrens D, Littlewood DT, Pons J, Vogler AP. (2010). Why barcode? High-throughput multiplex sequencing of mitochondrial genomes for molecular systematics. *Nucleic Acids Res.* 38(21):e197. <http://dx.doi.org/10.1093/nar/gkq807>.

La neige : Un milieu vivant avec un rôle fondamental dans la régulation de la planète.

■ (15 minutes)

Larose, C.*, Maccario L.*, Sanguino-Cassado, L.*, Dommergue A.**, Vogel T.M.*

*Environmental Microbial Genomics, Ecole Centrale de Lyon, Université de Lyon, 36 avenue Guy de Collongue, 69134 Ecully, France

**Université Joseph Fourier – Grenoble 1 / CNRS, LGGE, 54 rue Molière BP56, F-38402 Saint Martin d’Hères – France

Résumé

Une composante essentielle de l’Arctique est son manteau neigeux saisonnier. Couvrant en hiver jusqu’à 47 millions de kilomètres carrés, la neige joue un rôle prépondérant dans le système climatique de la planète. En raison des conditions extrêmes de température et de la présence restreinte d’eau liquide, la neige a longtemps été considérée simplement comme un piège à microorganismes. Cependant, nous avons pu montrer que dans la neige, les communautés bactériennes possédaient des potentialités d’adaptation aussi efficaces que celles d’environnements tempérés. Nous allons présenter les résultats d’analyses sur la diversité des microorganismes du manteau neigeux, leur structuration en communautés microbiennes et les fonctions qu’ils expriment. Ces résultats montrent que le compartiment biotique de la neige en Arctique a un rôle crucial dans la production, la dégradation, la transformation des contaminants et nutriments et constitue donc un acteur clé des cycles biogéochimiques.

Le rôle des foraminifères planctoniques dans la séquestration du CO₂ dans l'Océan Austral

■ (5 minutes)

Hova H.*, Schiebel R.*, Meilland J.*, Lo Monaco C.***, Michel E.***

* BIAF, Angers

** LOCEAN, Paris

*** LSCE, Gif-sur-Yvette

Résumé

Les foraminifères planctoniques (FP), à test en CaCO₃ fossilisable, sont responsables d'une partie du flux de carbonates dans l'océan et participent ainsi à la pompe biologique du Carbone. Notre objectif est d'évaluer la contribution des FP à la pompe biologique du Carbone ($C_{inorg\ test}/C_{org\ cytoplasme}$), aujourd'hui et dans le passé, en ciblant une zone océanique comprenant une aire puits et une aire source de Carbone : l'Océan Indien Sud et Austral. Le croisement de mesures morphométriques (biomasse, taille et poids des tests) et d'abondance des FP avec les mesures physico-chimiques de l'eau (fCO₂, DIC et chl-a) de la base de données OISO, permet d'affiner notre compréhension du système actuel des carbonates. La biomasse des FP étant fortement corrélée à la taille du test des individus, l'analyse biométrique des FP de carottes sédimentaires permettra de reconstituer l'évolution des budgets de carbonates au cours du IVaire récent dans l'Océan Austral.

Les premières habitations des districts subantarctiques, les fillods.

■ (15 minutes)

Moreigneaux Nathalie

Patrimoine historique - Terres australes et antarctiques françaises

Résumé

Les districts des Taaf ont été investis et aménagés dans les années cinquantes. Occupés au début par des militaires qui avaient installé des campements, le choix s'est rapidement imposé d'installer des habitations de types fillod. Cette intervention propose de parler de ce type d'habitation et de leur inventeur M. Fillod, habitations qui peuvent être considérées comme historiques en 2013.

Introduction

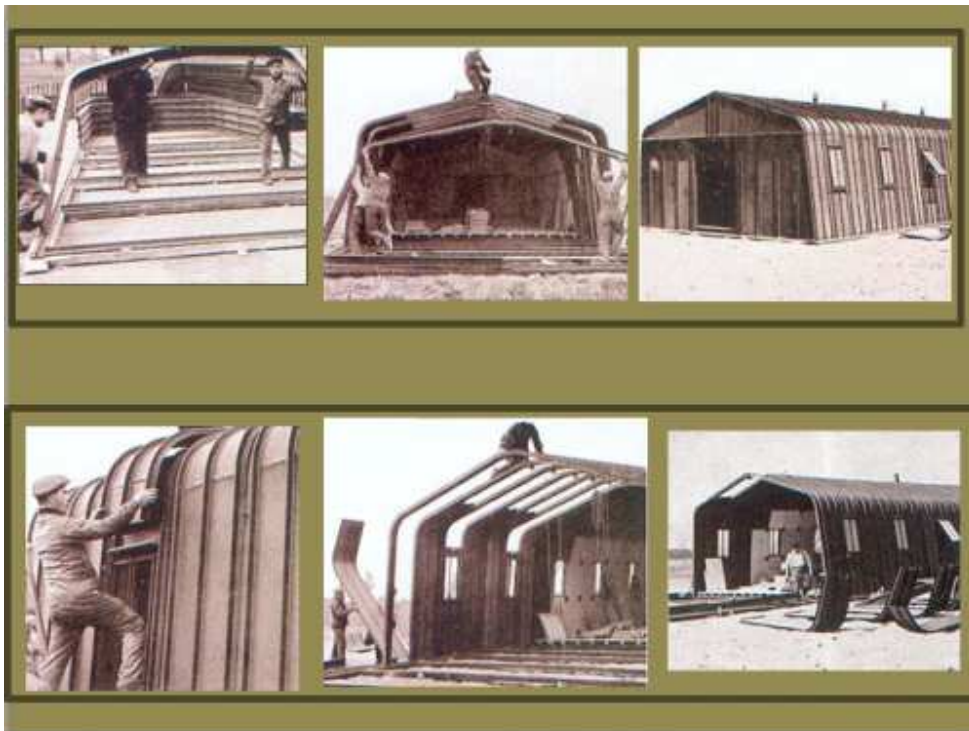
Alors que les districts austraux se mettent en place, se pose la question du choix du type d'habitation possible pour les missions permanentes.

Observations et résultats

Présentation de l'histoire du choix des fillods.

Discussion et conclusions

Les fillods aujourd'hui.





La société Fillod

Missions polaires, spatiales et sous-marines : analogie et prospective

■ (15 minutes)

Solignac A., Poupon C.

ICEBERG 76 avenue Jean Jaurès 75019 Paris

Résumé

Le 25 septembre 2012, avec le soutien du Centre National des Etudes Spatiales, le groupe de recherche ICEBERG organisait une journée d'étude réunissant des personnels opérationnels travaillant avec les équipes placées dans trois situations extrêmes : les missions spatiales de longue durée (ISS), les hivernages scientifiques isolés en Antarctique (Concordia), et les patrouilles sous-marines (SNLE). Très riche en échanges, cette journée de travail aura répondu à son double objectif : 1/ Souligner les frontières communes entre les missions spatiales, polaires et sous-marines, dont l'analogie est souvent tenue pour acquise, mais rarement illustrée de manière concrète. 2/ Etendre cette comparaison aux missions spatiales d'exploration (expédition vers la Lune, Mars, un astéroïde, ou encore un point de Lagrange), dont les échelles de distance et de temps restent sans précédent, à l'exception des missions Apollo.

Observations et résultats

Des frontières communes

Un des premiers thèmes évoqués au cours de cette journée est l'**importance des repas**, comme moment de détente et de convivialité permettant de faire face à l'isolement social et la **promiscuité** propres aux habitats confinés (partage des lieux d'aisance et d'hygiène, quartiers privés exigus, recyclage éventuel des eaux usées). Ce thème de la promiscuité amène rapidement celui de la **mixité** des équipes isolées, avec la féminisation très récente des hivernages français (depuis 2000), et l'absence actuelle de femmes à bord des sous-marins nucléaires français. Le thème de la **sexualité** est également abordé, ainsi que les problèmes posés par la contraception et l'éventualité d'une grossesse sur le terrain.

La question du **leadership** est ensuite soulevée, le chef d'une mission polaire ou spatiale n'exerçant a priori qu'une autorité fonctionnelle, là où le commandant d'un sous-marin exerce une autorité hiérarchique. La structure des missions sous-marines militaires les distinguent ainsi des deux autres contextes.

La grande diversité de mise en œuvre des **communications avec l'extérieur** est aussi soulignée très tôt : aucune communication vers l'extérieur depuis les SNLE en patrouille (mais chaque semaine de brefs messages des proches, relus par la Marine) ; communications très fréquentes entre l'espace et le sol au cours d'une mission orbitale (au point de relativiser l'isolement ressenti dans ce contexte) ; communications moins fréquentes entre une station polaire et son siège administratif en métropole (surtout lors des missions de très longue durée). En outre, dans le contexte spatial et polaire, les nouveaux moyens de communication ont des conséquences organisationnelles et psychologiques indéniables.

Ce thème des télécommunications est vaste et permet bien d'illustrer les différences organisationnelles entre ces trois contextes. Ainsi, le problème posé par les **mauvaises nouvelles** venant des proches se voit traité différemment d'un milieu à l'autre : transmission directe aux hivernants des nouvelles venant de l'extérieur ; transmission différée aux sous-marinières par leur commandant, à la fin de la patrouille ; et enfin transmission par le sol aux astronautes s'ils en ont exprimé le souhait avant leur vol.

La discussion se porte ensuite sur l'**environnement physique, chimique et biologique** des milieux dont il est question : radiations naturelles et artificielles ; concentrations dangereuses ou acceptables au cours d'une mission (CO et CO₂ par exemple) ; suivi microbiologique des liquides et des surfaces ; perturbations des rythmes circadiens ; ou encore hypoxie chronique d'altitude ressentie par les équipes séjournant dans la station Concordia.

Malgré quelques caractéristiques communes, la mise en œuvre d'un **suivi médical** est variable d'un contexte à l'autre : observation continue et traitement in situ pour le médecin de station polaire (avec possibilité de télé-médecine en cas de besoin) ; suivi et intervention in situ sans soutien extérieur pour les médecins des sous-marins lanceurs d'engins (la communication vers l'extérieur devant être absolument évitée) ; et enfin suivi régulier depuis le sol pour les astronautes, mais interventions techniques difficiles du fait de l'apesanteur (malgré une formation médicale de base, voire la présence d'un astronaute de formation médicale à bord).

Dans la suite de ces questions est abordée celle du **traitement des corps** en cas de décès au sein de l'équipage, le problème de leur stockage *in situ* avant rapatriement, mais aussi les conséquences psychologiques d'un face à face plus ou moins rapproché avec la mort à la suite d'un accident ou d'un incident grave (par exemple : crash d'hélicoptère en 1999 et 2010 en Antarctique, collision entre deux sous-marins nucléaires français et anglais en 2009, feu et fumées toxiques sans victimes à bord de la station Mir en 1997).

Dans un registre plus banal, le **lien avec l'environnement naturel** paraît minimal chez les sous-mariniens, visuellement coupés de leur milieu extérieur, alors que les astronautes sont témoins de variations continues de luminosité et de paysage à la surface de la Terre, et que les hivernants connaissent des saisons très marquées, dans des conditions climatiques inhabituelles.

Enfin, puisque les missions assurées dans ces trois contextes impliquent un séjour de longue durée dans des conditions inhabituelles, la nécessité de **contre-mesures psychologiques** efficaces est soulignée à plusieurs reprises pour faire face aux variations de l'humeur et de la performance, communes dans ces situations.

Il peut s'agir, par exemple, de la préparation des équipes en amont de leur mission (en simulateur ou dans des milieux analogues au contexte opérationnel par la forme ou le fond), d'une meilleure adaptation sur le terrain (grâce à des techniques comme l'optimisation du potentiel utilisée dans l'Armée française), de l'automatisation de la détection des difficultés (par l'analyse de paramètres physiologiques ou de comportement comme la voix), ou au contraire de l'autonomisation des équipes dans la détection de problèmes psychologiques (pré-requis indispensable pour une mission spatiale d'exploration, même en tenant compte des possibilités de soutien psychologique à distance).

Discussion et conclusions

Portraits croisés

Les similitudes et différences relevées au cours de la journée ont permis en outre de dresser une liste des caractéristiques communes à nos contextes, deux à deux :

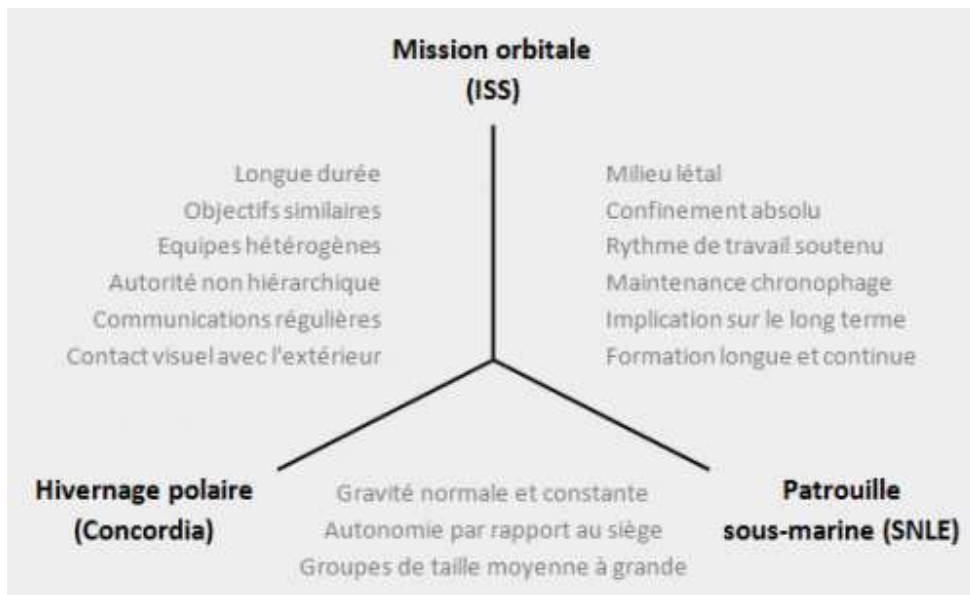


Figure 1 - Comparaison mutuelle des trois contextes

Ainsi, les **patrouilles sous-marines** et les **missions orbitales** sont similaires par le caractère létal de leur milieu extérieur et son corollaire : un confinement physique permanent, entraînant une promiscuité importante. La complexité technique résultante demande une maintenance très lourde et chronophage, un rythme de travail soutenu tout au long de la mission, une formation longue et continue des équipes, et leur implication sur le long terme (alors qu'un hivernant est libéré de ses obligations après sa mission).

Les **hivernages polaires** et les **missions orbitales** partagent quant à eux des objectifs similaires, une présence plus longue sur le terrain, une hétérogénéité relativement importante au sein des équipes (par la nationalité, le sexe, ou encore le statut), une autorité du leader plus fonctionnelle que hiérarchique, des communications fréquentes, et un contact visuel avec le monde extérieur.

Enfin, les **patrouilles sous-marines** et les **hivernages polaires** ont en commun l'envoi d'effectifs importants sur le terrain, la grande autonomie des équipes isolées par rapport à la métropole, et bien entendu la pesanteur, dont l'annulation a de nombreuses conséquences dans le spatial (potentialisation des risques toxiques notamment).

Application aux missions d'exploration

Les informations recueillies au cours des présentations et des discussions auront permis de prolonger les comparaisons précédemment établies entre les missions polaires, spatiales et sous-marines (notamment celle proposée par Jean Rivolier dans les années 1990), en les actualisant pour tenir compte de l'évolution des moyens de communication, et de la mise en œuvre de nouvelles stations (ISS, Concordia) et véhicules (SNLE de nouvelle génération).

Le contenu des interventions de cette journée permet en outre d'ajouter à ces trois contextes un modèle simplifié de mission spatiale d'exploration. Ce type de missions impliquent un déplacement dans l'espace au-delà de l'orbite terrestre basse (LEO). Elles sont d'une durée variable selon la destination envisagée (durée totale incluant le transit vers la destination, le séjour sur place et le transit de retour) : de quelques semaines à quelques mois pour une expédition vers la Lune, un astéroïde ou un point de Lagrange, jusqu'à plus d'un an et demi dans la cas d'une expédition martienne.

Très synthétique, le **tableau I** retient quatre facteurs de stress objectifs (dédits des variables de la mission et de son environnement), et leur attribue une intensité dans chacun des quatre contextes :

Situation	Hivernage polaire (Concordia)	Patrouille sous-marine (SNLE)	Mission orbitale (ISS)	Mission spatiale d'exploration (Lune, Mars, ...)
Facteur de stress				
Isolément	++	+++	-	++/+++
Confinement	+	+++	+++	+++
Danger	+	++	++	+++
Durée	+++	+	++	+/++/+++

Les cases grisées soulignent les similitudes entre les missions spatiales d'exploration et les autres contextes.

Tableau I - Analogie par les facteurs de stress

Cette première comparaison confirme l'idée qu'une mission spatiale d'exploration conjugueraient plusieurs facteurs de stress rencontrés dans des situations extrêmes volontaires actuelles : isolement important voire totalement inédit du centre de contrôle (éloignement de la planète d'origine et de l'humanité en tant qu'espèce), confinement absolu et dangers similaires aux missions spatiales et sous-marines actuelles. Ces facteurs sont potentialisés par la durée de la mission, toutefois même une mission d'exploration courte devrait faire face au rayonnement solaire hors de la

magnétosphère terrestre, et renoncer à la possibilité d'une évacuation ou d'un retour anticipé sur la majeure partie des trajets aller et retour.

Si l'on étend cette comparaison aux caractéristiques organisationnelles de ces quatre contextes (objectifs, équipements, rythme des missions, composition des équipes, etc), une mission d'exploration spatiale resterait très similaire aux missions spatiales orbitales actuelles dans la plupart de ses aspects opérationnels, mais pourrait s'avérer plus proche d'autres contextes par l'**autonomie** de l'équipage (patrouilles sous-marines mais aussi hivernages polaires), et par la variabilité du **rythme** de vie et de travail au cours de la mission. En effet, les activités autour de la planète d'origine et du lieu de destination seraient sans doute plus effrénées que les phases de transit aller et retour, une différence de tempo similaire à celle que connaissent les hivernants polaires, entre les campagnes d'été très actives et la saison hivernale plus ralentie.

Références

Earls, J. H. (1969). Human adjustment to an exotic environment: the nuclear submarine. Archives of General Psychiatry, 20(1), 117–

23.

ESA (2003). Humex. Study on the Survivability and Adaptation of Humans to LongDuration Interplanetary and Planetary Environments. ESA Publications Division.

Harrison, A. A., Clearwater, Y. A., & McKay, C. P. (1990). From Antarctica to Outer Space. Springer-Verlag.

Kanas, N., & Manzey, D. (2008). Space Psychology and Psychiatry. Springer.

Keeton, K., Whitmire, A., Feiveson, A., Ploutz-Snyder, R., Leveton, L., & Shea, C. (2011). Analog Assessment Tool Report. NASA Technical Information Service.

Manzey, D. (2004). Human missions to Mars: new psychological challenges and research issues. *Acta Astronautica*, 55(3-9), 781–790.

Morphew, E. (2001). Psychological and Human Factors in Long Duration Spaceflight. *McGill Journal of Medicine*, 6, 74–80

Observation de la banquise arctique à partir d'un catamaran amphibie : mesures d'épaisseur de glace et profils CTD

■ (15 minutes)

Le Goff, H.

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

Résumé

In July 2011, a small amphibious catamaran , equipped with an ice thickness sounder and a CTD profiler achieved a 400 miles transect in the Beaufort Sea marginal ice zone (MIZ). Ice thickness and navigation data recorded during this trip are presented here, with a preliminary analysis and qualitative comparison with satellite imagery. Conclusions are rather encouraging : on board data acquisition system and data processing methods are validated and may provide in-situ data for CRYOSAT 2 cal/val . This technique will be used again (with some improvements) for the next expedition in summer 2013, a Transarctic traverse from Barrow to Spitsbergen. A 26mn film (« La Voie du Pôle » / FR3/Thalassa) tells about the technical and human aspects during the 2011 expedition.

Introduction

The polar sailor Sebastien Roubinet had planned to cross the Arctic Basin from Barrow /Alaska to Spitsbergen through North Pole during summer 2011.

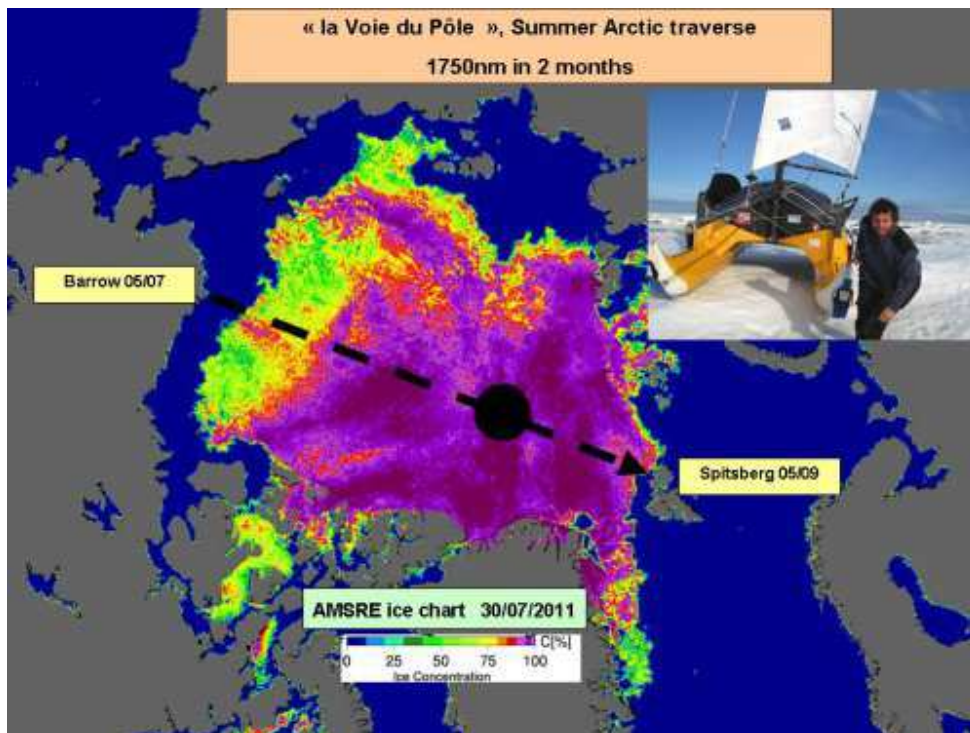


figure1 : Transarctic traverse, 2011 attempt and 2013 project

Due to a major breakdown he (with his crew) had to turn back but though data recorded on the first 400miles in the Beaufort Gyre are valuable .

The boat is a custom built catamaran, 5m long, 400kg weight. It is able to sail in open waters and glide on skis on sea ice, whether sail powered or man hauled. On board instruments are described in *figure 2*.

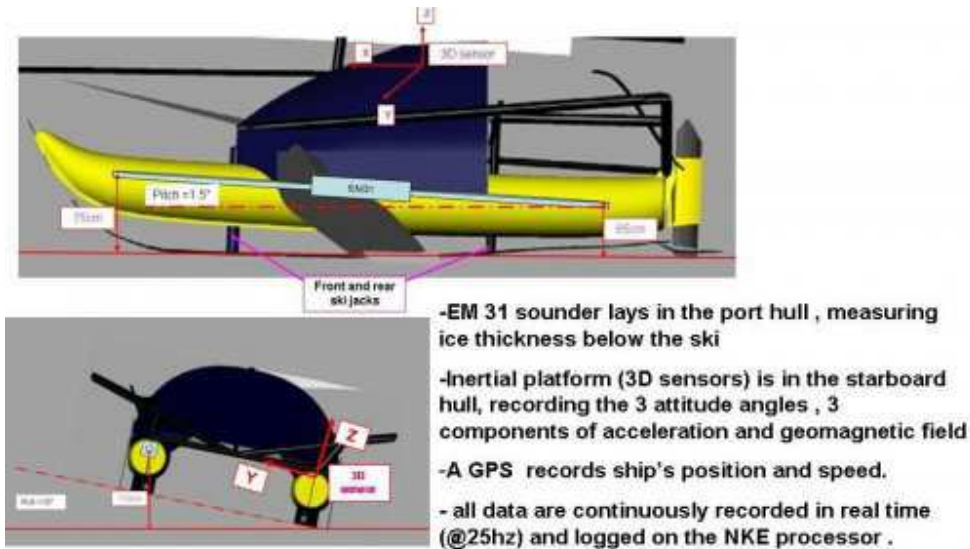


figure 2 : ice sounder and inertial navigation system

Observations et résultats

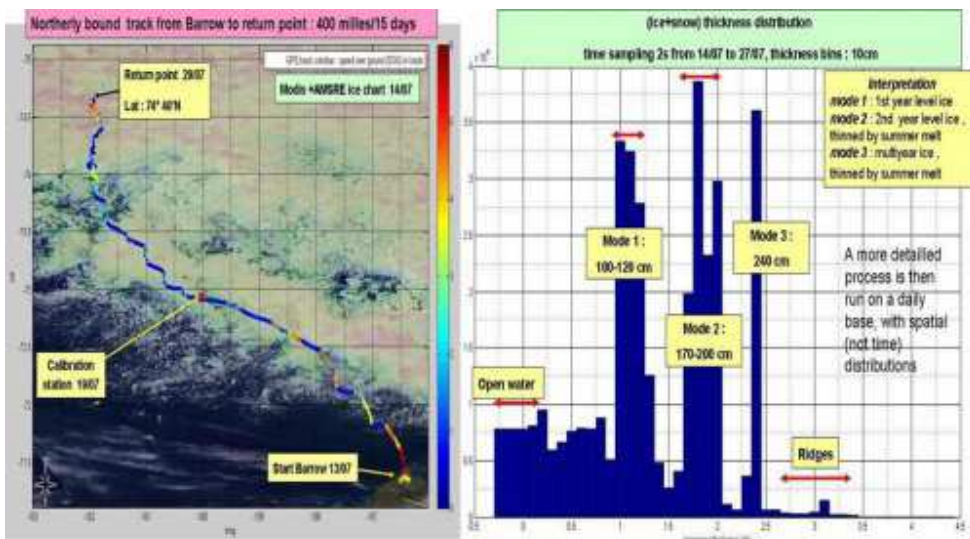


figure 3 : ice thickness transect in the Beaufort Sea (2011)

The 2 sailors started from Barrow and first crossed coastal open water up to 71°50' N .Then they encountered loose pack ice , sailing alternatively in water leads or on ice floes (*chart on figure 3*)

As they stopped generally 10 to 14 hrs/day to rest on ice floes , the Beaufort Gyre Westerly drift took them on a NW'y track reaching 162W/ 74N . Northerly bound from this point on, they started to sail faster on 8/10 to 10/10 sea ice , so that their daily averages increased to 20 milles /day, making good to North Pole .

Unfortunately they suffered a major electrical break down on July 29 , which left them without energy on board . Scientific, navigation and communication instruments becoming totally useless, they decided to turn around and head back to shore, while they could still safely manage the situation without external assistance.

The ice sounder EM31 recorded ice thickness data alongside this 15days/400nm track .Raw data have been corrected from attitude parameters and drill hole calibrations in order to produce calibrated and geo-referenced time series. Their distribution appears on the histogram of *figure 3* where various ice thickness modes may be explained by ice age.

Though the weights of the modes are biased by the time periods spent drifting on ice floes, hence a more detailed spatial analysis is needed on a daily basis.

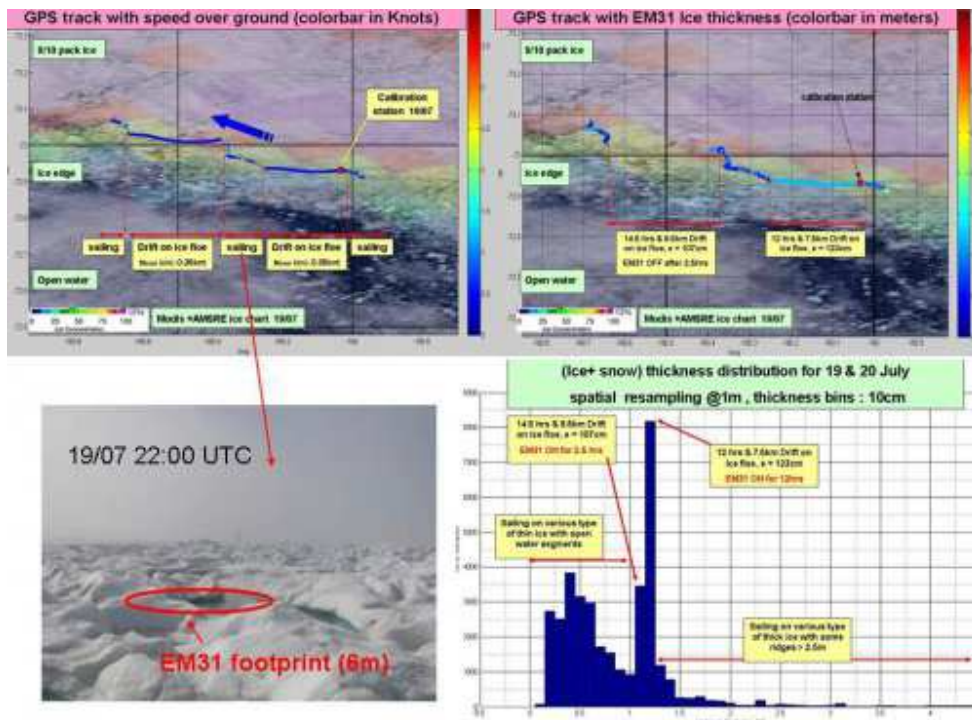


figure 4 : sea ice analysis for 19-20 July 2011

Discussion on results of section 19-20/07 (fig 4)

Satellite images

In summer 2011, the AMSR-E instrument was still in operation on ENVISAT so we could retrieve the daily sea ice concentration charts (resolution 6.5km) [ref 1] .

From NASA earth data website, we loaded the MODIS images @ 250m resolution, from Aqua or Terra satellite, whatever the clearest image for the date (visible spectrum)

For every day in the sampling period, we import both MODIS and AMSR-E image in the same geo-referenced plot, where we can plot GPS track with SOG or ice thickness.

On 19/07 image, the 48hrs / 45km track occurs cloth inside the ice edge in 40% to 60% concentrated pack ice .

Time series

They show the sailing tracks interrupted by 2 periods of drift on ice floes :

- ▶ 12 hrs on a 123cm thick floe, drifting W'y at 0.35 knts in average (7.5km) . The calibration station was performed on this ice floe
- ▶ 14.5 hrs on a 107cm thick floe, drifting W'y at 0.35 knts in average (9.5km) .

Distribution histograms

Corresponding modes are visible on spatial distribution . As seen on the calibration station's pictures fig 5, these 2 floes are 1st year level ice, surrounded by hummocked areas .

The spatial distribution gives more realistic weights to sailing and drifting measurements than the time distribution . But still it does not give the TRUE spatial distribution as drifting velocities, although smaller (0.35knts) than sailing velocities (0.8 knts average) are not zero

The picture shot on 19/07 shows the average ice conditions that were encountered when sailing between the level ice floes, and give the noisy signature on the EM data. Obviously ice thickness calculated from those data (although corrected from attitude angles) is not very significant, due to the footprint of the EM31 antennas (diameter ≈ 6 m).

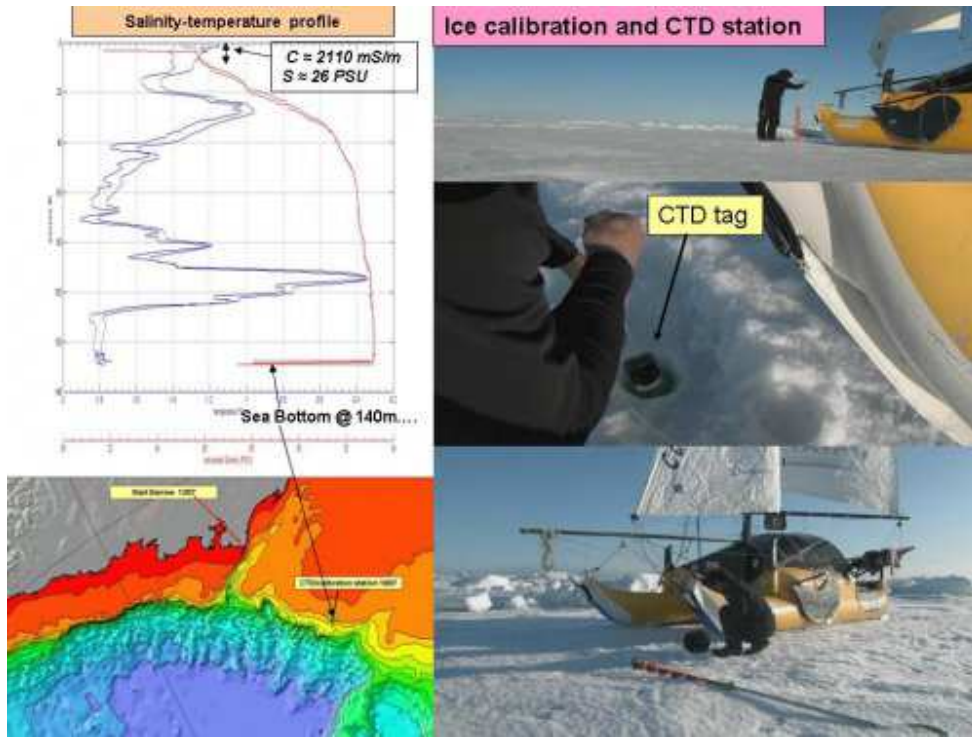


figure 5 : CTD profile and ice thickness calibration

CTD and calibration station

The CTD profiler is a small (400gr) SMRU/seal tag modified to sample at 4hz, deployed @ ≈ 1 m/s on a dynema 2mm cable from a small manual roll laying on top of the drill hole.

It has been calibrated in polar waters before and after the campaign against Seabird CTDs, hence accuracy is evaluated to $\pm 0.02^\circ\text{C}$ and $\pm 0.03\text{PSU}$. TS profiles on *fig 5* reach the sea bed at 140m (edge of the continental shelf) and show a fresh water layer just below the sea ice, whose low conductivity must be taken into account when modelling the EM31 response.

Discussion et conclusions

This preliminary analysis shows that the data acquisition system is working fine, producing consistent ice thickness and navigation data. CTD is handy to operate.

The data post processing is operational, but needs some improvements:

- automatic detection of drifting/sailing periods in order to produce realistic spatial thickness distributions
- ▶ automatic detection of open water and melt ponds (using the EM31 inphase signal)
- ▶ correlation between ice EM data and visual analysis from timed in-situ pictures: for 2011, we did it manually with randomly shot pics, in 2013 we will have a permanent GoPro cam on the mast top, programmed for periodic sampling.

EM thickness data look reasonably well correlated with the corresponding daily MODIS/AMSR-E satellite images. But obviously, they are mostly significant on level ice or low rugosity deformed ice, where accuracy on carefully processed data lays around $\pm 10\text{cm}$ [*ref 2*].

2011 data were mostly collected in the marginal ice zone, where ice fields are very heterogeneous. Therefore, those data are of low interest for further scientific use, in particular for CRYOSAT cal/val program.

But we DO hope that the summer 2013 arctic traverse (*fig 1*) will produce a long set of valuable data recorded at higher latitude on all types of ice .

Références

- [1] Spreen, G., L. Kaleschke, and G.Heygster(2008), “Sea ice remote sensing using AMSR-E 89 GHz channels” J. Geophys. Res.,vol. 113, C02S03
- [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

Observation du rayonnement fossile depuis l'Antarctique

■ (15 minutes)

Bordier G.

Laboratoire APC - Astroparticule et Cosmologie - CNRS

Résumé

Le rayonnement fossile est un rayonnement isotrope à 3K émis 380 000 ans après le Big Bang. Il est observable aujourd'hui dans le domaine millimétrique. Ce rayonnement émis très tôt dans l'histoire de l'Univers est partiellement polarisé. Sa détection nous donnera des informations très importantes sur les premiers instants de l'Univers. Le niveau du signal polarisé est très faible et les développements actuels tendent à concevoir des instruments de plus en plus sensibles et précis. Pour préparer la prochaine génération de satellite, les scientifiques cherchent à avoir les meilleurs conditions d'observation possible. L'Antarctique fait parti des meilleures sites terrestres grâce à son atmosphère extrêmement sèche, sa haute altitude, et sa position par rapport au pôle Sud qui offre une stratégie d'observation du ciel avantageuse.

Observations hydroacoustiques dans l'océan Indien austral

■ (15 minutes)

Royer J.Y.*, Sukhovich A.*, Tsang-Hin-Sun E.*, Chateau R.*, D'eu J.F.*, Guinet C.***, Samaran F.**

* Laboratoire Domaines Océaniques (CNRS/Univ. Brest), IUEM Brest

** Centre d'Etudes Biologiques de Chizé (CNRS)

Résumé

Après une première expérience en 2007, nous maintenons depuis 2010 un observatoire acoustique de 9 instruments répartis sur 5 sites sur les transits du NO Marion Dufresne vers les îles australes. Ces hydrophones surveillent en continu l'activité sismique et volcanique des trois dorsales de l'océan Indien et la présence et la migration saisonnière de grandes baleines. L'intérêt de cette approche est, à l'aide de quelques instruments, de pouvoir surveiller une région de plus de 2000 x 2000 km, d'être sensible aux évènements sismiques de faible magnitude et aux cris des baleines, difficiles à observer autrement. Nos enregistrements montrent une distribution spatio-temporelle de la sismicité très contrastée entre les 3 dorsales Indiennes et révèlent la présence saisonnière de 4 espèces de grandes baleines aux différents sites. Plus inattendus, signalons de très nombreux bruits d'origine cryogénique (icebergs) et des bruits très basse fréquence attribués à l'état de mer.

Observations ionosphériques à Tromso et à Svalbard.

■ (15 minutes)

Lilensten J.*, Pitout F.***, Barthélémy M.*

* IPAG - OSUG / CNRS / UJF

** IRAP - OMP

Résumé

Tromso, en Laponie, se trouve sous « l'ovale auroral », une couronne vers laquelle converge une grande partie du vent solaire qui pénètre dans la magnétosphère. Svalbard est à l'intérieur de cette couronne, dans une zone où, souvent, les lignes de champ magnétique ouvrent une porte au vent solaire. Ce sont donc deux lieux scientifiquement stratégiques. Nous donnerons un aperçu des phénomènes physiques que nous observons et des finalités de la science développée. Nous montrerons avec quels instruments nous faisons ces observations, et en quoi consistent nos campagnes, avec un accent particulier sur une découverte récente qui a été faite en partie grâce à un financement de l'IPEV pour un hivernage instrumental à Hornsund (Svalbard) : la polarisation du rayonnement auroral. Enfin, nous présenterons l'implication de la France au sein d'un ensemble européen (météo de l'espace, projet ESPAS...), ainsi que nos besoins en terme d'infrastructure polaire.

QUBIC - La Quête des Origines

■ (15 minutes)

Ghribi A.*, Pour La Collaboration Qubic**

* Laboratoire AstroParticule et Cosmologie

** APC Paris, France; IAS Orsay, France; CSNSM Orsay, France; CESR Toulouse, France; Maynooth University, Ireland; Università di Milano-Bicocca, Italy; Università La Sapienza, Roma, Italy; University of Manchester, UK; Richmond University, USA; Brown University, USA, University of Wisconsin, USA

Résumé

QUBIC est un instrument unique visant la détection des ondes gravitationnelles primordiales; ces fluctuations d'espace temps qui nous parviennent des fonds des âges, quelques sextillionnièmes de secondes après le Big-Bang. C'est aussi l'unique expérience européenne qui vise à percer l'un des derniers mystères de la cosmologie moderne. Ralliant propreté instrumentale et sensibilité ultime, QUBIC devrait commencer ses observations en 2015 au Dôme Charlie de la Station Concordia en Antarctique. Nous présentons ici l'instrument et ses sous-systèmes, l'état d'avancement actuel du projet et ses évolutions futures.

Reconstruction du volcanisme terrestre par l'analyse isotopique du sulfate sur les 2500 dernières années

■ (15 minutes)

Gautier E.*, Savarino J.*, Erbland J.*

* LGGE, Grenoble

Résumé

L'activité volcanique peut profondément modifier les propriétés radiatives de l'atmosphère, notamment les éruptions dites stratosphériques, qui injectent du sulfate directement dans la stratosphère. Celui-ci se transforme alors en acide sulfurique, capable de résider dans la stratosphère pendant des années sous forme d'aérosols. L'influence du volcanisme sur le climat est indéniable mais demeure mal connue: si certains événements volcaniques sont relativement bien répertoriés, leur inventaire reste incomplet et la distinction entre éruptions stratosphériques et troposphériques ne s'appuie actuellement sur aucun critère quantifiable. Une récente découverte de notre groupe permet d'établir plus fermement cette distinction, et repose sur l'analyse isotopique du sulfate volcanique archivé dans les carottes de glace. Le présent travail se propose donc de compléter l'inventaire des éruptions volcaniques sur les 2500 dernières années, et de préciser la nature des événements identifiés.

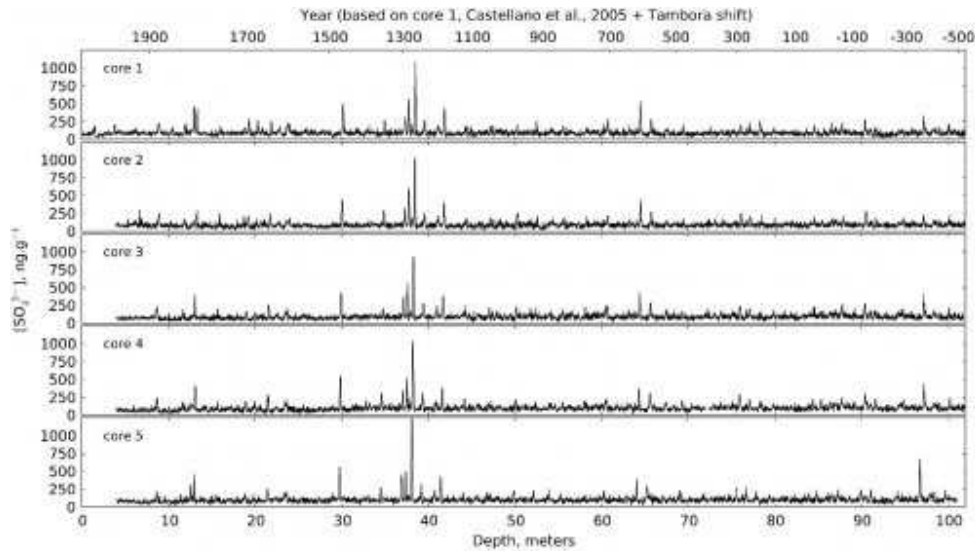
Introduction

Les carottes de glace permettent de reconstruire l'histoire du volcanisme terrestre. L'effet sur le climat de tels événements est, bien qu'indéniable, mal quantifié. Différentes études ont été menées par le passé pour établir le forçage climatique lié au volcanisme (eg Zielinski, 1995 ; 2000 ; Castellano et al., 2005). Le GIEC fait état, dans son dernier rapport d'un profil du forçage climatique dû à l'activité volcanique sur le dernier millénaire, mais la robustesse du profil est sujet à débat : Si les événements volcaniques sont relativement bien répertoriés, la distinction entre éruptions stratosphériques et troposphériques, fondamentale pour estimer l'impact climatique, ne s'appuie actuellement sur aucun critère quantifiable, et repose essentiellement sur une analyse subjective des enregistrements de l'activité volcanique en s'appuyant sur l'analyse croisée de carottes dont les datations ne sont pas exemptes d'incertitudes. Cette méthode soulève le problème de la représentativité de l'actuelle courbe de forçage volcanique déduite des carottes de glace.

Pour pallier aux faiblesses de cette méthode, nous proposons une nouvelle approche isotopique, qui permet de discriminer les événements stratosphériques des événements troposphériques : Il a été démontré que le soufre issu d'éruptions stratosphériques présente une anomalie isotopique particulière, qui ne se retrouve pas dans le cas d'éruptions troposphériques. Outre la possibilité d'accéder à cette distinction, les analyses isotopiques nécessitent une quantité de sulfate suffisante. En 2010/2011, 5 carottes ont donc été forées dans un périmètre restreint de quelques mètres, ce qui permet d'une part de prélever des quantités de sulfate nécessaires aux analyses, et d'autre part de compléter l'inventaire des éruptions, par une étude statistique des 5 signaux.

Observations et résultats

En 2010-2011, 5 carottes de 100 m de long, ont été prélevées à Dome C, Antarctique, afin de reconstruire l'histoire du volcanisme sur les 2500 dernières années. Les événements volcaniques ont déjà été repérés par des mesures des concentrations de sulfate sur toute la longueur forée.



Enregistrements des concentrations en sulfate sur les 5 carottes forées

Les portions de carottes où ont été localisés les événements volcaniques sont découpés, décontaminés et fondus, puis le sulfate est isolé et concentré, à l'aide d'une chromatographie ionique, en vue des analyses. Ces étapes sont actuellement en cours de réalisation, les analyses par spectrométrie de masse commenceront l'année prochaine.

Discussion et conclusions

L'analyse statistique des signaux de concentration sur les 5 carottes permet déjà de répertorier 51 événements volcaniques sur la période d'étude, jusqu'ici évalués à 30 (Castellano et al., 2005). L'étude commune des 5 signaux permet d'évaluer la variabilité spatiale des concentrations et la représentativité d'un forage.

Sur le plan isotopique, des travaux antérieurs (Savarino et al., 2003 ; Baroni et al., 2007 ; Baroni et al., 2008) portant sur 10 signaux du dernier millénaire, ont permis d'identifier certains événements, tels que l'éruption du Tumbora (Indonésie) comme stratosphériques, via l'anomalie isotopique mesurée. Le travail est maintenant de compléter cet inventaire et d'étendre l'étude aux 2500 dernières années.

Structure de la zone de cisaillement du Mertz : caractérisation de son extension latérale et verticale

■ (5 minutes)

Lamarque G.*, Bascou J.*, Barruol G.***, Ménot R.M.*, Rolland Y.***, Cottin J.Y.*

*Université de Lyon, Université Jean Monnet et UMR-CNRS 6524, Laboratoire Magmas et Volcans, 23 rue du Dr P. Michelon, 42023 Saint Etienne, France (gaelle.lamarque@univ-st-etienne.fr)

**Université de la Réunion, UMR-CNRS 7154 et IPG Paris, Laboratoire Géosciences Réunion, 97715 Saint Denis cedex 9, La Réunion, France

***Université de Nice-Sophia Antipolis, UMR-CNRS 7329, Laboratoire Géoazur, 250 rue Albert Einstein, Les Lucioles 1, Sophia Antipolis 06560 Valbonne, France

Résumé

L'étude des zones de cisaillement d'échelle lithosphérique est un enjeu majeur des géosciences. La compréhension de ces zones où se localise la déformation passe par la cartographie des structures et la recherche de l'extension latérale et l'éventuel enracinement de ces zones dans le manteau. L'étude pluridisciplinaire et multi-échelle actuellement menée par le programme IPEV-Arlita sur la zone de cisaillement du Mertz en Terre Adélie et George V Land (Antarctique 135 à 145°E) a permis de mettre en évidence certaines caractéristiques. Celle-ci présente une forte hétérogénéité dans la localisation de la déformation visible sur le terrain et à l'échelle microscopique, une extension verticale à grande profondeur révélée par l'analyse des enregistrements sismiques. Ces premiers résultats seront complétés par l'étude des échantillons de roche et les données des stations sismiques récupérées lors de la dernière mission IPEV-Arlita 2012.

Discussion et conclusions

L'étude des zones de cisaillement d'échelle lithosphérique est un enjeu majeur des géosciences. La compréhension de ces zones où se localise la déformation passe par la cartographie des structures et la recherche de l'extension latérale et l'éventuel enracinement de ces zones dans le manteau.

La zone d'étude, située à l'Est de la Terre Adélie (George V Land) en Antarctique, est caractérisée par une zone de cisaillement d'échelle lithosphérique (Mertz shear zone, MSZ) qui pourrait présenter une continuité avec une zone de cisaillement majeure affleurant au sud de l'Australie : la Kilinjila Shear Zone. Les observations de terrain et les datations par différentes méthodes montrent que le craton de Terre Adélie, situé au sein du bouclier Est Antarctique, n'a pas subi d'évènement tectonique important depuis le Paléoprotérozoïque (1,5 Ma), MENOT et al., 2007. Il représente ainsi un fragment préservé de croûte néoarchéenne et paléoprotérozoïque du supercontinent Rodinia, et peut être notamment corrélé au craton de Gawler (Australie du Sud) au sein du Mawson Block (FANNING et al. 1995).

L'étude de la MSZ est un des axes d'étude majeur du programme IPEV-Arlita qui 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). L'étude pluridisciplinaire et multi-échelle actuellement menée combine différentes méthodes d'analyse et d'interprétation qui permettent de lier les observations de terrain et les modèles géodynamiques. Certaines caractéristiques de la zone de cisaillement du Mertz ont ainsi pu être mises en évidence :

- Une forte hétérogénéité dans la localisation de la déformation visible sur le terrain et à l'échelle microscopique. La MSZ apparaît structurée par une succession de couloirs de cisaillements répartis sur un large volume (extension latérale jusqu'à Cape Gray au moins) et séparés par des zones de plus faible (ou sans) déformation. De plus, les études microstructurales et thermo-barométriques menées par MONNIER (1995), PELLETIER (2001) et DUCLAUX (2006) suite aux campagnes IPEV-Geoleta (1991-2006) et TALARICO et KLEINSCHMIDT (2003) montrent que la MSZ a été active dans des conditions métamorphiques différentes (faciès granulite de moyenne pression, amphibolite et schistes verts) jusqu'à ~1,5 Ga (DI VICENZO et al. 2007).
- Une extension verticale à grande profondeur révélée par l'analyse des enregistrements sismiques. En effet, l'analyse des données des stations sismiques installées le long de la côte de la Terre Adélie et de George V Land dans le cadre du programme IPEV-ArLiTA permet d'imager des structures tectoniques d'ampleur lithosphérique. Les premiers résultats montrent que la croûte épaissie et déformée par la MSZ contribue faiblement à l'anisotropie sismologique enregistrée. De plus, les résultats de cette modélisation associés à l'analyse de l'anisotropie des ondes SKS à Dumont D'Urville (station sismique GEOSCOPE) et à Cape Pigeon en bordure W de la MSZ, suggèrent un enracinement de la MSZ dans

le manteau lithosphérique à l'origine de l'anisotropie sismique mesurée. Cet enracinement de la MSZ dans le manteau supérieur suppose un couplage croûte-manteau lors de son activation.

Les études à venir sur les échantillons de roche et les données des stations sismiques récupérées lors de la dernière mission IPEV-Arlita 2012 nous permettront de mieux contraindre ces résultats. En effet, les données de trois stations (notamment celle située au cœur de la MSZ sur le Nunatak Correll) devraient nous apporter davantage d'informations pour contraindre les structures et la déformation associées à la MSZ.

Références

- Duclaux, G. (2007). Comportement mécanique des lithosphères continentales chaudes : Evolution des cratons néoarchéens et paléoproterozoïques de Terre Adélie (Antarctique Est) et du Gawler (South Australia). Université Jean Monnet, Saint-Etienne.
- Fanning, C., Daly, S., Bennett, V., Ménot, R. P., Peucat, J., Oliver, R., & Monnier, O. (1995). The "Mawson Block": Once Contiguous Archean to Proterozoic Crust in the east Antarctic Shield and Gawler Craton, Australia. 7th International Symposium on Antarctic Earth Sciences, Siena (Italy) (p. 124).
- Ménot, R. P., Duclaux, G., Peucat, J. J., Rolland, Y., Guillot, S., Fanning, M., Bascou, J., et al. (2007). Geology of the Terre Adélie Craton (135 – 146 ° E). USGS (p. 1047). doi:10.3133/of2007-1047.srp048.
- Monnier, O. (1995). Le socle protérozoïque de Terre Adélie (Antarctique Est): son évolution tectono-métamorphique et sa place dans les reconstitutions du proto-Gondwana. Université Jean Monnet, Saint-Etienne.
- Pelletier, A. (2001). Etude structurale et métamorphique du socle de Terre Adélie - George V Land (Est Antarctique: un exemple de la transition archéen/paléoproterozoïque. Université Jean Monnet, Saint Etienne.
- Talarico, F., & Kleinschmidt, G. (2003). Structural and metamorphic evolution of the Mertz Shear Zone (East Antarctica Craton, George V Land) : implications for Australia/Antarctica Correlations and East Antarctic Craton/Ross orogen relationships. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 17, 7-13.
- Di Vincenzo, G., Talarico, F., & Kleinschmidt, G. (2007). An ⁴⁰Ar-³⁹Ar investigation of the Mertz Glacier area (George V Land, Antarctica) : Implications for the Ross Orogen-East Antarctic Craton relationship and Gondwana reconstructions. *Precambrian Research*, 152, 93-118

Suivi pédagogique Antarctique 2012-2013

■ (15 minutes)

Lemonnier A.*, D'assonville L.*, Sultan E.**

* Académie de Paris/ DEPF, MNHN

**LOCEAN-IPSL UMR7159 CNRS/IRD/UPMC/MNHN

Résumé

Le département formation du MNHN, en collaboration avec l'Académie de Paris, Sciences à l'école, et LOCEAN, réalise un suivi pédagogique « Antarctique 2012-2013 ». Des contenus scientifiques sont apportés aux enseignants du secondaire pour les accompagner dans la mise en place des nouveaux programmes sur l'océanographie. Les élèves ont pu suivre l'expédition « Mertz Polynya voyage 2013 » ainsi qu'une rotation de l'Astrolabe. Des échantillons d'eau de mer ont été prélevés afin de réaliser en classe, des expériences « à la manière d'un chercheur ».

Synthèse des observations de CO₂ dans la région de Kerguelen

■ (15 minutes)

Lo Monaco C.*, Metzl N.*, Brunet C.*, Laurantou A.***, Racapé, V.*

* LOCEAN, Paris

** LSCE, Gif-sur-Yvette

Résumé

De nombreuses observations de CO₂ océanique ont été acquises dans la région de Kerguelen depuis 1998 dans le cadre du Service d'Observation OISO. Aux données OISO, collectées chaque année pendant les trajets logistiques du Marion Dufresne (IPEV/TAAF), s'ajoutent les observations historiques permettant de remonter aux années 80, et les observations des deux campagnes KEOPS focalisées sur le bloom phytoplanctonique de Kerguelen. Ces données nous renseignent sur l'évolution du puits de CO₂ en réponse à l'augmentation des émissions anthropiques et à la variabilité climatique. Elles révèlent également très clairement l'accumulation de CO₂ anthropique dans l'océan et montrent une diminution du pH particulièrement rapide dans les eaux de surface subantarctiques. Les données acquises au sud et à l'est de Kerguelen permettent d'observer l'établissement précoce du puits de CO₂ associé au bloom phytoplanctonique et de suivre son évolution jusqu'à la fin de l'été.

Un besoin de sécurité maritime dans les régions polaires - De lignes directrices à un code polaire obligatoire

■ (15 minutes)

Choquet Anne

Enseignant-chercheur en droit, France Business School, campus de Brest,

Résumé

Alors même que la volonté de gérer différemment l'Arctique et l'Antarctique est réelle, il existe pourtant un domaine pour lequel les Etats ont récemment choisi d'étudier un régime juridique commun à la navigation des navires dans les eaux polaires. Si dans un premier temps, il est apparu nécessaire d'adopter un cadre juridique non contraignant de navigation dans les eaux couvertes par les glaces, les Etats ont choisi d'élaborer un code polaire de navigation obligatoire pour les navires opérant dans les régions polaires. Il importe de voir comment un code obligatoire peut renforcer la sécurité maritime les standards environnementaux nécessaire dans un environnement sensible. Il convient également d'envisager l'état des négociations menées par les Etats en faveur d'un code polaire pour réglementer la navigation afin qu'elle soit sûre et que l'environnement soit protégé des accidents.

Introduction

Naviguer dans les eaux polaires ? A priori, seuls des marins aguerris devraient se risquer dans des eaux réputées pour les vents violents, une mer souvent grosse et la possibilité de rencontrer des icebergs sur leur route. Pourtant si la rigueur de leur climat a longtemps laissé les régions polaires à l'abri d'un développement important des activités humaines, les eaux polaires sont moins évitées. Le nombre de jours de navigation en mer libre augmente en même temps que les demandes pour le transport de marchandises, la mise en valeur des ressources et le tourisme.

L'augmentation du nombre et de la taille des navires exploités en Antarctique et en Arctique conduit inévitablement à accentuer les risques d'accidents dus principalement aux caractéristiques climatiques des deux régions.

Discussion et conclusions

Le naufrage de l'Explorer en 2007 a certainement été un facteur important de prise de conscience des risques liés à la navigation dans les eaux polaires. Depuis, d'autres accidents se sont produits tant en Antarctique qu'en Arctique. Heureusement, ces derniers événements de mer ont eu des impacts circonscrits sur l'environnement.

Il est néanmoins important que les Etats développent des instruments juridiques obligatoires pour assurer non seulement la sécurité des activités de navigation dans les régions sensibles que sont les régions polaires mais également pour protéger les populations, la faune et la flore locales.

Depuis longtemps évoquée, l'adoption du Code polaire de navigation obligatoire pour les navires opérant dans les régions polaires constituera une étape majeure pour s'assurer la sécurité de la navigation dans les eaux polaires et la protection de l'environnement polaire. Reste bien sûr ensuite à voir comment il sera mis en œuvre.

Index des auteurs

Ameziane, 6, 20
Ardhuin, 11
Barruol, 41
Barthélémy, 37
Bascou, 41
Bigot-Sazy, 19
Björnsson, 12
Bon Nguyen, 13
Bordier, 35
Bourgain, 4, 18
Brouillet, 20
Brunet, 44
Chazot, 12
Choquet, 45
Cornet, 4
Cottin, 41
Couloux, 20
Cousin-Klawinski, 4
D'assonville, 43
Debruyne, 20
Dettai, 20
Dommergue, 22
Eléaume, 6
Erbland, 39
Ferloni, 5
Gallut, 20
Gautier, 39
Ghribi, 38
Guillou, 12
Heimbürger, 13
Hemery, 6
Houssais, 9
Howa, 23
Lamarque, 41
Larose, 22
Le Goff, 30
Lecointre, 20
Lémonie, 7
Lemonnier, 43
Lilensten, 37
Lo Monaco, 23, 44
Losno, 13
Lourantou, 44
Maccario, 22
Maggi, 11
Mah Christopher, 6
Martin, 9
Meilland, 23
Ménot, 41
Metzl, 44
Michel, 23
Monniot, 20
Moreigneaux, 24
Naaim, 12
Neill, 6
Obrebski, 11
Pálsson, 12
Pitout, 37
Pothier, 20
Poupon, 26
Racapé, 44
Robineau, 18
Rolland, 41
Salles, 12
Sanguino-Cassado, 22
Savarino, 39
Scarpa, 4
Schiebel, 23
Schimmel, 11
Schneider, 12
Sergeant, 11
Solignac, 26
Sultan, 43
Sutzmann, 11
Tartari, 10
Therkelsen, 4
Thierry, 18
Thouret, 4
Triquet, 13
Van Vliet-Lanoe, 12
Vasset, 6
Villemain, 7
Villez, 4