

# INSTITUT POLAIRE FRANÇAIS PAUL-EMILE VICTOR

Rapport d'activité 2013  
Campagnes d'été 2013 - 2014







# EDITORIAL



**A**près avoir fêté ses 20 ans d'existence en 2012, le Groupement d'intérêt public "Institut polaire français Paul-Emile Victor" a été renouvelé, en janvier 2014, pour 12 ans. A l'âge de la majorité succède donc celui de la maturité et, à n'en pas douter, celui du dynamisme et de la réactivité des équipes de l'IPEV au service de la recherche académique œuvrant dans les régions polaires et à bord du *Marion Dufresne*. Or, de la réactivité, il en faut ! Depuis 3 ans, en lien peut-être avec la rupture de la langue du glacier Mertz en février 2010, les conditions de glace de mer au large de la Terre Adélie entravent considérablement le ravitaillement des bases Dumont d'Urville et Concordia. Sur le plan logistique, cette situation est préoccupante et demande des réponses adaptées et diversifiées pour assurer la continuité de l'activité des bases et le déroulement des programmes scientifiques dont la plupart ont, que ce soit en Arctique, en Subantarctique ou en Antarctique, un lien plus ou moins direct avec les changements climatiques ou leurs effets sur les écosystèmes.

L'Arctique fait d'ailleurs l'objet actuellement de toutes les attentions tant au niveau international, européen ou national. La France s'est lancée depuis l'automne 2013 dans l'élaboration de sa Feuille de route nationale pour l'Arctique à laquelle contribuent aussi bien le chantier Arctique, avec son travail de prospective scientifique coordonné par le CNRS-INSU, que l'IPEV qui soutient plusieurs projets autour du bassin arctique et qui gère avec son homologue allemand, l'Institut Alfred Wegener de Bremerhaven, la station AWIPEV au Spitsberg. Dans ce contexte, le présent rapport d'activités présentera un focus particulier (mais non exclusif) sur les activités de l'institut en Arctique, souvent méconnues.

L'année en cours verra se réaliser de grands défis pour l'IPEV : jouvence du *Marion Dufresne* et renouvellement de la desserte maritime française en Antarctique sont au programme. Ces projets sont lancés ou en bonne voie, mais il vous faudra attendre le prochain rapport d'activités pour en savoir plus...

Yves Frenot  
Directeur de l'IPEV

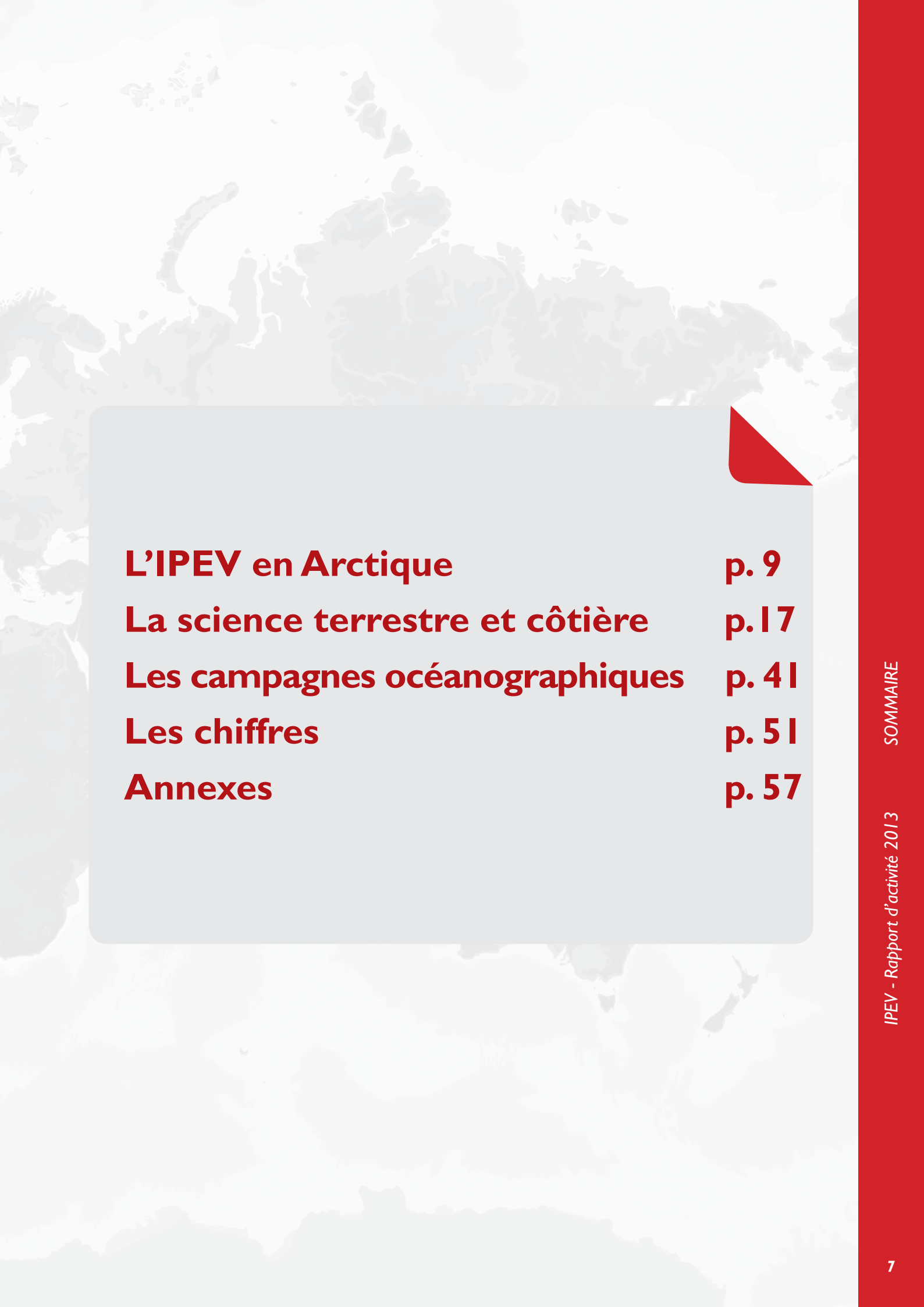






# SOMMAIRE





<b>L'IPEV en Arctique</b>	<b>p. 9</b>
<b>La science terrestre et côtière</b>	<b>p. 17</b>
<b>Les campagnes océanographiques</b>	<b>p. 41</b>
<b>Les chiffres</b>	<b>p. 51</b>
<b>Annexes</b>	<b>p. 57</b>



# ARCTIQUE





# L'IPEV en Arctique

# L'IPEV en Arctique

## Une feuille de route française pour l'Arctique\*

La France est, de longue date, un état utilisateur de l'Arctique où elle possède des intérêts économiques, scientifiques, universitaires et politiques qui ont encore vocation à se renforcer. La France reste pourtant relativement peu visible dans cette région, alors même que l'union européenne et plusieurs états arctiques et non arctiques se sont engagés dans la formulation d'une politique arctique et s'y investissent également de manière croissante. La réalisation d'un état des lieux des activités et intérêts français dans la région servirait de base à la définition d'une politique française arctique impliquant l'ensemble des services de l'état. L'Arctique présente en effet des opportunités réelles dont la France gagnerait à ne pas rester à l'écart.

Dans cette perspective, M. Michel Rocard, ambassadeur chargé de la négociation internationale pour les pôles Arctique et Antarctique en lien avec la sous-direction du droit de la mer, du droit fluvial et des pôles du ministère des affaires étrangères et du développement international (MAEDI anciennement MAEE) a lancé l'initiative de la rédaction d'une feuille de route nationale pour l'Arctique (FRNA) en octobre 2013.

C'est dans ce contexte que la direction générale de la recherche et de l'innovation (DGRI) du ministère de l'éducation nationale, de l'enseignement supérieur et de la recherche (MENESR), le CNRS (au titre du chantier Arctique) et l'IPEV ont été sollicités pour travailler sur le volet de "la recherche scientifique, la coopération universitaire et l'expertise française en Arctique" de la FRNA pour aboutir à un document fin 2014. Il s'agira en particulier de :

- Présenter les enjeux généraux et les intérêts nationaux,
- Faire le point sur la présence française dans les domaines concernés,
- Proposer des actions concrètes en vue de renforcer les positions françaises et de sécuriser nos intérêts présents et à venir,
- Mettre en synergie ou en cohérence la politique française et la politique de l'union européenne sur l'Arctique,
- Développer des actions en faveur d'une meilleure protection de l'environnement marin arctique,
- Favoriser la mise en place de partenariats avec les communautés autochtones.

Dans ce cadre l'IPEV a préparé, en février 2014, un document de synthèse visant à rappeler son implication dans les recherches scientifiques françaises en Arctique. En voici quelques extraits.

*\* Introduction à la feuille de route pour l'Arctique, extrait d'un document rédigé par le Ministère des Affaires Etrangères et du Développement International*



## Quelques généralités pas toujours évidentes pour les décideurs

Des différences essentielles opposent les zones de hautes latitudes septentrionales et australes dites respectivement "pôle Nord" "pôle Sud" :

- le pôle Nord n'est qu'un point singulier au milieu de l'océan Arctique (~15 millions de km<sup>2</sup>), alors que le pôle Sud matérialise le centre mythique d'un grand continent (14 millions de km<sup>2</sup>) ;
- les systèmes de gouvernance qui découlent du traité sur l'Antarctique sont fondamentalement différents de ceux du conseil Arctique, à commencer par le gel des revendications territoriales en Antarctique, opposé à l'expression de la souveraineté nationale des pays arctiques ;
- le bassin océanique arctique est un océan fermé (6 fois la superficie de la Méditerranée) qui implique le respect des droits internationaux des pays riverains ;
- tous les projets français, en conséquence, doivent y être conduits en tenant compte du statut de "pays non-arctique" de la France ;
- l'Arctique est une région peuplée de plus de 4 millions d'habitants, dont 10 % appartiennent à ce que l'on appelle communément les "peuples de l'Arctique". A l'inverse, le continent antarctique n'accueille que des populations temporaires de chercheurs et de logisticiens dont le nombre varie d'un millier en hiver jusqu'à sept milliers au plus fort de l'été austral.

Pôle Nord et pôle Sud se rejoignent cependant à travers le concept de globalité de notre planète et le rôle moteur de ces zones sur la circulation océanique mondiale et la machinerie climatique de la Terre. L'étude et la bonne connaissance de ces régions sont donc primordiales pour la compréhension de grandes questions sociétales telles que l'évolution climatique, l'érosion de la biodiversité à l'échelle locale, régionale ou globale, et de l'impact des changements environnementaux actuels, particulièrement marqués dans les régions de hautes latitudes boréales, sur les populations humaines.

Ce rappel étant fait, il convient également de souligner que l'ampleur des changements environnementaux qui affectent aujourd'hui la région arctique va indubitablement conduire à des bouleversements non seulement écologiques, mais aussi économiques et sociaux. Bien que pays non riverain du bassin Arctique, la France se doit d'être présente et de contribuer, avec ses expertises propres, à l'amélioration des connaissances de cette région et à la mise en place de systèmes d'observation sur le long terme afin de mieux appréhender le futur de l'Arctique et l'impact des bouleversements annoncés.

## Les activités de l'Institut polaire français Paul-Emile Victor (IPEV) en Arctique

Les infrastructures de recherche françaises dans les régions polaires sont principalement localisées dans l'hémisphère sud. Cette prédominance (environ 3/4 des activités de l'IPEV réparties sur les 3 stations subantarctiques, Crozet, Kerguelen et Amsterdam, et sur les 2 stations antarctiques, Dumont d'Urville et Concordia) repose sur l'héritage d'une tradition bien établie de la présence française sur le 6<sup>ème</sup> continent, initiée lors de l'Année géophysique internationale de 1957-1958 et sur les difficultés d'implantation en Arctique inhérentes au caractère entièrement possessionné de cette zone.

Pourtant, le secteur général des sciences de l'Homme et de la société, par le biais d'ethnologues et d'anthropologues réputés, a longtemps entretenu une présence thématique française en Arctique à forte visibilité : il a véritablement existé une "école française" d'anthropologues en Arctique dont les travaux sont toujours reconnus internationalement. Toutefois, cette réputation s'est faite autour de figures emblématiques (Paul-Emile Victor, Jean Malaurie...) qui menaient leurs études sans qu'elles soient intégrées à une stratégie nationale réfléchie de développement.

Jusqu'à il y a peu de temps encore, il n'a pas existé en France de politique scientifique claire dédiée à cette zone, puisque les projets mis en œuvre traduisaient la somme des collaborations menées bilatéralement, au coup par coup, par les chercheurs eux-mêmes. L'exercice de prospective entamé récemment par le chantier Arctique, piloté par le CNRS, palliera cette faiblesse en identifiant des thématiques prioritaires où l'expertise des scientifiques français pourra être valorisée dans des programmes ambitieux et surtout établis sur le long terme.

L'IPEV pour sa part, en entretenant une implantation significative au Svalbard avec l'appui politique du MAEDI, protège les droits de la France qui découlent du traité de Paris (1920) ; de plus la mutualisation des moyens logistiques et des infrastructures avec le partenaire allemand (Alfred Wegener Institut, Bremerhaven) sur la base internationale du Spitsberg, est un élément parmi d'autres qui conforte la présence française sous les hautes latitudes nord.

Cette intense coopération bilatérale avec l'Allemagne, au-delà des économies d'échelle évidentes, s'est enrichie progressivement d'une politique scientifique concertée entre l'IPEV et l'AWI qui a pris en compte la montée en puissance de la demande de soutien scientifique. Les investissements consentis sur ce site offrent ainsi une plateforme d'activités et de développement très prometteuse dans le contexte des grandes infrastructures dédiées à l'Arctique.



## La station franco-allemande AWIPEV au Spitsberg

Jusqu'au début des années 2000, la France et l'Allemagne géraient chacune de leur côté leurs implantations à Ny Ålesund, au Spitsberg. Cet ancien village minier concentre en effet de nombreux programmes arctiques nationaux qui y bénéficient des services logistiques (restauration, construction et entretien des bâtiments etc...) de l'ancienne compagnie minière, la Kings Bay. L'IPEV y loue un bâtiment pour accueillir les activités françaises, mais il maintient également une petite station annexe, à 6 km à l'est du village, la base Corbel. Ces bâtiments sont propriétés de l'IPEV.

Pour tirer pleinement parti des avantages logistiques et scientifiques du site, et à l'occasion du 40<sup>ème</sup> anniversaire du Traité de l'Élysée, l'AWI et l'IPEV ont décidé en mai 2003 de mettre en commun leurs deux stations arctiques. La base polaire franco-allemande AWIPEV (78°55.4'N - 11°55.25'E) est ainsi devenue la première station de recherche en Arctique à être gérée dans le cadre d'une collaboration internationale.

La station est conçue pour être multidisciplinaire et peut accueillir des recherches sur l'atmosphère, la géophysique, la géochimie, l'océanographie, la biologie et l'écologie terrestre et marine. Des observatoires collectent des données sur la stratosphère, la météorologie, la sismologie, le pergélisol et l'environnement marin de la Baie du Roi, données essentielles à notre compréhension du système climatique global. Outre ces suivis à long terme, la station accueille des projets plus ponctuels. La mise en commun de l'ensemble des moyens en une seule et même station a favorisé des collaborations durables entre scientifiques des deux pays. L'équipe d'hivernage organisée conjointement par l'AWI et l'IPEV est constituée d'un chef de station scientifique, d'un ingénieur dédié aux observatoires et d'un ingénieur logisticien, auxquels s'ajoute, en été, un chef de plongée pour les travaux en biologie marine. Au total, la station peut héberger simultanément 16 scientifiques.

Figure 1 : Aperçu de quelques-uns des bâtiments principaux de la base AWIPEV au Spitsberg

Sur le plan logistique, la station offre aux scientifiques français et allemands (et à leurs collaborateurs étrangers) toutes les infrastructures nécessaires pour mener leurs recherches : laboratoires, bureaux, salles de réunions, accès à internet haut débit, véhicules terrestres (motoneiges, véhicules électriques), embarcations légères etc... Tous les accessoires de sécurité sont également fournis aux chercheurs (combinaisons de survie, moyens de télécommunication, armes de protection contre les ours...). Outre l'accès aux infrastructures de la base AWIPEV, l'IPEV permet également aux chercheurs de bénéficier d'un soutien logistique en personnel sur place ainsi que de personnel contractuel temporaire pour l'entretien de la station.

La base AWIPEV est utilisée comme une infrastructure scientifique de haute performance dans le Grand Nord par de nombreux projets européens tels que *Global earth observation and monitoring (GEOMON)*, ou encore *Climate impacts of short-lived pollutants in the polar regions (CLIMSLIP)* qui ont contribué, entre autres, à l'ERA-NET EUROPOLAR. Des collaborations scientifiques franco-allemandes ont également bénéficié d'un intense développement à travers des projets de biologie marine comme le projet européen sur l'acidification de l'océan (EPOCA), dirigé par le laboratoire français CNRS/UPMC LOV et co-présidé par l'institut allemand GEOMAR.

Preuve du dynamisme de cette base franco-allemande et de l'engagement de l'AWI et de l'IPEV pour son développement, des études sont actuellement en cours et des négociations engagées avec la Kings Bays pour élaborer un projet de construction d'un nouveau bâtiment à Ny Ålesund répondant à la croissance de la demande d'accueil de chercheurs. Ce projet permettra également de concentrer sur un même lieu plusieurs infrastructures aujourd'hui éclatées sur différents sites du village. Par ailleurs, une collaboration avec les Pays-Bas est actuellement en cours de discussion, qui contribuerait à renforcer encore la place de la station AWIPEV au Spitsberg.



a : Base Robot, Ny Ålesund, loué par l'AWI



b : Observatoire, Ny Ålesund, loué par l'AWI



c : Entrepôt, Ny Ålesund, loué par l'IPEV et l'AWI



d : Bâtiment "vie" de la base Corbel

## Les programmes soutenus en Arctique période 2009-2013

Sur la période 2009-2013, l'IPEV a soutenu 44 programmes en Arctique, totalisant 114 campagnes sur le terrain (les programmes étant généralement pluriannuels et certains multisites). Parmi ces programmes, 23 relèvent des sciences de l'univers, 13 des sciences du vivant et 9 des sciences humaines et sociales. La Figure 2 illustre la répartition de ces projets selon les grands champs disciplinaires.

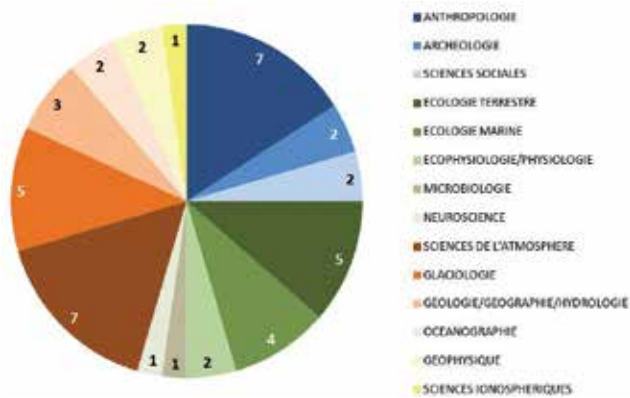


Figure 2 : Nombre de programmes soutenus par l'IPEV en Arctique sur la période 2009-2013, répartis selon les disciplines scientifiques

Les campagnes relatives à ces projets se sont déroulées majoritairement sur l'archipel du Svalbard (41 campagnes), et principalement sur la station AWIPEV (32 campagnes, soit 28 % du total). Cette tendance s'accroît actuellement avec une augmentation du nombre de projets prévoyant d'utiliser les infrastructures de l'AWIPEV. Les autres pays concernés sont ensuite le Canada (18 %), le Groenland (17 %), la Russie (11 %), les Etats-Unis (Alaska, 5 %) , puis marginalement l'Islande, la Norvège et la Suède (Figure 3).

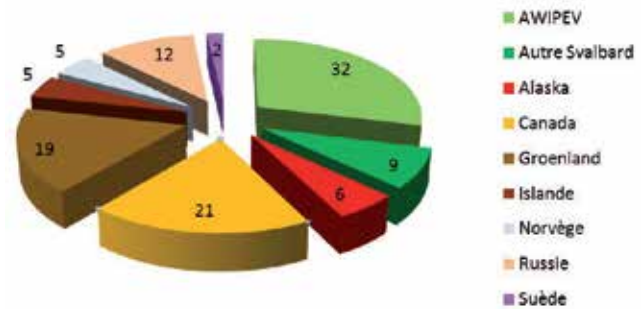


Figure 3 : Répartition géographique des campagnes mises en œuvre par l'IPEV en Arctique (2009-2013)

En termes de scientifiques sur le terrain, ce sont près de 500 chercheurs qui ont participé aux projets arctiques soutenus par l'IPEV entre 2009 et 2013, totalisant plus de 13 000 jours de science. Naturellement, le nombre de jours terrains au Spitsberg est le plus élevé, représentant 40 % du total. En moyenne, la durée d'une campagne sur la base AWIPEV est de 3 semaines.



## Investissement financier de l'IPEV en Arctique

Les investissements financiers de l'IPEV en Arctique sont de deux natures :

1. entretien et maintenance de la station AWIPEV (part française)
2. mise en œuvre des programmes. De 2010 à 2012, l'IPEV a consacré en moyenne annuellement :
  - 414 k€ en soutien direct aux programmes dont 36 % au Spitsberg et 64 % ailleurs en Arctique
  - 727 k€ en coûts indirects dont 37 % au Spitsberg et 63 % ailleurs en Arctique

Au total, en tenant compte des investissements additionnels sur la base AWIPEV, l'IPEV dépense annuellement pour ses activités en Arctique 1,3 M€ en moyenne, soit 7,3 % de son budget "polaire". Le coût élevé et incompressible des infrastructures antarctiques (TGIR Concordia, base Dumont d'Urville, navire de desserte l'*Astrolabe*) et le coût de fonctionnement relativement faible de la station AWIPEV au Spitsberg (environ 0,45 M€ / an, investissement compris) explique cette proportion relativement basse au regard du volume de ces activités (environ 25 à 30 % du nombre de projets soutenus annuellement).

En termes d'investissement, les 3 dernières années ont été marquées par une remise en état de la station Corbel pour un coût voisin de 200 k€ (Figures 4). Cette rénovation a visé non seulement des travaux d'isolation et d'aménagement intérieurs, mais aussi le développement de l'utilisation d'énergies renouvelables (panneaux solaires, éolienne) permettant à ce site de s'affranchir totalement, si besoin, d'énergie fossile (groupes électrogènes).

Avec la mise en place d'une régulation du trafic des motoneiges sur ce secteur situé au vent du village de Ny Ålesund, la base Corbel est donc en passe de devenir une station "propre" qui permettra le développement de projets de recherches sur la chimie fine de la neige et de l'atmosphère.

Figure 4 : Travaux de réfection de la station Jean Corbel au Spitsberg



a : Avant réfection



b : Après réfection et développement des énergies renouvelables

## Bibliométrie relative aux programmes soutenus par l'IPEV en Arctique

Sur la période 2008-2012, ce sont 138 articles de rang A qui ont été publiés par les programmes soutenus par l'IPEV en Arctique. Cela représente 23 % des publications totales issues de tous les programmes IPEV, arctiques, antarctiques et subantarctiques.

Sur cette même période, les travaux arctiques ont également produit 7 thèses en géologie, glaciologie, hydrologie (2), microbiologie, ornithologie et sciences sociales.

Une analyse bibliométrique du Web of Knowledge menée sur la période 2002-2013 permet de préciser la position nationale en termes de publications produites sur l'Arctique (hors océanographie) : la France se situe en 9<sup>ème</sup> position (Figure 5), derrière des pays arctiques à forts moyens de recherche (USA, Canada, Norvège) et derrière des pays européens qui ont depuis longtemps consacré d'importantes ressources à leur recherche polaire (Allemagne, Royaume-Uni) et des pays ouverts sur le Bassin Arctique (Russie, Suède, Danemark). Ainsi, cette position française s'avère tout à fait honorable.

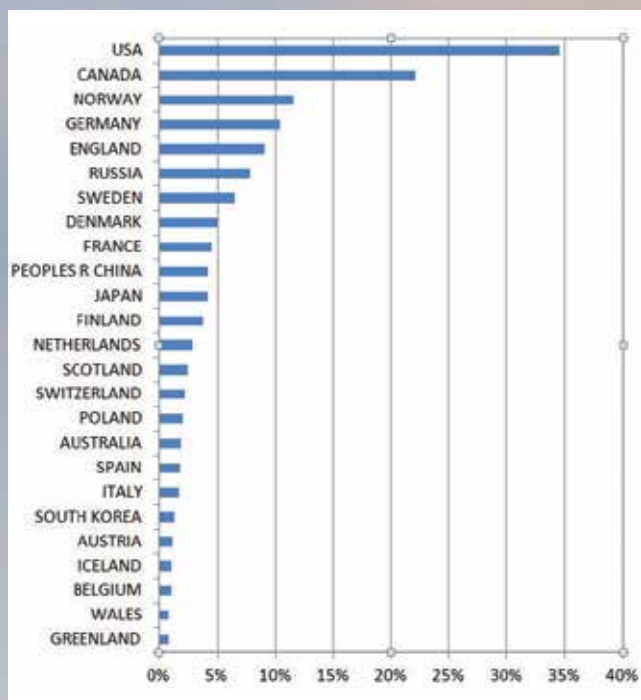


Figure 5 : Classement des pays publiant sur l'Arctique (hors océanographie). Web of Science™, période 2002-2013

Si l'on croise les données du Web of Science™ et celles de la Base de données bibliographique de l'IPEV sur la même période, il est alors constaté que 40 % des publications françaises sur l'Arctique sont produites par des programmes soutenus par l'IPEV.

## Collaborations scientifiques internationales établies par les programmes soutenus par l'IPEV en Arctique

Comme il est habituel dans les programmes polaires, que ce soit en Antarctique ou en Arctique, la collaboration scientifique internationale est la règle universelle. Ceci est d'autant plus vrai pour les programmes français au Nord que notre pays n'est pas un pays arctique et que, en dehors du Spitzberg, l'accès à cette région ne se fait bien souvent que par le biais de collaborations bilatérales. Ainsi, sur les 44 projets soutenus par l'IPEV en Arctique entre 2009 et 2013, un seul ne fait pas apparaître de collaborateurs étrangers. Pour tous les autres, ce sont annuellement 17 à 20 pays et entre 66 et 100 organismes étrangers qui sont impliqués dans les projets (Figure 6).

La prépondérance des projets développés au Spitzberg, et en particulier sur la base AWIPEV, explique que la Norvège et l'Allemagne sont les deux premiers pays avec qui les scientifiques français entretiennent des collaborations (Figure 6). Les collaborations transatlantiques (Canada, USA) sont également le reflet de partenariats établis par des projets se déroulant dans ces pays. Il est notable que si peu de projets sont mis en œuvre en Russie, le nombre d'organismes de ce pays impliqués dans des collaborations scientifiques avec les équipes françaises est important et du même niveau que celui des Etats-Unis.

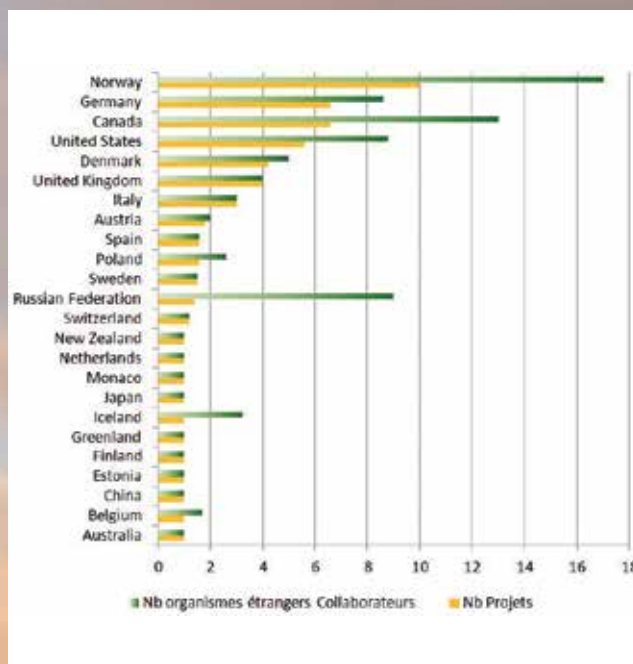


Figure 6 : Liste des pays avec lesquels les projets scientifiques français soutenus par l'IPEV entretiennent des collaborations. En orange le nombre de projets concernés, en vert le nombre d'organismes de recherche impliqués dans chacun des pays



# LA SCIENCE



## **La science terrestre et côtière**

# Le projet GRAAM : un observatoire de suivi en continu de l'atmosphère au sud du Groenland

Marc Delmotte<sup>(1)</sup>, Jean-Louis Bonne<sup>(1)</sup>, Jost Lavric<sup>(1)(2)</sup>, Victor Kazan<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement, Unité mixte de recherche 8212 (CEA-CNRS-UVSQ), Institut Pierre Simon Laplace, Gif sur Yvette, France

<sup>(2)</sup> Maintenant au Max Planck Institut für Biogeochemie, Jena, Allemagne

## Résumé :

Depuis 2007, une station de suivi en continu de la composition atmosphérique a été établie au sud du Groenland, à Ivittuut. Des instruments de suivi en continu du dioxyde de carbone, du méthane, de l'oxygène et de la composition atmosphérique de la vapeur d'eau ont été installés progressivement et ont permis d'obtenir des séries de mesures continues uniques pour le Groenland. Les données ont été et sont actuellement toujours en cours d'interprétation en termes d'origine des masses d'air et de bilan régional de carbone.

## Abstract :

Since 2007, a continuous atmospheric monitoring station has been set up in Ivittuut, South Greenland. Continuous monitoring instrumentation for carbon dioxide, methane, oxygen and water vapor isotopic composition have been progressively installed and enabled us to acquire unique data sets that have been and are still under interpretation in terms of air masses origin and regional carbon budget.



Figure 1 : Carte du Service National d'Observation ICOS-France de suivi des composés à effet de serre.

## Introduction :

Le dernier rapport du Groupe international d'experts sur le changement climatique (GIEC) rendu public à l'automne 2013 a confirmé le réchauffement du climat. Les experts ont également mis l'accent sur le rôle majeur des activités humaines dans ce processus, en particulier avec l'utilisation massive des combustibles fossiles comme source d'énergie qui conduisent à une modification de la composition de l'atmosphère (augmentation des gaz à effet de serre tels que le dioxyde de carbone -CO<sub>2</sub>- et le méthane -CH<sub>4</sub>-).

Des études récentes montrent que le puits de carbone océanique<sup>(1)</sup> pourrait tendre vers un seuil d'absorption, en particulier pour l'atlantique nord, et que l'autre puits de carbone que constitue la végétation est lui aussi vulnérable aux événements météorologiques extrêmes tels que les canicules, dont la fréquence sera accrue dans un climat plus chaud. Le suivi de l'évolution de la composition de l'atmosphère est donc un élément crucial pour d'une part mieux comprendre le cycle global du carbone mais aussi pour permettre d'établir les flux de carbone et de suivre leurs évolutions temporelles au niveau global, régional voire national.

Le Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement est responsable de la mise en œuvre et du maintien opérationnel du service national d'observation ICOS-France pour le suivi des gaz à effet de serre au sein du réseau européen *Integrated Carbon Observation System (ICOS)*. Dans ce cadre, il a déployé un réseau d'une vingtaine de stations, en priorité sur le territoire métropolitain mais aussi dans le reste du monde et dans les territoires d'outre-mer (Figure 1).

Parmi les zones d'intérêt stratégiques pour les études scientifiques sur les questions climatiques, les zones polaires sont au premier plan. Elles subissent en effet un réchauffement plus intense et plus rapide que le reste du globe et elles sont aussi le lieu de multiples rétroactions potentielles qui peuvent avoir un impact global et important (fonte des glaces, fonte de la banquise, fonte du pergélisol –émission de méthane- etc). Pour ces raisons, un observatoire de suivi atmosphérique a été implanté au sud du Groenland, sur la côte sud-ouest, sur le site d'Ivittuut<sup>(2)</sup> (Figure 2) au bord du fjord d'Arsuk, face à l'océan atlantique nord. Le site d'Ivittuut est une ancienne mine de cryolite fermée à la fin des années 1980. Une partie des infrastructures a été maintenue par les autorités locales et la marine danoise dont la base de Grønneal se trouve à 5 km (et qui nous fournit également un support logistique).

<sup>(1)</sup> Le carbone atmosphérique tend à se dissoudre dans l'eau de l'océan, on parle de puits de carbone

<sup>(2)</sup> 61°12.230' N, 48°10.554' W

## La station de suivi atmosphérique :

### Le cadre du projet :

La station de suivi atmosphérique a été installée durant l'été 2007 au cours d'une mission de sept semaines durant laquelle nous avons déployé plus de 3.5 tonnes de matériel. Sa mise en route s'est d'abord faite dans le cadre du projet intégré européen CarboOcean dont l'un des objectifs était de mieux quantifier le puits de carbone de l'océan atlantique nord. Au cours de cette première mission, nous avons donc installé sur site deux instruments de haute précision pour le suivi en continu des composés gazeux atmosphériques ( $\text{CO}_2$  et  $\text{O}_2$ ), un système de prélèvement manuel et une station météorologique. En 2008-2009, le projet a été labellisé Année polaire internationale (API) et intégré au sein du cluster Polarcat (*Polar study using aircraft, remote sensing, Surface measurements and models of climate, chemistry, aerosols an transport*). En 2011, la station a bénéficié du support du projet CarboChange (prolongement du projet CarboOcean) et du projet ANR Groenland vert qui ont permis d'élargir le champ d'étude mené à Ivittuut avec la mise en place de deux nouveaux analyseurs continus, l'un dédié à la mesure de la vapeur d'eau atmosphérique et de sa composition isotopique et l'autre à celle du  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  et  $\text{H}_2\text{O}$ . Depuis 2013, le site de suivi d'Ivittuut fait partie du service national d'observation ICOS-France : réseau français de suivi des gaz à effet de serre qui s'intègre au réseau européen ICOS. Enfin au cours des sept dernières années, nous avons pu compter sur le soutien de l'IPEV tant d'un point de vu logistique (mission, transport du matériel) que pour la maintenance de l'instrumentation scientifique.

Les objectifs scientifiques du projet *Greenland automatic atmospheric monitoring and modeling* (GRAAM) sont les suivants :

- contribuer à mieux contraindre les bilans de carbone régionaux : il n'existe pas à ce jour de station de mesure atmosphérique en continu dans cette large zone géographique
- contribuer à une meilleure compréhension du rôle de l'Atlantique Nord en tant que puits de carbone, au niveau régional et global
- permettre de déterminer la distribution spatiale et la variabilité du  $\text{CO}_2$  provenant soit de l'Amérique du nord soit de l'Europe via l'analyse des données météorologiques et des rétro-trajectoires des modèles de transport
- contribuer à l'amélioration de la couverture globale du réseau d'observation atmosphérique mondiale en ajoutant une station continue dans une zone encore vierge.



Figure 2 : L'ancienne mine d'Ivittuut sur la côte sud-ouest du Groenland, où nous avons implanté la station de mesure atmosphérique GRAAM (flèche). En haut à gauche, situation géographique d'Ivittuut et à droite, vues de l'observatoire atmosphérique avec le mât de prélèvement au premier plan (photo M. Delmotte, LSCE)



3a - 3b



3c - 3d



Figure 3 : Principaux équipements instrumentaux mis en œuvre sur le site d'observation atmosphérique d'Ivittuut : 3a analyseur Caribou ( $\text{CO}_2$ ), 3b analyseur Foxy Oxygène, 3c analyseur CRDS Picarro  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ;  $\text{HYO}$ ; 3d Analyseur CRDS Picarro composition isotopique de la vapeur d'eau (photos M. Delmotte, J-L. Bonne, LSCE)

Les cycles naturels du  $\text{CO}_2$  et de l'oxygène ( $\text{O}_2$ ) sont étroitement liés en particulier concernant les réactions de combustion et/ou de photosynthèse. Le  $\text{CO}_2$  se dissout facilement dans l'océan tandis que le  $\text{O}_2$  ne réagit que partiellement avec ce dernier. C'est pourquoi la mesure conjointe de ces deux espèces nous donne accès à des informations pertinentes pour mieux comprendre le rôle respectif des deux puits de carbone, l'océan et la biosphère. La mesure du  $\text{CH}_4$  dans les zones arctiques revêt un intérêt majeur dans le cadre du changement climatique : le dégel potentiel du pergélisol pourrait en effet conduire à un dégazage massif de méthane dans ces zones, de même que le réchauffement des océans qui pourraient conduire à la déstabilisation des "bulles" de méthane stockées au fond des océans. Les figures 3 et 4 illustrent les équipements mis en œuvre sur site.

#### L'instrumentation sur site :

Depuis 2011, la station dispose des équipements de mesure en continu et haute précision suivants :

- un analyseur à absorption infra-rouge (NDIR) (*Caribou* figure 3a) dédié à la mesure haute précision du  $\text{CO}_2$
- un analyseur paramagnétique (*Foxy*, figure 3b) dédié à la mesure de la concentration en oxygène (rapport  $\text{O}_2/\text{N}_2$ ) : placée dans un petit champ magnétique, la molécule d'oxygène réagit et induit le mouvement d'une petite bille qui va tourner et induire un courant électrique dont l'intensité est proportionnelle à la concentration en oxygène
- un analyseur CRDS (*Cavity ring down spectroscopy*) pour la mesure de la concentration en  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  et  $\text{H}_2\text{O}$
- un analyseur CRDS pour la mesure de la vapeur d'eau et de sa composition isotopique ( $\delta\text{D}$  et  $\delta^{18}\text{O}$ )
- Un système de prélèvement de flacon pour le contrôle qualité des données et des analyses complémentaires ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{SF}_6$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{O}_2/\text{N}_2$ , isotopes du  $\text{CO}_2$ )
- une station météorologique incluant la mesure de la température, humidité relative, pression, vitesse et direction du vent, précipitation.



Figure 4 : Manomètres permettant le réglage des flux d'air des cylindres de références et de calibration pour l'analyseur  $\text{O}_2/\text{N}_2$ . Pas moins de 16 cylindres (dont 4 en secours) sont utilisés pour le bon fonctionnement annuel de cet analyseur (photo M. Delmotte, LSCE)

## Résultats :

Depuis l'automne 2007 (fin septembre), nous disposons d'un enregistrement quasi continu de la composition atmosphérique en  $\text{CO}_2$  et  $\text{O}_2$ . Malgré quelques pannes instrumentales au cours de cette période, les données d'Ivittuut présentent un caractère unique pour le Groenland car notre station de suivi en continu reste à ce jour la seule de ce type au Groenland. Il en va de même pour les données de méthane et de la composition isotopique de la vapeur d'eau depuis 2011 (cette dernière série de mesure étant même parmi les premières au monde pour le suivi en continu).

La figure 5 montre les séries complètes de données de  $\text{O}_2/\text{N}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  obtenues sur le site de Ivittuut (données continues et flacons). Les principales conclusions que nous avons pu tirer de ces résultats peuvent se résumer comme suit.

Les concentrations en  $\text{CO}_2$  du sud Groenland constituent la référence pour les mesures pour l'hémisphère nord (comme le confirme les comparaisons faites entre ce site et les autres sites du réseau ICOS). Le taux de croissance du  $\text{CO}_2$  à Ivittuut est similaire à celui des autres sites de suivi (de l'ordre de 2 ppm par an), toutefois la variabilité du signal est plus faible que sur les sites continentaux. Il existe néanmoins un signal saisonnier marqué (maximum de concentration en fin d'été et minimum en hiver) qui se caractérise également par l'apparition d'un cycle diurne en été. Ces deux effets s'expliquent par l'impact de la végétation locale au niveau du cycle du carbone via la respiration et la photosynthèse (réaction par laquelle la végétation absorbe le  $\text{CO}_2$  de l'atmosphère pour le synthétiser ensuite sous forme de matière organique).

Durant l'hiver, la végétation est inhibée par le gel, la couverture neigeuse et la faible durée du jour conduisant ainsi à une faible variabilité du signal.

A l'inverse, durant la courte période d'été (juin–septembre), la végétation se développe et la photosynthèse se produit durant la journée (mais pas pendant la nuit ce qui explique les variations diurnes observées durant cette saison). Sur des périodes plus courtes (échelle des événements synoptiques allant de quelques heures à quelques jours), l'analyse de quelques événements particuliers et l'utilisation conjointe de modèle(s) de transport atmosphérique a permis de mettre en évidence l'origine continentale (Europe mais plus généralement nord du continent américain) de certaines masse d'air souvent associées à un niveau plus élevé des concentrations en  $\text{CO}_2$ .

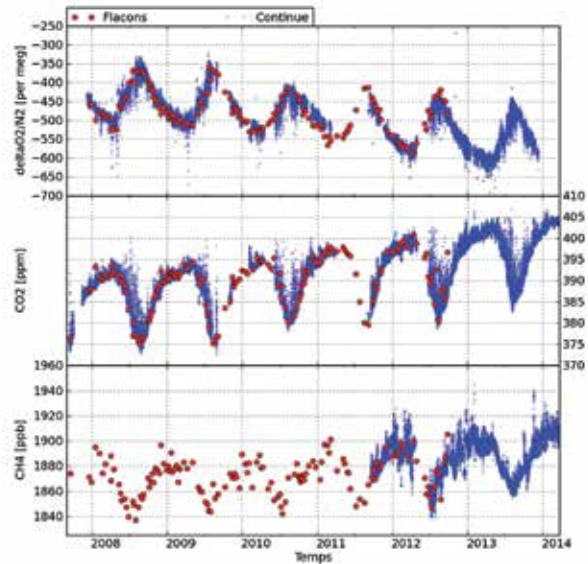


Figure 5 : Série de données acquise sur le site d'Ivittuut depuis septembre 2007. En haut les concentrations d'oxygène dans l'atmosphère ( $\text{O}_2/\text{N}_2$ ), au centre celle de  $\text{CO}_2$  et bas les données de  $\text{CH}_4$ . Les points rouges correspondent aux données flacons, tandis que les traits bleus correspondent aux mesures continues in-situ



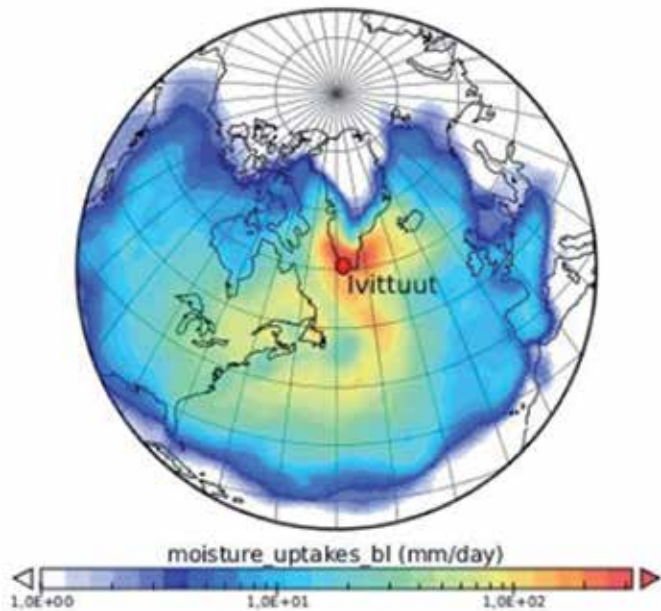


Figure 6 : Origine de la vapeur d'eau dans la couche limite atmosphérique (basse couche de l'atmosphère 0-1500m) obtenu à l'aide de calculs de retro-trajectoires sur 10 jours par un modèle de transport atmosphérique pour l'ensemble de l'année 2012 à Ivittuut

Pour le méthane, si entre 2007 et 2011 les concentrations sont stables, il semble que la tendance à une reprise de l'augmentation de cette espèce soit également détectable sur notre site d'étude (comme pour les autres sites d'observation). Comme pour le CO<sub>2</sub>, le CH<sub>4</sub> présente un cycle saisonnier marqué à peu près en phase avec celui du CO<sub>2</sub>. Par contre la variabilité du signal n'est pas plus forte en été qu'en hiver mais les mesures en continu révèlent une forte variabilité qui reste encore à étudier plus en détails.

Pour O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>, la tendance est inverse de celle du dioxyde de carbone, avec une diminution constante de la concentration en oxygène de l'atmosphère et un cycle saisonnier en opposition de phase avec celui du CO<sub>2</sub>. Ces résultats sont conformes à ceux attendu compte tenu du couplage entre les cycles du carbone et de l'oxygène. Ces résultats sont maintenant en court d'interprétation conjointement avec des modèles de transport océanique et atmosphérique pour calculer les flux de carbone dans cette zone.

Concernant les mesures de la teneur isotopique de la vapeur d'eau atmosphérique, les résultats ont permis de montrer qu'il existe deux zones principales qui contribuent aux précipitations sur le site d'Ivittuut (Figure 6<sup>(3)</sup>).

Par ailleurs, les données obtenues à Ivittuut durant l'été 2012 ont pu être mises en commun avec celles de deux autres stations, une aux Bermudes et une autre à NEEM, au nord-est du Groenland (mesures faites durant la campagne estivale de forage glaciaire sur le site de NEEM). Au cours du mois de juillet 2012, le Groenland a enregistré une vague de chaleur exceptionnelle qui a conduit à des températures positives sur l'ensemble du territoire, y compris au sommet de la calotte de glace (fonte de la neige de surface). Les données isotopiques obtenues sur les trois sites d'études ont permis de montrer, conjointement avec des modèles de transport atmosphériques, que cet événement était lié à une remontée d'air chaud initialement originaire du centre des USA (qui subissait alors une sécheresse prononcée) qui s'est ensuite chargée d'humidité au-dessus de l'océan atlantique (Bermudes) et a finalement fini sa trajectoire en longeant la côte sud-est du Groenland (Ivittuut) avant de s'enfoncer plus à l'intérieur du territoire (NEEM). Ce type d'évènement météorologique est dénommé "atmospheric river" (rivière atmosphérique) et caractérisé par un transport d'humidité subtropicale jusqu'aux hautes latitudes. La figure 7 illustre ces résultats. Ce travail fait l'objet d'une publication en cours de soumission<sup>(4)</sup>.

Les travaux conduits à Ivittuut ont conduit à une publication et deux autres sont en cours de soumission. Les résultats de nos travaux sont originaux et apportent de nouvelles informations dans une zone géographique encore peu couverte par les mesures atmosphériques continues. Toutefois le devenir de notre station est incertain avec la fermeture annoncée de la base navale et la perte de cet appui logistique. Nous souhaitons maintenir un observatoire atmosphérique au Groenland et nous envisageons donc de déplacer la station sur un autre site si nécessaire.

Bibliographie : J-L Bonne

<sup>(3)</sup> Bonne et al. 2013

<sup>(4)</sup> Bonne et al. soumis



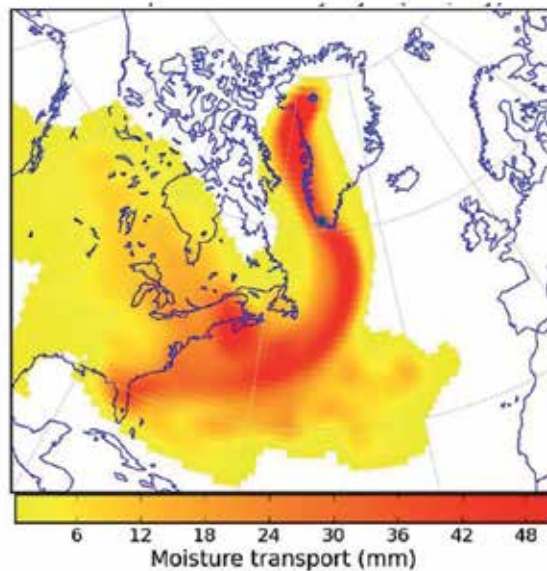
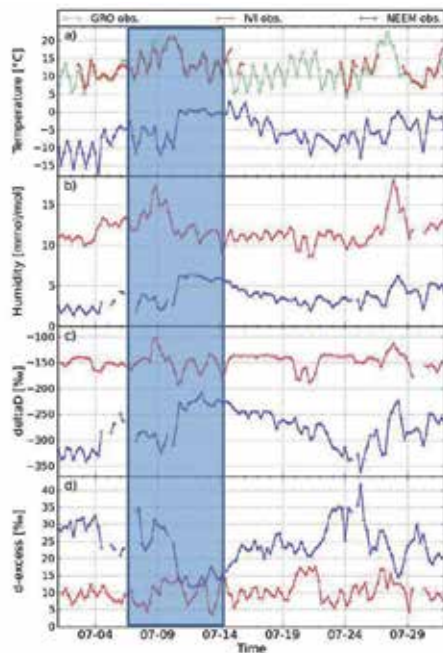


Figure 7 :

- A gauche, données de température, humidité, et teneur isotopiques de la vapeur d'eau,  $\delta D$  et  $\delta$  excès (paramètre de second ordre traceur de l'origine des précipitations) pour l'évènement de rivière atmosphérique de l'été 2012 sur les sites d'Ivittuut et de NEM.
- A droite le suivi de l'origine de vapeur d'eau au cours de cet évènement à partir du calcul des retro-trajectoire d'un modèle de transport atmosphérique pour la même période

# Les changements environnementaux des derniers millénaires au Nunavik (Bas-Arctique québécois) et leurs impacts sur les sociétés humaines : le projet LOTECHAIN de l'IPEV

Dominique Marguerie<sup>(1)</sup>, Najat Bhiry<sup>(2)</sup>, Dominique Todisco<sup>(3)</sup>, Stéphanie Steelandt<sup>(1-2)</sup>, Pierre Desrosiers<sup>(4)</sup>, Daniel Gendron<sup>(4)</sup>, Caroline Desbiens<sup>(5)</sup>, François Lanoë<sup>(6)</sup>, Alice Schaffhauser<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> CReAAH UMR 6566, CNRS, Université de Rennes 1 et de Nantes, France

<sup>(2)</sup> CEN, Université Laval, Québec, Canada

<sup>(3)</sup> IDEES UMR 6266, Département de géographie, Université de Rouen, France

<sup>(4)</sup> Institut culturel Avataq, Montréal, Canada

<sup>(5)</sup> Département de géographie, Université Laval, Québec, Canada

<sup>(6)</sup> School of Anthropology, University of Arizona, Tucson, USA

## Résumé :

Le Nunavik, vaste territoire occupant l'Arctique québécois (Nord-est du Canada), constitue un des observatoires uniques pour le suivi des relations hommes-milieus passées et présentes en milieu polaire. L'étude de ces relations est devenue cruciale dans le contexte actuel de variabilité climatique. Des équipes françaises et canadiennes y mènent de concert une recherche pluridisciplinaire dans le cadre du projet *Long term environmental changes and human activities in Nunavik (LOTECHAIN)*. Ce projet vise à étudier divers écosystèmes et milieux physiques, des biodiversités passées, des sites et zones d'habitat anciens (archéologiques). Ces travaux sont menés dans le but de dresser un « état des lieux » des milieux holocènes et de mesurer l'effet des variations (forçages) climatiques passées et actuelles et de l'action humaine sur les écosystèmes périglaciaires.

## Abstract :

*Nunavik, a vast territory located in Arctic Quebec (eastern Canada), is a unique observatory for the monitoring of past and present human-environment relationships in a polar region. The study of these relationships has become crucial in the current context of climatic variability. It is also an opportunity to conduct a multidisciplinary research between French and Canadian researchers within the Long term environmental changes and human activities in Nunavik (LOTECHAIN) project. The purpose of the project is to study various ecosystems, past biodiversities, archeological sites and settlement zones. These studies are undertaken with the aim of drawing an assessment of Holocene environments and of measuring the effect of past and present climatic variations (drivers) and human action on natural systems in a periglacial context.*

La connaissance des changements environnementaux est fondamentale pour la compréhension des évolutions culturelles des anciennes populations en Arctique dépendantes de la chasse, la pêche et la cueillette. Selon certains archéologues, les changements environnementaux holocènes ont affecté les dynamiques de populations arctiques et les évolutions culturelles à travers les conditions de vie et d'accès aux matières premières<sup>(1)</sup>. Cette pression environnementale ne constituerait toutefois qu'une des causes possibles de transformation des sociétés ; les considérations sociales, politiques, économiques, techniques et symboliques représenteraient également des moteurs de premier ordre<sup>(2)</sup>.

Le projet LOTECHAIN en cours (2012-2015) s'appuie sur des hypothèses générales selon lesquelles

- les changements climatiques des derniers millénaires ont généré des modifications d'importance dans les milieux habités en termes d'abondance, de disposition et de composition de la matière première et en retour des stratégies d'adaptation chez les paléo- et néoesquimaux,
- à partir du milieu du 20<sup>ème</sup> siècle, les contacts permanents entre les Inuit et les Européens-Canadiens ont joué un rôle déterminant dans la transformation des sociétés.

Cette approche systémique appliquée aux territoires archéologiques du nord-est canadien vise donc

- une meilleure compréhension de l'évolution spatiale et temporelle de l'occupation des territoires en fonction des groupes culturels et les modalités d'adaptation aux changements environnementaux,
- un suivi de la biodiversité sur la longue durée holocène,
- une connaissance des stratégies d'accès aux denrées alimentaires et d'acquisition-utilisation des matières premières (animales, ligneuses et rocheuses)
- et l'utilisation des situations passées attestées en tant que modèle pour des projections sur les changements globaux à venir. Enfin, un autre objectif majeur de ce projet réside dans la recherche d'analogues actuels à des paléoenvironnements périglaciaires étudiés dans des dépôts pléistocènes français et européens.



<sup>(1)</sup> Maxwell, 1985; McGhee, 2001

<sup>(2)</sup> Nagy, 2000; Gendron, Pinard, 2000

## Le Nunavik

Divers projets de recherche sont menés au Nunavik, faisant intervenir des équipes franco-québécoises aux approches complémentaires. Les unités de recherche françaises (CReAAH, IDEES) y travaillent en partenariat étroit avec les chercheurs des institutions canadiennes comme le Centre d'études nordiques (CEN), le Centre interuniversitaire d'études québécoises (CIEQ) de l'Université Laval (Québec) et l'Institut culturel Avataq (Montréal). Ces recherches se déroulent de concert avec les habitants et les représentants des collectivités autochtones (municipalités nordiques, administration régionale Kativik, société Makivik et la Commission scolaire Kativik).

Deux programmes existent aux côtés de LOTECHAIN :

- changements climatiques et environnementaux et leurs impacts sur l'occupation humaine dans le Nord (N. Bhiry Responsable, CEN, Université Laval) financé par le Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada (CRSNG),
- temps et espace chez les Inuit du Nunavik (D. Gendron Responsable, Avataq) financé par l'Alliance de recherche universités-communautés (ARUC) du Conseil de recherche en sciences humaines (CRSH) de 2008 à 2013.

L'Observatoire Hommes-Milieu international (OHMi) Nunavik Tukisigasuaqatigiit, lancé fin 2013 et piloté par S. Blangy et M. Bernier pourrait, à l'avenir, être un nouveau programme partenaire.

Ces dernières années, cinq maîtrises bénéficiant de ces projets portent ou ont porté sur le territoire d'étude. Inscrits à l'Université Laval, les étudiants traitent de sujets en paléogéographie, géoarchéologie et paléoécologie au Nunavik. S. Steelandt, doctorante supervisée par N. Bhiry et D. Marguerie, achève une thèse à l'Université de Rennes I et l'Université Laval sur "Les changements environnementaux et exploitation des ressources ligneuses par les sociétés paléo- et néoesquimaudes du Nunavik".

Le Nunavik, l'endroit où vivre en inuktitut, est un vaste territoire qui occupe le tiers nord de la province de Québec, en Bas-Arctique canadien. Il couvre une superficie de 507 000 km<sup>2</sup>, au nord du 55<sup>e</sup> parallèle (selon l'administration régionale Kativik (ARK) et la société Makivik ; D. Gendron, com. pers.) formant une péninsule, celle de l'Ungava (Figure 1). Sa population est de 11 000 habitants répartis dans quatorze villages littoraux. Le Nunavik est un des observatoires uniques pour l'étude de la relation complexe et dynamique entre les changements environnementaux et les groupes humains sur le long terme en milieu polaire.

Cette vaste région est située en zone de pergélisol qui couvre environ un tiers de la péninsule. Du sud au nord, celui-ci est successivement sporadique, discontinu puis continu<sup>(3)</sup> (Figure 2a). En termes bioclimatiques, le Nunavik est le siège de la toundra arctique et de la toundra forestière subarctique<sup>(4)</sup>. Un long gradient latitudinal de conditions climatiques est à l'origine du passage de la forêt boréale discontinue à la toundra arctique herbacée<sup>(5)</sup> (Figure 2b).

Cinq zones ont été jusqu'à présent étudiées dans le cadre des activités de LOTECHAIN (Figure 1). Les campagnes de terrain menées en juillet et août ont toujours été adossées aux activités de l'équipe d'archéologues de l'Institut culturel Avataq. Les financements de l'ARUC, du CRSNG et de l'IPEV se complètent pour permettre la tenue de missions toujours très onéreuses reposant sur une logistique spécifique.

<sup>(3)</sup> Allard et Séguin, 1987

<sup>(4)</sup> Payette, 1983

<sup>(5)</sup> Payette, 2013

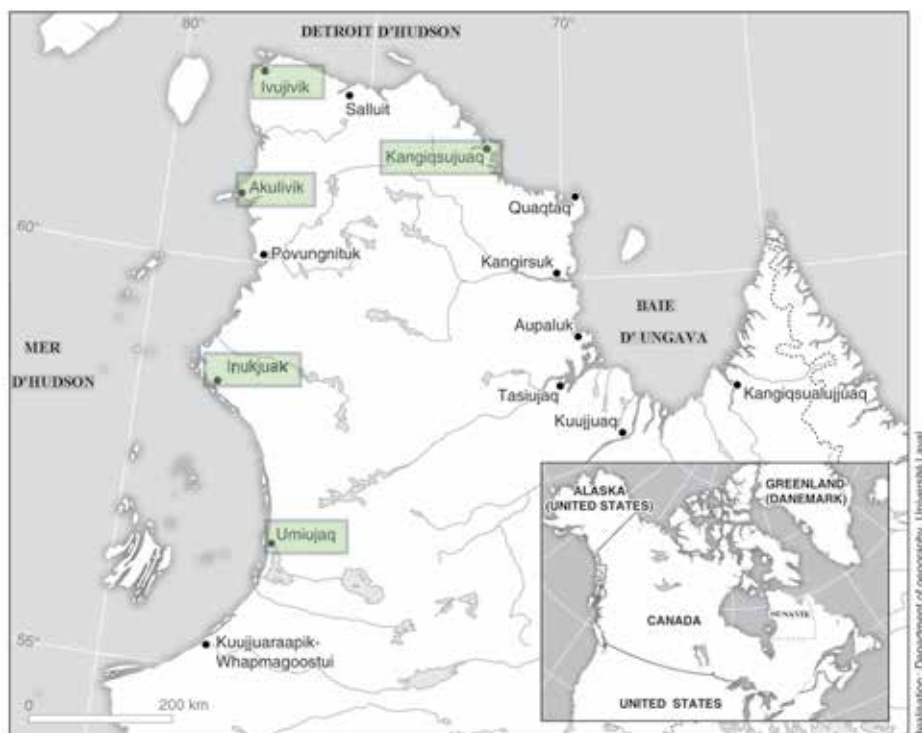


Figure 1 : Localisation des sites d'étude au Nunavik

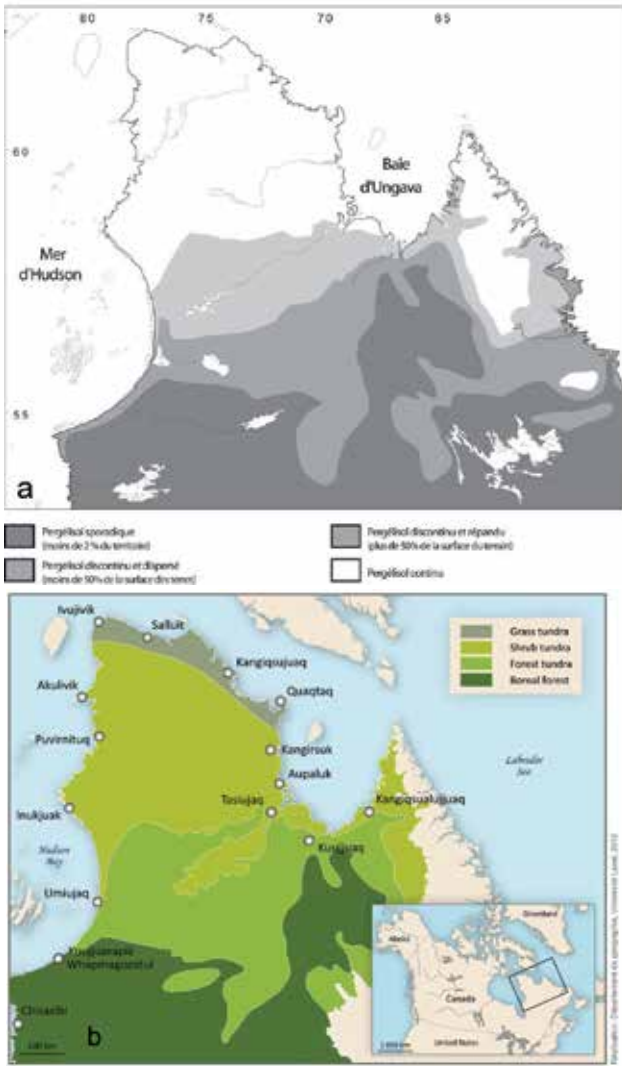
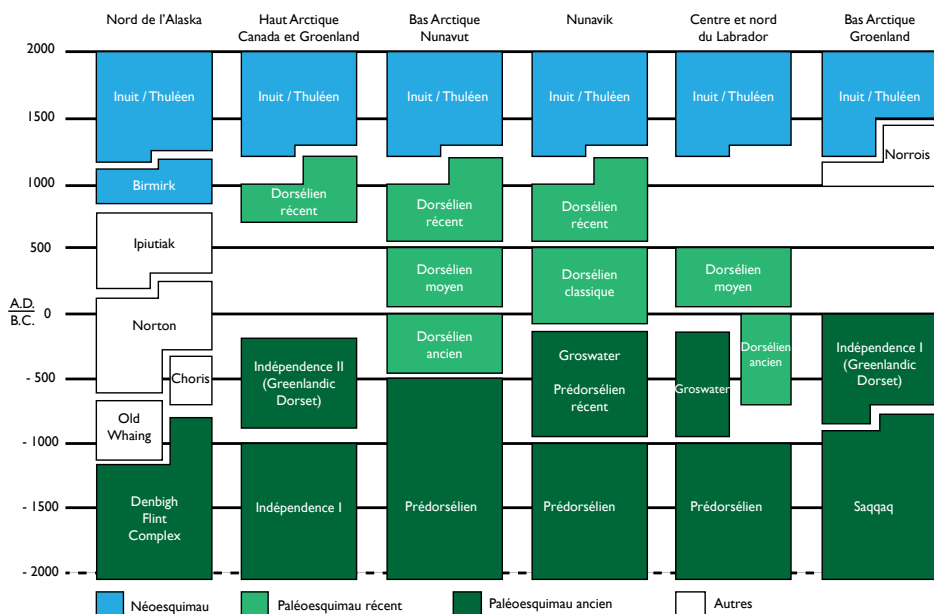


Figure 2 :  
 a : Zones de pergélisol au Nunavik (d'après Allard M., Séguin M. K., 1987)  
 b : Zonation de la végétation au Nunavik (d'après Payette, 2013)

Figure 3 : Principales différenciations chronoculturelles des deux grandes sociétés de l'Arctique nord américain et du Groenland (d'après Institut culturel Avataq, 2011, Chronologie de l'Arctique, source : <http://www.avataq.qc.ca/fr/L-institut/Departements/Archeologie/Decouvrir-l-archeologie/Chronologie-de-l-Arctique>)



## Méthodes

L'approche transversale et multiscale de LOTECHAIN fait appel à l'archéologie (prospection, fouilles, étude des artefacts), la paléoécologie (palynologie, analyse des macrorestes végétaux, xylodendrologie, anthracologie, archéozoologie), la dendrochronologie (analyse des bois flottés et archéologiques), la géoarchéologie intra-site (micromorphologie, sédimentologie), la géochronologie (datations physico-chimiques), la géomorphologie (lecture du paysage, cartographie, recensement, analyse, datation des dépôts sédimentaires, SIG) et la géographie culturelle (conduite d'entretiens auprès des aînés Inuit).

## Contexte archéologique

Deux grands groupes culturels ont habité le Nunavik depuis la fin de la glaciation, les Paléoesquimaux constitués des Prédorséliens et Dorséliens dont les plus vieux vestiges archéologiques datent de 4 000 ans, puis des Thuléens/Inuit<sup>(6)</sup>.

La migration vers l'Est des Thuléens, à partir de l'Alaska débute vers le 13<sup>ème</sup> siècle. Cette culture a atteint le Nunavik il y a 700 à 800 ans (Figure 3). Le contact avec les Euro-canadiens date des 17<sup>ème</sup>-18<sup>ème</sup> siècles. Toutefois, les contacts étaient plutôt limités jusqu'au début du 20<sup>ème</sup> siècle. Les plus gros changements sont apparus vers 1950-1960, lorsque le gouvernement fédéral a forcé la création des villages. L'occupation des côtes de ce vaste territoire par ces groupes successifs a donné lieu à un fort potentiel de sites archéologiques. Ces derniers correspondent à des structures d'habitats, des caches en pierre, des tombes mais aussi des artefacts en métal, en pierre, en os et en bois<sup>(7)</sup>. La plupart de ces sites comportent de nombreux restes osseux animaux qui témoignent des stratégies de subsistance des populations paléo- et néo-esquimaudes. L'importance consacrée à la chasse de mammifères terrestres (principalement caribou), marins (diverses espèces de phoques, morse, béluga) ainsi que d'oiseaux a varié au cours de l'Holocène<sup>(8)</sup>.

Le projet LOTECHAIN vise aussi à documenter cette diversité par l'étude archéozoologique de plusieurs sites du Nunavik.

<sup>(6)</sup> Desrosiers et al., 2008

<sup>(7)</sup> Institut Culturel Avataq, 2011

<sup>(8)</sup> Institut Culturel Avataq, 2011

## Contexte paléoclimatique

Une courbe d'anomalies de température a été construite pour les deux derniers millénaires sur les zones arctiques et subarctiques de l'Amérique du nord à partir d'indicateurs sédimentologiques et biologiques de varves de lacs, mais aussi d'enregistrements dendrochronologiques et de mesures d'isotopes de l'oxygène des glaces<sup>(9)</sup>. Cette synthèse révèle que l'histoire des variations de températures en Arctique pour l'Holocène récent est peu documentée. Parmi les vingt trois sites pris en considération pour proposer une telle reconstruction, aucun n'est localisé au Nunavik.

Les travaux en paléocécologie, géomorphologie et sédimentologie réalisés en différents points du Nunavik et fondés sur différents proxies viennent donc combler ce vide et livrent un contexte climatique contrasté (Figure 4). Les conditions paléoclimatiques à Ivujivik entre 2000 et 1800 cal BP ont été plus humides qu'à Salluit et Inukjuak. Dans la région de Salluit et dans d'autres secteurs du détroit d'Hudson, les données paléocécologiques révèlent quatre épisodes climatiques. De 1910 à 1100 cal BP, les conditions climatiques étaient clémentes. Puis le climat est devenu froid et sec entre 1100 - 870 cal BP dans la région de Salluit<sup>(10)</sup>.

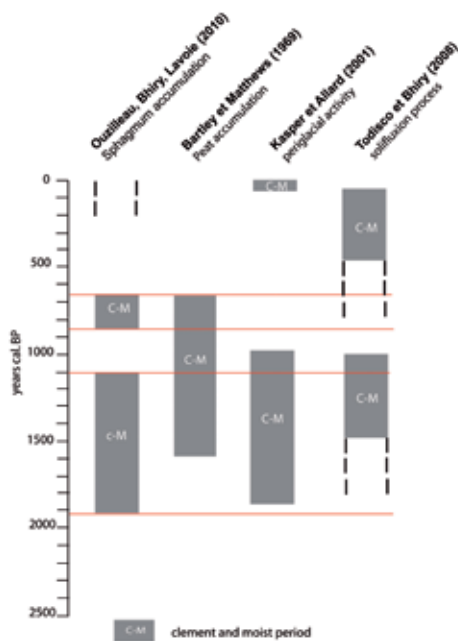


Figure 4 : Interprétation paléoclimatique des sites étudiés dans la région de Salluit, le long du détroit d'Hudson (d'après Ouzilleau-Samson et al, 2010)

A la même période, à Quaqtq plus à l'Est, le climat est déjà plus clément. Ce réchauffement semble se généraliser durant deux siècles (870-670 cal. BP). Il est toutefois jusqu'à présent, rarement identifié, à cause probablement de sa brièveté ou de sa faible intensité. Entre 650 et 250 cal BP, le climat était plus froid et plus sec à Salluit qu'à Inukjuak et Ivujivik où les données suggèrent un climat alors humide<sup>(11)</sup>.

<sup>(9)</sup> Kaufman et al., 2009

<sup>(10)</sup> Kasper, Allard, 2001; Ouzilleau-Samson et al., 2010; Todisco, Bhiry, 2008

<sup>(11)</sup> Lemieux et al., 2011

La période de 670 à 90 cal. BP correspond au "Petit Age Glaciaire" (PAG). Le climat globalement froid et sec entraîne alors d'importants flux de sables éoliens<sup>(12)</sup>, une augmentation de l'activité des coins de glace<sup>(13)</sup> et l'arrêt des processus de solifluxion<sup>(14)</sup>. Ces processus auraient atteint leur intensité maximale durant le PAG entre 500 et 100 BP. Cette période globalement froide connaît cependant quelques courts épisodes plus chauds, plus humides au cours du 19<sup>ème</sup> siècle avec fonte partielle du pergélisol et activation de la solifluxion<sup>(15)</sup>. Après 250 ans cal. BP, les conditions semblent être plus clémentes au nord-est du Nunavik.

## Le bois utilisé par les paléo et néoesquimaux du Nunavik

Bien que situées en zone de toundra herbacée et arbustive le plus souvent, les structures archéologiques étudiées renferment en permanence du bois conservé sec, imbibé d'eau ou carbonisé. Aussi, tout naturellement, la question de l'accès au bois par les populations du Nunavik se pose. Proviennent-ils de troncs ou de branches flottés récoltés sur les grèves ou estrans alentours ? A-t-il été coupé au sud, à la limite des arbres, dans les zones à toundra forestière ou à forêt boréale ? Résulte-t-il d'échanges, de commerce ?

La thèse de doctorat de S. Steelandt tente de répondre à toutes ces questions. Pour la première fois, un travail est mené sur les bois flottés actuels et les bois archéologiques au Nunavik. Ce sont plus de 1500 restes de bois flottés provenant des plages près d'Ivujivik, Akulivik, Inukjuak and Umiujaq et près de 900 morceaux de bois et charbons archéologiques qui ont été étudiés (Figure 5).

Le référentiel sur les bois flottés actuels prend en compte leur morphologie, leur état de conservation, leur identification, leur taux moyen de croissance radiale, leur signature dendrochronologique. Ainsi, a-t-il été possible d'établir un gradient Sud-Nord de leur production, leur degré d'hétérogénéité et de pister leur provenance<sup>(16)</sup>.

Dans les sites archéologiques, la composition du bois n'est guère différente de celle du bois flotté actuel. Aux côtés des arbustes et arbrisseaux locaux, la grande majorité des pièces de bois trouvées appartiennent à des épicéas (épinettes) et des mélèzes. Quelques éléments apparaissent cependant originaux. Le cèdre jaune (*Thuja occidentalis*) rencontré dans les amas de bois flottés actuels et archéologiques atteste d'une origine à l'extrême sud des basses-terres de la Baie de James où il atteint sa limite nordique. De plus, des charbons de pin rouge ou sylvestre, de chêne et de châtaignier ont été retrouvés dans certains sites archéologiques. Ces espèces ne poussant pas sur les côtes de la Baie d'Hudson ou de la Baie de James, correspondent à du bois importé par les courants marins du nord ou par les humains. Enfin, pour attester le passage ou non par l'eau de mer des bois archéologiques, des dosages d'éléments géochimiques ont lieu en collaboration avec A.-C. Pierson-Wickmann de Géosciences-Rennes.

<sup>(12)</sup> Ouzilleau Samson et al., 2010

<sup>(13)</sup> Kasper, Allard, 2001

<sup>(14)</sup> Todisco, Bhiry, 2008

<sup>(15)</sup> Todisco, Bhiry 2008 ; Ouzilleau Samson et al., 2010

<sup>(16)</sup> Steelandt et al., soumis

## Les apports des enquêtes socio-ethnologiques

Les recherches de LOTECHAIN comprennent un important volet socio-ethnologique. Jusque dans les années 1950, les Inuit étaient semi-nomadiques et leur connaissance de la nature et de ses ressources était tout à fait remarquable. Des entretiens semi-dirigés ont donc lieu avec des aînés vivant dans les communautés concernées par les recherches (Figure 6). Ils portent sur leur perception des changements dans un territoire défini, la représentation de l'environnement, l'interprétation des structures archéologiques et les relations aux matières premières.

Des aînés Inuit d'Inukjuak ont été interrogés par A.-M. Lemieux sur leur ressenti des évolutions environnementales<sup>(17)</sup>.

Les observations les plus communes faites par les aînés sont que

- les étés sont plus chauds aujourd'hui et débutent plus tôt dans l'année,
- les conditions météorologiques changent rapidement à présent et il est plus difficile de prévoir le temps,
- les plantes à fleurs éclosent plus tôt au printemps
- il y a de nouveaux animaux et insectes.

Pour une meilleure compréhension de la localisation des lieux de vie et des modalités d'occupation du territoire en rapport avec l'utilisation des ressources, A.-M. Lemieux et ses collègues (2011) ont confronté les savoirs traditionnels inuits aux données archéologiques et archéométriques. Les zones privilégiées d'accueil aux caractéristiques physiques particulières (terrasses marines drainantes, abri des vents dominants, postes d'observation intéressants, proximité de matériaux de construction) se transmettent souvent sur de longues périodes, des Dorsétiens aux Inuit<sup>(18)</sup>.

<sup>(17)</sup> Lemieux et al., 2011

<sup>(18)</sup> Pinard & Gendron, 2009; Desrosiers et al. 2010



Figure 5 : Superstructures en bois en cours de dégagement dans une maison semi-souterraine sur l'île Drayton (Inukjuak) (fouilles P. Desrosiers)



Figure 6 : Interview d'une aînée Inuit du village d'Inukjuak sur l'île Drayton (Inukjuak)

Les Thuléens et Inuit utilisaient plus volontiers les maisons semi-souterraines plutôt que les igloos durant les périodes froides de la fin du PAG à cause probablement du manque de neige. Les conditions climatiques moins rigoureuses ont par la suite permis l'occupation de structures plus légères, moins sophistiquées et moins permanentes. Une interprétation qualitative des interviews couplée aux données des fouilles a pu aussi conduire à une reconstitution de l'espace intérieur des maisons semi-souterraines<sup>(19)</sup> (Figure 7).

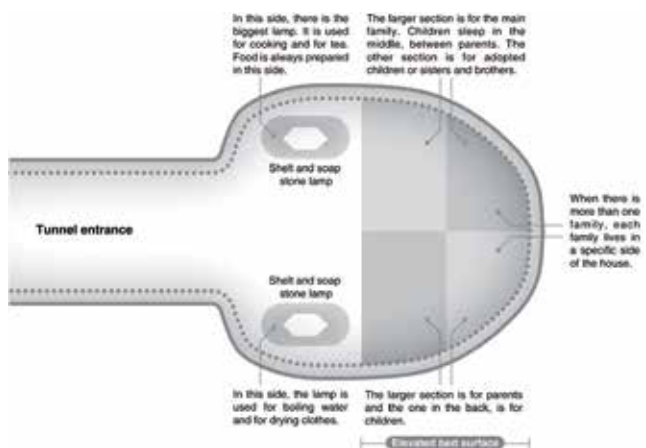


Figure 7 : Modèle d'organisation de l'espace intérieur d'une maison semi-souterraine inuite basé sur les témoignages des aînés Inuit de Inukjuak (d'après Lemieux et al., 2011)

D'autres interviews ont été menées par S. Steelandt avec vingt sept Inuit âgés de 60 à 89 ans habitant à Ivujivik, Akulivik, Inukjuak et Umiujaq, quatre villages de la côte est de la Baie d'Hudson<sup>(20)</sup>. Les thèmes abordés concernaient le vocabulaire, l'origine, la disponibilité, la collecte et l'exploitation des ressources en bois au Nunavik. Les aînés Inuit désignent les pièces de bois flotté en fonction de leur forme, leur aspect, leur couleur et leur texture. Les aînés livrent aussi des informations précieuses sur les lieux préférentiels de collecte du bois. Le bois local d'arbustes était principalement coupé en automne pour la confection de matelas, de tapis ou faire du feu. Le petit bois flotté de l'extrême nord du Nunavik était collecté sur les îles durant l'été par bateau alors que les bois plus volumineux du sud et certains arbres étaient préférentiellement récoltés pendant l'hiver par traîneaux à chiens<sup>(21)</sup>. Les gros morceaux de bois flottés étaient plutôt utilisés pour la construction des embarcations et traîneaux à chien tandis que les autres servaient à la fabrication de toutes sortes de petits objets de la vie quotidienne.

## Conclusion

Le projet LOTECHAIN est donc centré sur la rétro-observation d'un système complexe de relations entre des changements naturels et culturels. L'approche terrain y est absolument fondamentale et en cela, le soutien de l'IPEV est déterminant pour les missions au Nunavik. De plus, cette recherche largement pluridisciplinaire, pluri-institutionnelle et internationale ne pourrait avoir lieu sans le concours scientifique et logistique du Centre d'études nordiques et de l'Institut culturel Avataq.

<sup>(19)</sup> Lemieux et al., 2011

<sup>(20)</sup> Steelandt et al., 2013

<sup>(21)</sup> Steelandt et al., 2013

## Bibliographie

- Allard M., Séguin M. K., 1987. Le pergélisol au Québec nordique: bilan et perspectives. Géographie physique et Quaternaire, XLI (1) : 141-152
- Desrosiers P.M., Gendron D., Todisco D., Monchot H., Rahmani N., Bhiry N., Houmar C., 2008. Tayara (KbFk-7) et le Dorsétien: Recherche pluridisciplinaire sur un site-clé du Paléoesquimaux du détroit d'Hudson (Nunavik, Canada). L'Anthropologie, 112 : 757-779
- Desrosiers P.M., Lofthouse S., Bhiry N., Lemieux A.M., Monchot H., Gendron D., Marguerie D., 2010. The Qijurituk site (IbGk-3), Eastern Hudson Bay: an IPY interdisciplinary study. Danish Journal of Geography, 110(2): 227-243
- Gendron D., Pinard C., 2000. Early palaeo-eskimo occupations in Nunavik: A re-appraisal. In Appelt M., Berglund J. et Gulløv H.C. (Ed.), Identities and cultural contacts in the Arctic. Conference Proceedings at the Danish National Museum, Copenhagen, 1999, Danish Polar Center: 129-142
- Institut culturel Avataq, 2011. (<http://www.avataq.qc.ca/fr/L-institut/Departements/Archeologie/Decouvrir-l-archeologie/Chronologie-de-l-Arctique>)
- Kasper J.N., Allard M., 2001. Late-Holocene climatic changes as detected by the growth and decay of ice wedges on the southern shore of Hudson Strait, northern Québec, Canada. The Holocene 11: 563-577
- Kaufman D.S., Schneider D.P., McKay N.P., Ammann C.M., Bradley R.S., Briffa K.R., Miller G.H., Otto-Bliesner B.L., Overpeck J.T., Vinther B.M., 2009. Recent warming reserves long-term arctic cooling. Science, 325: 1236-1239
- Lemieux, A. M., Bhiry, N., Desrosiers, P.M., 2011. The geoarchaeology and traditional knowledge of winter sod houses in eastern Hudson Bay, Canadian Low Arctic. Geoarchaeology, 26: 479-500
- Maxwell M.S., 1985. Prehistory of the eastern Arctic. Academic Press, New York, 327 p
- McGhee R., 2001. Ancient people of the Arctic. UBC Press, Vancouver, 244 p
- Nagy M., 2000. From Predorset foragers to Dorset collectors Palaeoeskimo cultural change in Ivujivik, eastern Canadian Arctic. In Appelt M., Berglund J. et Gulløv H.C. (Ed.), Identities and cultural contacts in the Arctic, Proceedings conference at the Danish National Museum, Copenhagen, 1999, Danish Polar Center: 143-148
- Ouzilleau-Samson D., Bhiry N., Lavoie M., 2010. Late-Holocene palaeoecology of a polygonal peatland on the south shore of Hudson Strait, northern Québec, Canada. Holocene, 20: 525-536
- Payette S., 1983. The forest tundra and present tree-line of the northern Québec-Labrador Peninsula. Nordica, 47: 3-23
- Payette S. (dir.), 2013. Flore nordique du Québec et du Labrador. Vol. 1, Presses de l'Université Laval, Québec (Québec), Canada, 553 p
- Pinard, C., Gendron D., 2009. The Dorset Occupation on the South Shore of the Hudson Strait: How Late? In Maschner, H., O. Mason et R. McGhee (Ed.), The Northern World. Salt Lake City, The University of Utah Press: 249-262
- Steelandt S., Bhiry, N., Marguerie D., Desbiens C., Napartuk M., Desrosiers P., 2013. Inuit knowledge and use of wood resources on the west coast of Nunavik (Canada). Inuit Studies, 37(1): 147-174
- Steelandt S., Marguerie D., Bhiry N., Delwaide A., soumis. A study of the composition, characteristics and origin of modern driftwood on the western coast of Nunavik (Quebec, Canada). Journal of Geophysical Research - Biogeoscience
- Todisco D., Bhiry N., 2008. Palaeoeskimo site burial by solifluction: Periglacial geoarchaeology of the Tayara site (KbFk-7), Qikirtaq Island, Nunavik (Canada). Geoarchaeology, 23: 177-211

# Effets des contaminants chez les oiseaux arctiques : une coopération franco-norvégienne

Olivier Chastel<sup>(1)</sup>, Sabrina Tartu<sup>(1)</sup>, Frédéric Angelier<sup>(1)</sup>, Paco Bustamante<sup>(2)</sup>, Børge Moe<sup>(3)</sup>, Jan Ove Bustnes<sup>(3)</sup>, Geir Wing Gabrielsen<sup>(4)</sup>

<sup>(1)</sup> Centre d'études biologiques de Chizé, (CEBC) UMR 7372 CNRS-Université de La Rochelle, France

<sup>(2)</sup> Littoral Environnement et Sociétés (LIENSs), UMR7266, Université La Rochelle, France

<sup>(3)</sup> Norwegian Institute for Nature Research (NINA) Tromsø, Norvège

<sup>(4)</sup> Norwegian Polar Institute (NP) Tromsø, Norvège

## Résumé :

En plus des bouleversements consécutifs aux changements climatiques, l'Arctique reçoit, via la circulation atmosphérique et océanique, de nombreux contaminants d'origine anthropique (métaux et composés organiques). En Arctique, on observe une très forte contamination chez les prédateurs supérieurs notamment les oiseaux marins, mais on sait peu de chose sur les conséquences d'une telle exposition. Le programme IPEV ORNITHO-ENDOCRINO vise à comprendre comment les contaminants (polychlorobiphényles, pesticides organochlorés, retardateurs de flamme, composés perfluorés et mercure) perturbent les mécanismes endocriniens impliqués dans la reproduction des oiseaux marins du Svalbard. Ce projet repose sur une collaboration à long terme entre le CEBC et ses partenaires norvégiens (Norwegian Polar Institute, Norwegian Institute for Nature Research).

## Abstract :

*In addition to climate change, the Arctic is subjected to anthropogenic inputs (metals and persistent organic pollutants) due to global transport of elements in the atmosphere and through oceanic circulation. In the Arctic, high contaminant levels have been documented in top predators such as seabirds but the consequences of contaminants exposure are not well understood. The IPEV project ORNITHO-ENDOCRINO aims at investigating how contaminants (PCBs, organochlorine pesticides, flame retardants, perfluorinated compounds and mercury) disrupt endocrine mechanisms involved in the reproductive investment of seabirds in Svalbard. This project relies on the long term collaboration between CEBC and the Norwegian partners (Norwegian Polar Institute and Norwegian Institute for Nature Research).*

## Contexte : les polluants en Arctique

Longtemps préservés des activités humaines, les oiseaux marins arctiques font désormais face, en plus des bouleversements consécutifs aux changements climatiques, à une menace plus insidieuse. En effet, malgré leur éloignement des centres industriels et agricoles, les régions arctiques connaissent depuis plusieurs décennies des apports (métaux lourds et composés organiques) d'origine anthropique. C'est particulièrement le cas des polluants organiques persistants (POPs) comme les pesticides organochlorés (dont le célèbre DDT) et les polychlorobiphényles (PCB), autrefois utilisés comme isolants électriques dans les transformateurs. Bon nombre de ces molécules sont interdites d'utilisation depuis plusieurs décennies par la convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants et voient leurs concentrations dans l'environnement lentement diminuer. Cependant, ces composés et leurs métabolites sont encore très présents en Arctique et font partie des POPs dits "d'héritage".

S'y ajoute la présence croissante de POPs émergents tels que certains composés bromés (BFRs, retardateurs de flamme) et perfluorés (PFC, utilisés comme imperméabilisants et comme produits antiadhésifs). Enfin, parmi les métaux lourds, le mercure, d'origine naturelle et anthropique est également très présent en Arctique. Ces composés ubiquistes et volatils voyagent aisément dans l'air sans se détériorer, par le biais de l'effet "sauterelle" phénomène complexe d'alternance évaporation/condensation qui les dirige vers les régions polaires. Cette forte prévalence des polluants en Arctique s'explique aussi par le fait que dans les régions froides, où la dégradation est très lente, ces molécules perdurent dans l'environnement pendant des décennies.

Enfin, ces contaminants (à l'exception des PFC, hautement lipophobes) ont tendance à s'accumuler, via la chaîne trophique, dans les graisses, dont les animaux polaires sont très pourvus.

Chez les oiseaux marins arctiques et en particulier ceux situés en haut de chaîne alimentaire, on trouve des concentrations très élevées de POPs et de mercure. Cependant, on sait peu de chose sur les conséquences d'une telle exposition aux polluants. En effet, de par leurs similarités structurales avec certaines hormones, ces polluants s'avèrent de redoutables perturbateurs endocriniens. Une hormone est une substance chimique, sécrétée par une glande endocrine, agissant à distance et par voie sanguine sur les récepteurs spécifiques d'une cellule cible, et qui peut activer une ou plusieurs fonctions biologiques, en interaction avec l'environnement. La recherche médicale a montré que certains POPs et métaux lourds peuvent perturber les mécanismes hormonaux par effet mimétique ou par effet antagoniste en simulant ou en bloquant l'action d'une hormone naturelle. En milieu naturel, on peut donc se demander si la présence de ces contaminants dans l'environnement arctique peut altérer le fonctionnement normal des mécanismes hormonaux des oiseaux marins.



## Le programme ORNITHO-ENDOCRINO

Soutenu par l'Institut polaire français (IPEV), ce programme s'intéresse aux effets des polluants organiques et du mercure en tant que perturbateurs endocriniens chez les oiseaux marins du Svalbard, une problématique identifiée comme majeure par l'AMAP (*Arctic Monitoring and Assessment Program*). Plus spécifiquement, il s'agit des hormones impliquées dans l'axe hypothalamo-hypophysio-surrénalien, et en particulier la corticostérone (la principale hormone de stress chez les oiseaux) et dans l'axe hypothalamo-pituitaire-gonadique, et en particulier l'hormone lutéinisante (LH) et la prolactine, respectivement liées au démarrage de la reproduction et à l'expression des soins parentaux. Les travaux initiaux du projet, souvent basés sur une approche expérimentale, ont mis en évidence le rôle clé de la corticostérone, hormone associée au stress, environnemental (climat, condition trophiques, prédateurs) et de ses interactions avec la LH et la prolactine, comme médiateur des décisions relatives à l'engagement dans la reproduction, à la date de ponte et à l'investissement parental.

Ce programme s'appuie sur les compétences du CEBC qui est spécialisé dans le dosage des hormones chez les animaux sauvages et fait appel à diverses disciplines telles que l'éco-toxicologie, l'endocrinologie, l'écologie et la démographie. Hormones et contaminants sont dosés à partir d'échantillons de sang et de plumes. Ces travaux de recherche sont basés sur d'importantes collaborations nationales (Laboratoire LIENSs, Université de la Rochelle, pour la mesure des métaux lourds) et internationales, notamment avec la Norvège (Norwegian Polar Institute (NP), Norwegian Institute for Nature Research (NINA), pour la mesure des polluants organiques). Le programme ORNITHO-ENDOCRINO reçoit également le soutien de l'Agence Nationale de La Recherche (ANR PolarTOP) et du Research Council of Norway (programmes COPOL et AVITOX).

Cette recherche est basée au Svalbard, sur le site de la base internationale de Ny Ålesund, dans la Baie du Roi (Kongsfjord) où l'on trouve d'abondantes colonies d'oiseaux marins, et en particulier de mouettes tridactyles *Rissa tridactyla* (Photo 1).

Cette espèce peu farouche fait l'objet d'un suivi démographique (bagueage), toxicologique (métaux lourds, POPs), physiologique (hormones, énergétique) et comportemental (suivi des déplacements en mer par le biais de loggers) depuis de nombreuses années par le programme ORNITHO-ENDOCRINO et ses partenaires norvégiens (Figure 1).

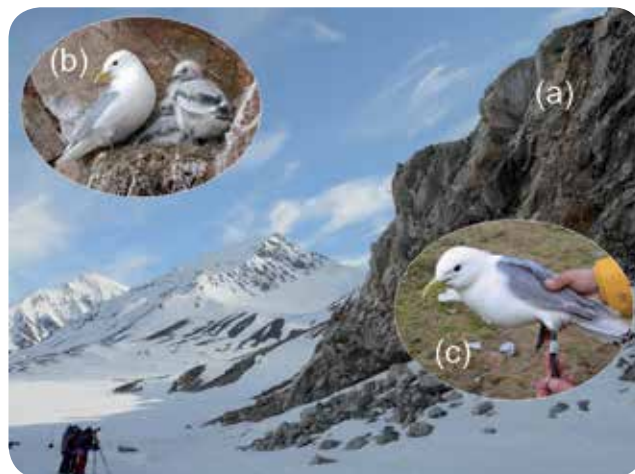
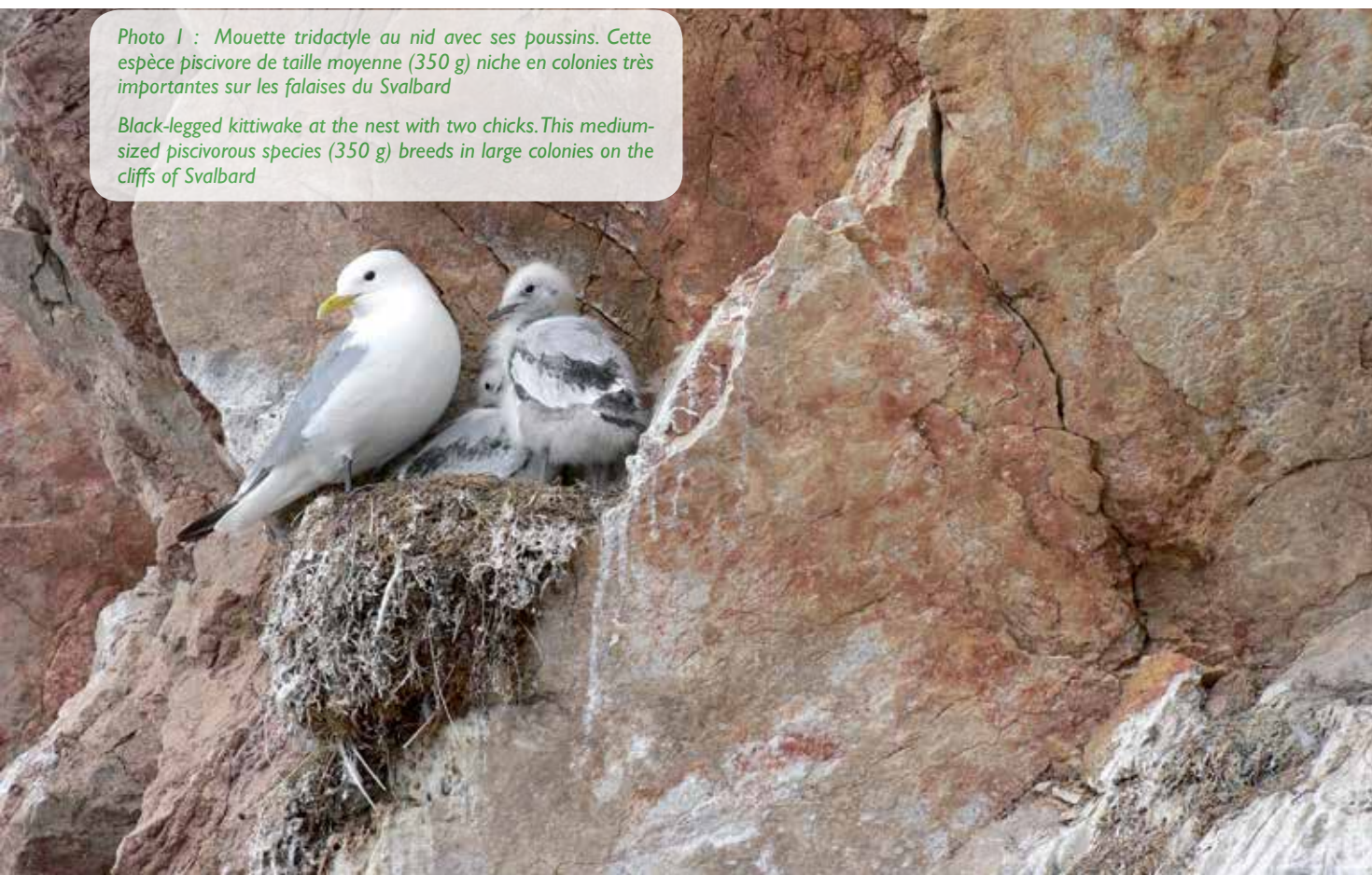


Figure 1 : En Baie du Roi, les colonies de mouettes tridactyles sont aisément accessibles et proches de la base de Ny Ålesund, ce qui permet un suivi démographique (bagueage) à long-terme

In the Kongsfjord, kittiwake study plots (a) are easily accessible and close to the Ny Ålesund base which allows running a long-term ringing study (b, c)

Photo 1 : Mouette tridactyle au nid avec ses poussins. Cette espèce piscivore de taille moyenne (350 g) niche en colonies très importantes sur les falaises du Svalbard

Black-legged kittiwake at the nest with two chicks. This medium-sized piscivorous species (350 g) breeds in large colonies on the cliffs of Svalbard



Outre la mouette tridactyle, les travaux sont étendus depuis quelques années à d'autres espèces, notamment le goéland bourgmestre *Larus hyperboreus*. Charognard et prédateur, donc situé en haut de chaîne alimentaire, cet oiseau présente des taux record de contamination par les POPs (Photo 2).

### Ce programme pluridisciplinaire vise à :

- Identifier les mécanismes complexes d'interactions entre les polluants (POPs, mercure) et les systèmes hormonaux liés à la reproduction et au stress.
- Mesurer les conséquences de la présence de ces perturbateurs endocriniens sur la survie, le succès reproducteur des individus en croisant les suivis à long terme (bagueage) avec des études écotoxicologiques et hormonales.
- Appréhender la dynamique spatiale de la contamination. Grâce aux loggers miniaturisés (GPS, géolocalisation) on peut désormais suivre les déplacements des individus sur une année entière. En couplant ces suivis à des mesures toxicologiques dans des tissus archives (sang, plumes), il devient possible de comprendre quand (reproduction ou hivernage) et où les oiseaux se contaminent (Figure 2).



Photo 2 : Prédateur de grande taille (1500 g), le goéland bourgmestre niche sur les îlots et falaises. Les goélands bourgmestres du Svalbard sont probablement les oiseaux les plus contaminés au monde.

Glaucoous gulls are large (1500 g) predatory birds which breed on islets and cliffs. The Svalbard glaucous gulls are probably the most contaminated birds on earth

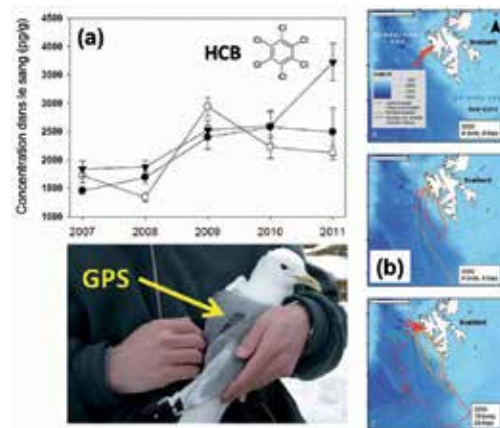


Figure 2 : En Baie du Roi, les mouettes tridactyles font l'objet d'un suivi à long-terme des polluants organiques (a) tels que l'hexachlorobenzène (HCB), un fongicide interdit depuis 1981. En couplant ces données avec un suivi GPS pluriannuel des zones marines exploitées par l'espèce (b) il devient possible d'identifier les secteurs océaniques où les oiseaux sont le plus exposés.

In the Kongsfjord, kittiwakes are subject to a long-term monitoring of organic pollutants (a) such as Hexachlorobenzene (HCB), a banned fungicide since 1981. Combining tracking GPS data (b) with measurement of contaminants levels offer a rare opportunity to study the effects of at sea distribution on the uptake of pollutants



## Résultats

Chez les mouettes tridactyles, une forte contamination par les PCBs semble spécifiquement impacter l'axe hypothalamo-hypophysio-surrénalien en stimulant la production d'hormones de stress (cortisol). Les individus les plus contaminés présentent donc une sensibilité accrue au stress (Figure 3). Lors de conditions environnementales défavorables (baisse des ressources alimentaires) ces oiseaux seraient alors plus prompts à abandonner leur nid. Des tests conduits chez différentes espèces suggèrent que cette perturbation endocrine par les PCB opère au niveau surrénalien en stimulant la quantité de récepteurs à l'ACTH.

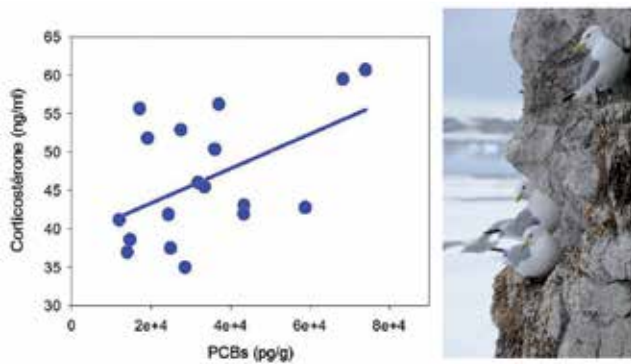


Figure 3 : Chez les mouettes tridactyles du Svalbard, une forte exposition aux polychlorobiphényles (PCB) est associée à des taux élevés de corticostérone, l'hormone de stress.

*In kittiwakes, exposure to polychlorobiphenyls (PCB) is associated with elevated plasma levels of corticosterone, the stress hormone*

Au niveau de l'axe hypothalamo-pituitaire-gonadique, toujours chez la mouette tridactyle la présence de méthylmercure (la forme organique et toxique du mercure), entraîne une forte diminution de la sécrétion de LH, notamment en réprimant la production de GnRH, au niveau de l'hypothalamus. Au printemps, le système endocrinien sera donc moins à même de répondre pour déclencher la nidification et ceci explique en partie l'absence de reproduction observée chez les individus les plus contaminés par le méthylmercure (Figure 4).

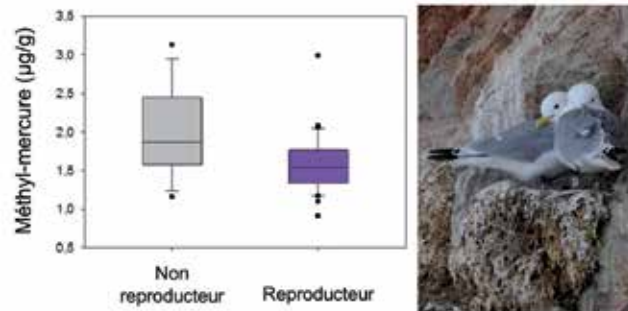


Figure 4 : Chez les mouettes tridactyles du Svalbard, une forte exposition au méthylmercure est associée à une suppression de la reproduction.

*In Svalbard kittiwakes, high exposure to methyl-mercury is associated with suppression of reproduction*



Chez les goélands bourgmestres, les effets des contaminants ont été également examinés sur une autre hormone hypophysaire, la prolactine qui joue un rôle clé dans l'expression des comportements parentaux. Chez cette espèce, la pollution par les POPs (PCB, pesticides organochlorés et retardateurs de flamme bromés) est associée, chez les individus les plus contaminés, à un déclin significatif des taux de prolactine (Figure 5). Cette perturbation de la sécrétion de prolactine pourrait expliquer la faible assiduité à couvrir les œufs par les individus les plus contaminés.

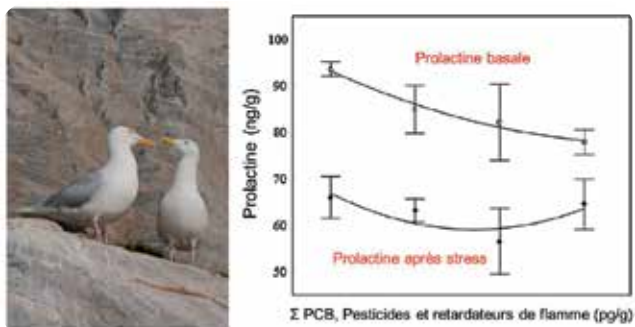


Figure 5 : Au Svalbard, chez les goélands bourgmestres les plus contaminés par les polluants organiques persistants (PCB, pesticides organochlorés et retardateurs de flamme bromés), on constate un déclin des taux sanguins de prolactine, une hormone clé pour l'expression des comportements parentaux.

In Svalbard, the most contaminated (PCB, organochlorine pesticides and brominated flame retardants) individuals show depressed blood levels of prolactin, a hormone involved in parental cares

Le programme ORNITHO-ENDOCRINO a révélé d'autres conséquences inattendues de l'exposition aux polluants. Ainsi chez la mouette tridactyle, une forte exposition aux POPs (PCB et pesticides organochlorés) est associée à une moindre intensité de certains signaux colorés présents au niveau de la langue, des commissures et du tour des yeux (Figure 6). Ces signaux basés sur la présence de pigments caroténoïdes, pourraient intervenir dans les processus de sélection du partenaire. En présence de POPs, ces pigments caroténoïdes qui possèdent des propriétés antioxydantes, seraient majoritairement alloués à la lutte contre ces molécules toxiques, probablement aux dépens de l'attractivité des individus.

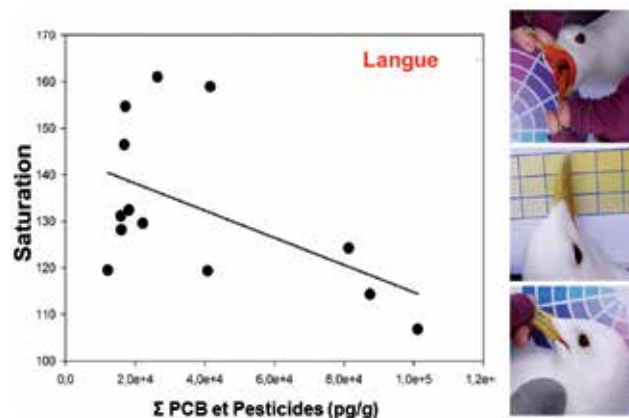


Figure 6 : Au Svalbard, chez les femelles de mouette tridactyle, les PCB et pesticides organochlorés semblent affecter l'intensité de certains signaux colorés présents au niveau de la langue. L'intensité des colorations est estimée à l'aide d'un nuancier de couleurs de référence.

In female Svalbard kittiwakes, PCB and organochlorine pesticides seem to disrupt colouration of carotenoids-based integuments (ex: tongue). The intensity of coloration is estimated using a standardized colour swatch



## Conclusion et perspectives

Les travaux menés dans le cadre du programme LORNITHO-ENDOCRINO montrent clairement que des concentrations même modérées de mercure ou de POPs sont assorties chez les oiseaux marins arctiques de modifications significatives des niveaux et des cinétiques des hormones (corticotérostéone, LH, prolactine). L'exposition à ces contaminants affecte également la valeur sélective des individus (suppression de la reproduction, perturbation possible des mécanismes de sélection sexuelle). La traduction des indices environnementaux (climat, ressources) en réponses écologiques (date de ponte) se réalise via une cascade de processus hormonaux, qui déterminent probablement le degré d'adaptation aux modifications de l'environnement. Dans ce cadre, l'exposition à certains polluants tels que les PCB pourrait entraîner une plus grande sensibilité aux facteurs de stress (modification des habitats, baisse des ressources alimentaires, dérangement) et altérer les capacités des individus à y faire face. De façon générale, les polluants, en perturbant le bon fonctionnement des mécanismes hormonaux impliqués dans les décisions de reproduction (axes hypothalamo-hypophysio-surrénalien et hypothalamo-pituitaire-gonadique), pourraient théoriquement contraindre les capacités d'adaptation des oiseaux marins aux bouleversements majeurs que connaissent aujourd'hui les régions arctiques, tels que ceux engendrés par le changement climatique.

Dans les années à venir le programme ORNITHO-ENDOCRINO souhaite s'investir dans l'étude des mécanismes complexes d'interactions entre les polluants (effets cocktail) et les systèmes hormonaux liées à la reproduction et au stress. C'est le cas en particulier pour certains POPs émergents tels que les composés perfluorés (PFC), dont la prévalence augmente fortement chez les oiseaux marins polaires. Or l'impact des PFC est extrêmement mal connu chez les animaux sauvages. Ces travaux sur les effets des PFC sont d'ores et déjà engagés, avec le soutien du CNRS (Initiative structurante EC2CO, Ecosphère continentale et côtière, de l'INSU : Polluants organiques émergents en milieux polaires: effets des composés perfluorés sur les prédateurs supérieurs) et une thèse (2015-2018) y sera consacrée.

## Bibliographie

- Chastel, O., Lacroix, A., Weimerskirch, H., Gabrielsen, G.W. (2005). Modulation of prolactin but not corticosterone responses to stress in relation to parental effort in a long-lived bird. *Hormones and Behavior* 47: 459-466.
- Verreault, J., Verboven, N., Gabrielsen, G.W., Letcher, R.J., Chastel, O. (2008). Changes in prolactin in a highly organohalogen contaminated Arctic top predator seabird, the glaucous gull. *General and Comparative Endocrinology* 156: 569-576.
- Angelier, F., Clément-Chastel, C., Weckler, J., Gabrielsen G.W., Chastel, O. (2009). How does corticosterone affect parental behaviour and reproductive success? A study of prolactin in Black-legged kittiwakes. *Functional Ecology* 23: 784-793
- Goutte, A., Clément-Chastel, C., Moe, B., Bech, C., Gabrielsen, G.W., Chastel, O. (2011). Experimentally reduced corticosterone release promotes early breeding in black-legged kittiwakes. *Journal of Experimental Biology* 214: 2005-2013.
- Nordstad, T.; Moe, B.; Bustnes, J.O.; Bech, C.; Chastel, O.; Goutte, A.; Sagerup, K.; Trouvé, C.; Herzke, D.; Gabrielsen, G.W. (2012). Relationships between POPs and baseline corticosterone levels in black-legged kittiwakes (*Rissa tridactyla*) across its breeding cycle. *Environmental Pollution* 164: 219-226.
- Tartu, S., Goutte, A., Bustamante, P., Angelier, F., Moe, B., Clément-Chastel, C., Bech, C., Gabrielsen, G.W., Bustnes, J.O., Chastel, O. (2013). To breed or not to breed: endocrine response to mercury contamination by an Arctic seabird. *Biology Letters* 9: 20130317.
- Goutte, A.; Angelier, F.; Bech, C.; Clément-Chastel, C.; Dell'omo, G.; Gabrielsen, G.W.; Lendvai, Á.Z.; Moe, B.; Noreen, E.; Pinaud, D.; Tartu, S., Chastel, O. (2014). Annual variation in the timing of breeding, pre-breeding foraging areas and corticosterone levels in an Arctic population of black-legged kittiwakes. *Marine Ecology Progress Series* 496: 233-247
- Tartu, S., Angelier, F., Herzke, D., Moe, B., Bech, C., Gabrielsen, G.W., Bustnes, J.O., Chastel, O. (2014). The stress of being contaminated? Adrenocortical function and reproduction in relation to persistent organic pollutants in female Black-legged kittiwakes. *Science of the Total Environment* 476-477: 553-560.
- Blévin, P., Tartu, S., Angelier, F., Leclaire, S., Bustnes, J.O., Moe, B., Herzke, D., Gabrielsen, G.W., Chastel, O. (2014). Integument colouration in relation to persistent organic pollutants and body condition in arctic breeding black-legged kittiwakes (*Rissa tridactyla*). *Science of the Total Environment* 470-471: 248-254



# Ecologie et évolution des salmonidés introduits à Kerguelen

Jacques Labonne<sup>(1)</sup>, Eddy Beall<sup>(1)</sup>, Philippe Gaudin<sup>(1)</sup>, Frédéric Lecomte<sup>(2)</sup>, Marc Jarry<sup>(1)</sup>, Jean-Marc Roussel<sup>(3)</sup>, Matthias Vignon<sup>(1)</sup>.

<sup>(1)</sup> : INRA-UPPA, UMR 1224, ECOBIOP, Pôle d'Hydrobiologie, Saint-Pée sur Nivelle, France

<sup>(2)</sup> : Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec, Québec, Canada

<sup>(3)</sup> : INRA-Agrocampus Ouest, UMR ESE, 65 rue de Saint-Brieuc Bât. 15, CS 84215, 35042 Rennes Cedex, France

## Résumé :

Le programme IPEV SALMEVOL-1041 s'intéresse à l'écologie évolutive des salmonidés introduits aux Iles Kerguelen, en s'appuyant sur une collection de données et d'échantillons initiée en 1970. Parmi les huit espèces introduites, trois ont déjà disparu des eaux de l'archipel, mais la truite commune a rapidement envahi un grand nombre de rivières. Ce succès s'associe à des évolutions de traits comportementaux et phénotypiques, comme la stratégie de migration marine. Nos modèles indiquent que cette colonisation se ralentit actuellement sur le front ouest, et que les pressions de sélection pourraient y modifier la composition génétique des populations. Espèce invasive, la truite peut aussi servir de marqueur du milieu : l'étude isotopique des collections d'écaillés révèle en effet un appauvrissement général de l'écosystème terrestre de Kerguelen au travers des dernières décennies.

## Abstract :

The SALMEVOL-1041 IPEV program focuses on the evolutionary ecology of introduced salmonids in Kerguelen Islands, benefiting from a long term monitoring initiated in 1970. Among the eight introduced species, three have already gone extinct, but the brown trout quickly invaded a large number of rivers. This success is associated to the evolution of behavioural and phenotypic traits such as marine migratory behaviour. Our models show that the colonization process is currently pacing down on the west colonization front, where selective pressures trigger genetic in boundary populations. Despite being an invasive species, brown trout can also be seen as an ecosystem health indicator: for instance, the study of stable isotopes in scales collections unravels a general decrease in the terrestrial ecosystem of Kerguelen in the last decades.

## Un demi-siècle de suivi : données et échantillons

Les écosystèmes subantarctiques représentent des refuges de biodiversité fragiles souvent menacés par les changements environnementaux et les invasions biologiques. Parmi ces espèces invasives, les salmonidés apportés par l'homme sur les îles Kerguelen dans les années 1950 ont fait l'objet d'un suivi exceptionnel à travers les décennies grâce aux expéditions supportées par l'IPEV. Cette collection de données et d'échantillons constitue désormais un livre ouvert sur l'implantation et l'évolution de ces espèces dans ce nouvel environnement. Dans un tel livre, on peut retracer le passé de chacune des espèces introduites, celles qui ont disparu, celles qui se sont maintenues et celles qui ont envahi une partie des rivières de Kerguelen.

Le programme SALMEVOL a permis d'organiser ces données et de les synthétiser pour des utilisations futures. Cette masse de données autorise désormais l'exploration de grandes questions en écologie évolutive, sur les relations entre l'environnement, l'évolution des espèces et le succès des invasions biologiques.

## Dynamique des salmonidés introduits : des perdants, des gagnants et les règles du jeu

À partir du suivi des populations introduites, il est désormais possible de tracer un bilan général. Il apparaît que les espèces qui ont plutôt réussi sont celles dont les conditions d'introductions ont été favorables : des effectifs importants, des origines multiples favorisant la diversité initiale et des lieux d'introductions multiples sur l'archipel. Parmi les huit espèces introduites, la truite commune est de loin le grand vainqueur de la colonisation (Figure 1). Avec une réussite moindre, les ombles de fontaine et chevalier se sont maintenus ainsi que le saumon Coho. Au contraire, la truite arc en ciel, le cristivomer et le saumon Chinook ont rapidement disparu car ils n'ont jamais réussi à se reproduire sur l'archipel. Le saumon atlantique, ayant bénéficié de cinq introductions, avait réussi à établir deux populations, dont l'une s'est déjà éteinte et la seconde est actuellement proche de l'extinction.

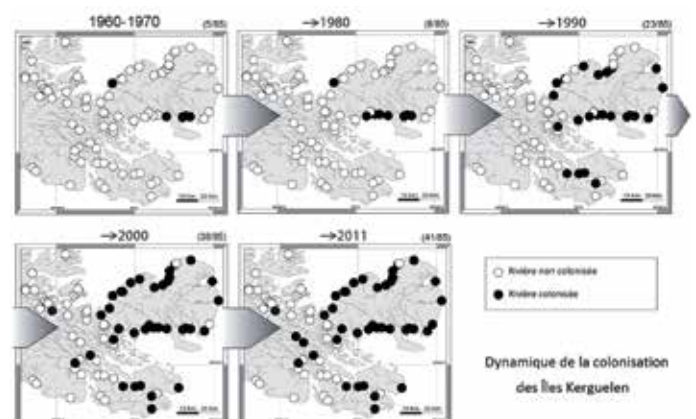


Figure 1 : dynamique observée de l'invasion des hydrosystèmes de Kerguelen par la truite commune

Dans le cas de la truite commune, nos travaux indiquent que la vitesse de colonisation a été amplement favorisée par l'action de l'homme à travers les introductions multiples : on estime que le nombre de rivières actuellement colonisées (42) serait deux fois inférieur s'il n'y avait eu qu'une seule introduction réussie, tout étant égal par ailleurs. Nous avons aussi découvert que la dynamique de colonisation pour cette espèce est influencée par la taille des systèmes à coloniser : les grands systèmes hydrographiques sont colonisés plus rapidement que les petits, leur débit supérieur étant probablement plus attractif pour les truites. En revanche, une fois colonisés, ces grands systèmes ne produisent pas plus de colonisateurs que des petits systèmes. Par ailleurs, nous avons aussi mis en évidence un patron temporel de la colonisation, très rapide pendant les 30 premières années, mais qui est en phase de ralentissement à l'heure actuelle, indépendamment de la taille et de la répartition des rivières à coloniser (Figure 2). Nous ne savons pas encore si cette variation est liée à des changements environnementaux au fur et à mesure que la colonisation progresse vers l'ouest ou bien si des aspects adaptatifs et densité-dépendants pourraient être à l'œuvre qui limiteraient l'intérêt d'une dispersion importante pour les individus.

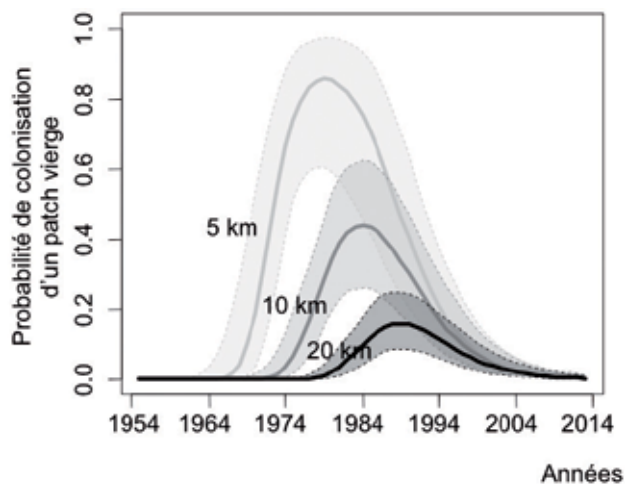


Figure 2 : projection de l'estimation de la probabilité de colonisation d'un patch vierge en fonction de son éloignement d'un site déjà colonisé et du temps

## Génération après génération, l'évolution

Confrontés à de nouveaux environnements, les organismes sont soumis à des pressions de sélections face auxquelles chacun tente de s'adapter. L'adaptation est perçue comme une amélioration de l'aptitude phénotypique d'un individu au cours de son existence ou bien au travers des générations. De façon simplifiée, on parle de plasticité phénotypique dans le premier cas et de sélection génétique (voire épigénétique) dans le second.

Au cours du programme SALMEVOL, nous avons cherché à savoir si une espèce comme la truite commune avait modifié son phénotype pour assurer sa survie ainsi que la colonisation de nouveaux écosystèmes. Chez cette espèce, la première modification perceptible est celle qui s'associe à sa capacité à exploiter différents milieux, notamment les milieux marins et dulçaquicoles. Cette capacité, dont les bases génétiques restent toujours mal connues, a probablement apporté plusieurs avantages à la truite depuis son introduction. Le premier est de pouvoir coloniser facilement de nouvelles rivières par la voie marine. Le deuxième est d'accéder à de nouvelles ressources facilitant la croissance et donc à terme la fécondité pour les femelles. Enfin, l'exploitation des ressources trophiques du milieu marin permet de réduire la compétition. Par ailleurs, on pense que l'âge de première migration en mer est aussi sous influence du bilan de croissance relatif qu'un poisson peut réaliser en rivière et en mer : l'hypothèse est que dès que les conditions de croissance en rivière deviennent inférieures à ce qu'elles pourraient être en mer à risque égal, alors les poissons pourraient décider de migrer.

Plusieurs raisons peuvent laisser penser que la décision de migrer en mer, et donc l'âge associé, a pu varier depuis l'introduction : d'une part, les individus introduits pouvaient ne pas être adaptés à leur nouvel environnement, d'autre part, les paramètres environnementaux (productivité, température) dans les deux compartiments de l'écosystème (dulçaquicole et marin) ont pu aussi varier dans le temps. Nous avons analysé l'âge de première migration en mer à partir d'échantillon d'écaillés provenant de truites capturées depuis les années 1970 jusqu'à nos jours, à l'aide de la scalimétrie qui permet d'estimer un âge en comptant les stries de croissance et leur resserrement, à l'image de la dendrochronologie. A l'aide d'un modèle statistique, nous avons reconstruit la variation de l'écart à l'âge moyen de première migration au cours du temps (Figure 3).

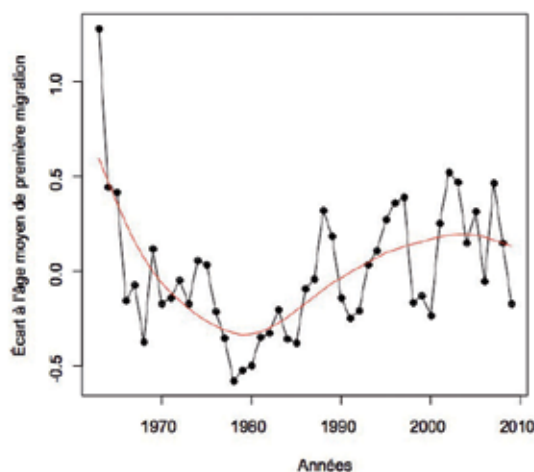


Figure 3 : évolution de l'écart à l'âge moyen de première migration dans le temps

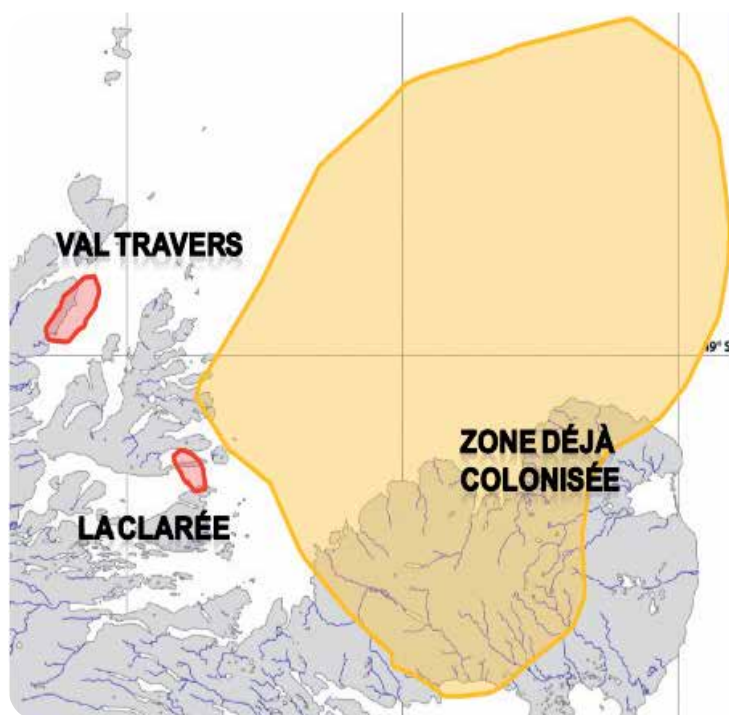
Il apparaît que l'âge de première migration en mer n'a pas été stable sur la période considérée : après un rapide recul suite aux premières reproductions constatées, on observe une première période où l'âge de première migration est resté précoce (1965-1985), puis une dérive vers un âge de première migration plus tardif.

On peut donc conclure que la valeur moyenne de ce trait s'est déplacée depuis le début de la colonisation. Si la brusque chute initiale peut être attribuée à un effet fondateur, et une possible forte sélection, la phase suivante suggère un avantage pour les poissons qui cherchaient rapidement à quitter la rivière pour la mer. En revanche dans les dernières décennies, les poissons passent davantage de temps en rivière avant de partir en migration marine. Nous cherchons actuellement à déterminer les raisons de cette évolution, liée potentiellement aux variations de l'environnement en rivière et en mer depuis l'introduction initiale.

### De la sélection sur les gènes ?

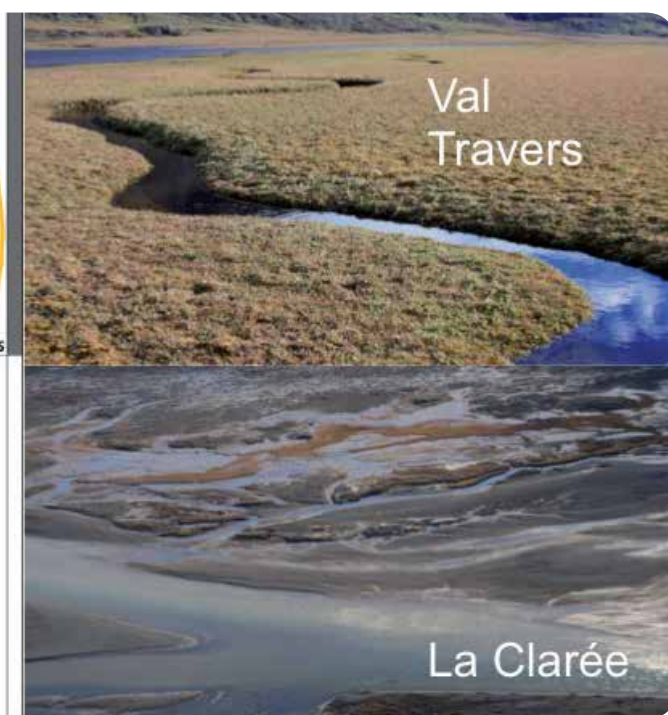
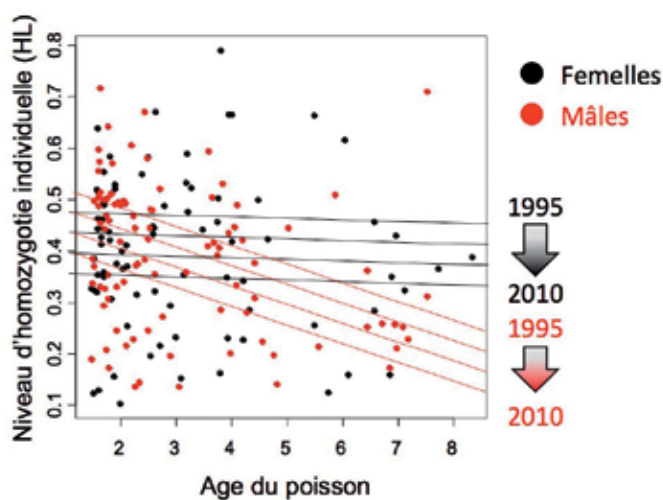
Les résultats précédents montrent que les phénotypes des poissons sont susceptibles d'évoluer au cours du temps et à travers les générations. Une des questions que se posent les scientifiques est de savoir si la variabilité génétique au sein des populations est affectée au cours de ces évolutions, sous l'effet de pressions de sélection ou si en retour elle peut limiter ou faciliter ces évolutions. Pour répondre à cette question, nous avons investigué un cas particulier : que se passe-t-il quand la variation génétique est minimale ? C'est le cas de deux populations situées sur le front Ouest de colonisation pour la truite à Kerguelen, toutes deux introduites par l'homme en 1993, à partir d'un mâle et une femelle pour Val Travers et deux mâles et une femelle pour la Clarée (Figure 4). Ces deux hydrosystèmes diffèrent aussi dans leur environnement : la Clarée est totalement connectée au milieu marin alors que le retour depuis la mer semble impossible à Val Travers. De plus, les ressources trophiques en rivière pourraient différer fortement du fait de la présence en amont du système de la Clarée du lac d'Hermance qui déverse d'importantes quantités de zooplankton.

Figure 4 : Val Travers et la Clarée, deux hydrosystèmes contrastés sur le front de colonisation ouest



Nous avons utilisé des marqueurs microsatellites distribués sur des chromosomes séparés afin d'analyser la proportion de loci (ou marqueurs génétiques) homozygotes chez chaque individu pêché dans ces deux populations. Un individu est dit homozygote lorsqu'il possède deux mêmes copies pour un gène donné, par opposition à un individu hétérozygote qui possède deux copies différentes du gène sur chaque brin d'ADN. En effet, l'homozygotie dans des populations fortement consanguines peut potentiellement avoir un effet négatif sur la survie ou les capacités de reproduction des individus (dépression de consanguinité) alors que l'hétérozygotie permet parfois d'améliorer justement la valeur adaptative des individus (phénomène d'hétérosis). Nos résultats pour la population de Val Travers indiquent que plus l'homozygotie individuelle chez les mâles est forte, plus la probabilité de capturer un individu âgé est faible : les mâles très homozygotes survivraient donc moins longtemps (Figure 5). Une telle relation est en revanche absente chez les femelles. Nous avons aussi découvert que le niveau d'homozygotie individuelle diminuait régulièrement depuis l'introduction. Il semblerait donc que dans cette population de Val Travers, il existe une sélection contre les individus les plus homozygotes seulement chez les mâles. Par contre, ces relations n'ont pas été trouvées dans la population de la Clarée.

Figure 5 : Relations entre l'homozygotie individuelle, l'âge et le sexe des poissons



En conclusion, nous pouvons donc affirmer que de la sélection contre l'homozygotie est possible dans des populations génétiquement très peu variables, mais qu'elle n'est pas systématique et qu'elle peut être présente chez un seul sexe. Il nous reste désormais à identifier les raisons de cette sélection - ou de son absence - : les différences d'environnement peuvent-elles jouer dans ces résultats ? Ou bien peut-on imaginer des effets fondateurs différents, liés aux caractéristiques génétiques des géniteurs utilisés pour les introductions ? Il faudra continuer à expérimenter et à suivre ces populations pour explorer ces nouvelles questions. La diversité des résultats semble cependant confirmer que les combinaisons entre l'environnement d'introduction et les génotypes introduits sont essentielles pour l'échec ou le succès de l'invasion.

### Espèces invasives et changement écosystémique

Les salmonidés sont déjà connus pour impacter les milieux oligotrophiques lors de leurs migrations dans le grand nord Canadien par exemple. Aux îles Kerguelen, les individus migrants vont ainsi s'alimenter en mer, accélérant fortement leur croissance. Leur retour annuel pour la reproduction en rivière permettrait de rapatrier une partie des éléments absorbés en mer vers l'écosystème terrestre. Ces espèces étant invasives, il était normal de s'interroger sur leur impact écosystémique. Pour évaluer ces effets, nous avons analysé des tissus (écailles) sur plusieurs décennies chez des juvéniles de truite dans les rivières du Château et de la Norvégienne afin de détecter des tendances dans l'enrichissement de l'écosystème terrestre par les nutriments marins. La technique des isotopes stables mise en œuvre pour cette étude permet ainsi de contraster des écosystèmes adjacents en fonction de leur teneur en isotope, notamment celui de l'azote ( $^{15}\text{N}$ ) qui renseigne en partie sur la productivité de l'écosystème. Nous avons choisi d'appliquer cette technique aux écailles de truites, tissu épidermique qui intègre donc les éléments ingérés par les poissons. A partir de nos collections d'échantillons, il a été possible de remonter ainsi dans le temps de 1970 à nos jours.

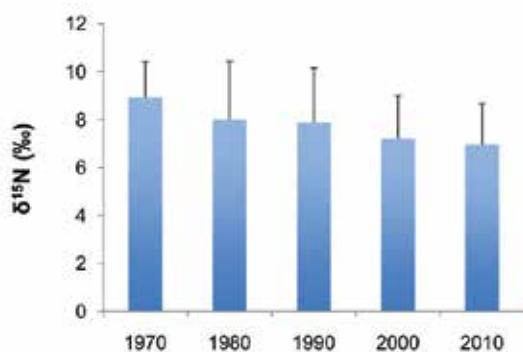


Figure 6 : ratios isotopiques de l'azote ( $\delta^{15}\text{N}$ ) dans les collections d'écailles des rivières du Château et de la Norvégienne

Les résultats qui concernent le fractionnement isotopique de l'azote ( $\delta^{15}\text{N}$ ) sont surprenants : la proportion de  $^{15}\text{N}$  dans les échantillons diminue clairement au cours du temps (Figure 6). De toute évidence, ces résultats ne permettent pas d'apprécier la contribution des salmonidés à l'enrichissement de l'écosystème, tout simplement parce que celui-ci semble s'appauvrir extrêmement rapidement au cours des 50 dernières années. Les salmonidés servent ici en fait de marqueurs de la dynamique de l'écosystème. Notre hypothèse est que les apports de nutriments marins vers l'écosystème de la Grande Terre diminuent sans cesse et la présence des salmonidés ne permet apparemment pas d'inverser cette tendance. Il semble donc que les changements liés d'une part aux modifications climatiques et d'autre part à l'impact d'autres invasifs sur les espèces aviaires notamment soient à l'œuvre dans cette dynamique : selon toute probabilité, la disparition de colonies d'oiseaux, comme les pétrels hypogées, autrefois situées sur la Grande Terre, a stoppé l'apport de nutriments marins vers l'intérieur, modifiant ainsi en profondeur les équilibres écosystémiques de Kerguelen. Ces travaux nécessitent désormais des confirmations sur d'autres espèces et compartiments de l'écosystème de Kerguelen, afin d'étayer notre hypothèse et de mettre en relation les grandes tendances de la dynamique écosystémique avec les changements en matière de biodiversité et d'environnement.

### Remerciements

Le programme SALMEVOL a été soutenu financièrement par l'IPEV, l'INRA, la Zone Atelier Antarctique et Terres Australes, ainsi que par le programme ANR RISKER. L'IPEV a de plus apporté son soutien logistique.

### Publications

- Labonne J., Aymes J.C., Beall E., Chat J., Dopico-Rodriguez E.D., Garcia-Vazquez E., Gaudin P., Guéraud F., Hendry A.P., Horreo-Escandon J.L., Huteau D., Jarry M., Kaeuffer R., Lecomte F., Manicki A., Rives J., Roussel J.M., Tremblay J., Vignon M., Zhou M. 2013. Ecologie évolutive de la colonisation des îles Kerguelen par les salmonidés. Rapport de fin de programme IPEV SALMEVOL-1041, 77p. + annexes
- Labonne, J.; Vignon, M.; Prévost, E.; Lecomte, F.; Dodson, J.J.; Kaeuffer, R.; Aymes, J.C.; Jarry, M.; Gaudin, P.; Davaine, P.; Beall, E. 2013. Invasion dynamics of a fish-free landscape by brown trout (*Salmo trutta*). PLOS One, 8 (8): e71052
- Lecomte, F.; Beall, E.; Chat, J.; Davaine, P.; Gaudin, P. 2013. The complete history of salmonid introductions in the Kerguelen Islands, Southern Ocean. Polar Biology, 36 (4): 457-475



# OCEANOGRAPHIE





**Focus sur une campagne :  
MD 194 / EUROFLEETS**

**Campagnes océanographiques du  
*Marion Dufresne***

## FOCUS SUR UNE CAMPAGNE : MD 194 / EUROFLEETS

Responsable du projet **GATEWAY** : David Van Rooij, Faculteit Wetenschappen

Responsable du projet **TORE** : Silvia Nave, LNEG Laboratório Nacional de Energia e Geologia

Trajet du 10 au 20 juin 2013

Départ de Cadiz (Espagne) et arrivée à Lisbonne (Portugal)

Le projet EUROFLEETS est une action du 7<sup>ème</sup> Programme cadre de recherche et développement (PCRD) intitulée "Vers une alliance des flottes de recherche européennes". Il regroupe 24 institutions provenant de 16 nations. Une de ses activités est de donner un accès transnational à des scientifiques européens aux 15 navires européens proposés dans le cadre de trois appels d'offre lancés sur la base de l'excellence scientifique. Le *Marion Dufresne* était ouvert dans le cadre de l'appel d'offre "Global/Ocean class".

Deux programmes ont été sélectionnés par les comités d'évaluation EUROFLEETS :

- GATEWAY (programme I024-020) : "The Mediterranean-Atlantic Gateway code – The late Pleistocene Carbonate Mound record", auquel il a été accordé cinq jours de temps navire
- TORE (programme I024-015) : "The TORE oceanic reservoir environment", auquel il a été accordé deux jours de temps navire

Afin d'optimiser le temps navire, les deux programmes ont été regroupés en une seule campagne après approbation du comité EUROFLEETS et des deux chefs de mission. Une journée supplémentaire a été financée par l'université de Fribourg partenaire du programme GATEWAY.

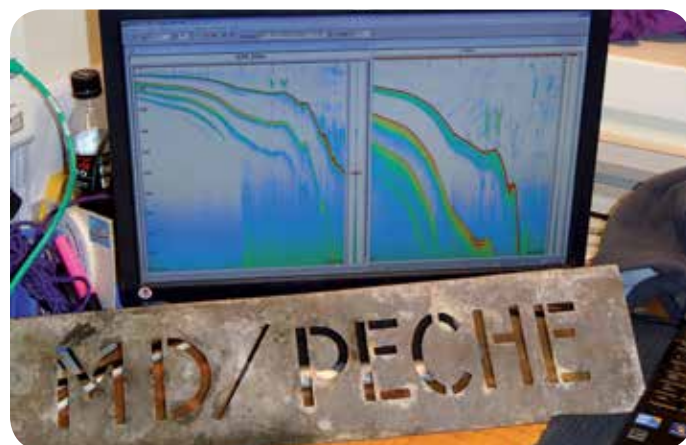
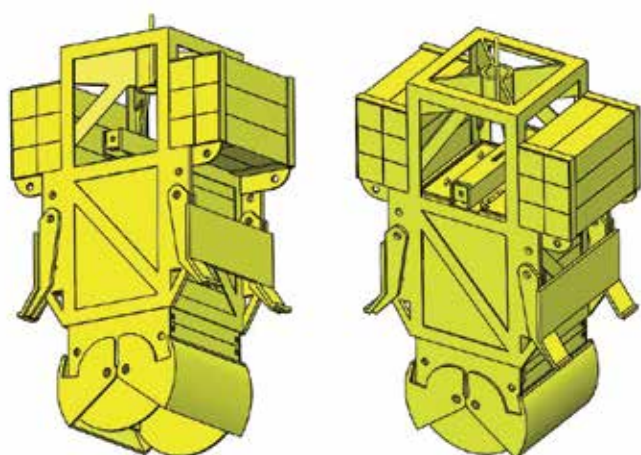
L'équipe scientifique est composée d'une équipe internationale de 42 personnes, parmi lesquels quinze "jeunes chercheurs" (étudiants en masters et doctorants), de nationalités belge, française, allemande, espagnole, portugaise, marocaine, italienne, tunisienne, américaine, polonaise et roumaine.

Les buts du programme GATEWAY sont :

- de collecter une variété de carottes à gravité de 11 mètres de longueur sur les monts coralliens à eau froide pour des études sédimentaires, paléo-océanographiques et bio-géochimiques
- d'échantillonner des fossiles de coraux profonds d'eau froide à l'aide du carottier-boîte carré
- d'effectuer des prélèvements d'eau et de mesurer les paramètres physiques de la colonne d'eau à l'aide de la CTD à 24 bouteilles
- d'acquérir des données géophysiques à l'aide du sondeur multi-faisceaux et du sondeur de sédiments.

Pour le programme TORE :

- de réaliser des carottages longs (de 26 à 36 mètres) au-dessus du mont sous-marin Tore
- de réaliser un carottage de section rectangulaire (12 mètres)



La mission a été un succès à tous les niveaux. Plus de 250 mètres de sédiment ont été prélevés à des profondeurs comprises entre 250 et 5 500 mètres. Vingt deux carottes à gravité, six carottes de type Calypso, six carottes de type Boxcore, une carotte de type Casq (section rectangulaire), sept prélèvements d'eau à l'aide de la CTD.

En fonction des spécificités des cibles, les différentes carottes recueillies ont reçu un traitement différent à bord. Toutes ont été décrites et leurs paramètres physiques estimés à l'aide du banc de mesure Geotek. Cependant, la majorité des carottes recueillies sur les monts coralliens à eau froide a été maintenue fermée pour une étude ultérieure en laboratoire. Un nombre choisi de carottes a été échantillonné pour évaluer leur teneur en gaz et en eau interstitielle. Ainsi, de petits trous ont été percés dans la chemise du tube de carottage (tous les 10 à 20 centimètres) afin de faciliter l'échantillonnage de ces deux paramètres. Les carottes destinées à une analyse bio-géochimique ont été directement stockées en chambre froide et échantillonnées à bord. Enfin, les carottiers-boîte remplis de fossiles de coraux ont été sous-échantillonnés à l'aide de petits tubes.

Tout le sédiment et les coraux restants ont été conditionnés pour des analyses micro et macro-paléontologiques.

Pendant le temps consacré aux transits, une université flottante a été organisée pour les étudiants présents à bord. Durant cinq jours, onze conférences ont été organisées par les chercheurs. Cela a permis aux étudiants de mieux cerner le travail des scientifiques à bord du navire.



# ACTIVITES OCEANOGRAPHIQUES : BILAN DES CAMPAGNES 2013 - 2014

## Résumé :

L'année 2013 a débuté au chantier naval Elgin Brown & Hamer de Durban en Afrique du Sud, suite à l'avarie survenue dans l'archipel de Crozet le 14 novembre 2012 pendant une rotation logistique des TAAF.

Cette avarie a eu pour conséquence l'indisponibilité du navire de novembre 2012 à février 2013, entraînant des modifications drastiques de la programmation des activités scientifiques de l'IPEV, tant terrestres qu'océanographiques, dans le début de l'année 2013.



Route du Marion-Dufresne en 2013



Trajet du 07 février 2013 au 12 mars 2013.  
Départ et arrivée à La Réunion.

Cette campagne a aussi intégré cette année des programmes dits terrestres issus du comité d'évaluation des programmes scientifiques terrestres (CPST) de l'IPEV.

### Le programme OISO (VT127)

Le programme Océan indien service d'observation (OISO) comporte des prélèvements et mesures hydrologiques avec pour objectif d'étudier la variabilité spatiale et temporelle des flux de CO<sub>2</sub> entre l'air et la mer. L'évolution de la quantité de CO<sub>2</sub> anthropique dans les océans subtropical, subantarctique et austral est également évaluée. Les observations ainsi acquises annuellement à bord du *Marion Dufresne* depuis 1998 sont complémentaires des mesures réalisées dans d'autres secteurs océaniques par des partenaires français et étrangers<sup>(1)</sup>. Ces évaluations sont primordiales pour estimer les bilans de carbone à l'échelle planétaire, dans le cadre du protocole de Kyoto. Elles permettent également de paramétrer puis de valider les modèles climatiques prédictifs (cadre GIEC).

Outre les mesures de surface en continu (température, salinité, oxygène dissous, carbone, alcalinité, fluorescence, pression partielle de CO<sub>2</sub>) qui permettent d'évaluer le flux air-mer, des mesures ont été acquises dans la colonne d'eau à sept stations OISO réparties sur le trajet retour entre 56°S et La Réunion ainsi qu'à deux stations KEOPS à l'est et au sud de Kerguelen où la concentration en phytoplancton est élevée.

En outre, des foraminifères planctoniques ont été récoltés à l'aide d'un filet instrumenté au niveau de huit stations, afin d'évaluer leur rôle dans la pompe biologique de CO<sub>2</sub> (projet SOforCO<sub>2</sub>). Au total, 50 échantillons ont ainsi été récoltés, soit environ 600 individus vivants. Leur contenu en protéines a été mesuré à bord à l'aide d'un nano-spectrophotomètre. Ces données permettent de suivre l'invasion de CO<sub>2</sub> anthropique dans l'océan et d'évaluer l'impact de la variabilité climatique sur sa distribution afin de prédire l'évolution du puits de CO<sub>2</sub> atmosphérique et l'acidification des eaux.

#### Responsable du programme OISO :

Claire Lo Monaco, CNRS/LOCEAN-IPSL

### Le programme MDCPR (VT126)

Le *Continuous plankton recorder* (CPR) a été utilisé pour la première fois dans la zone subantarctique autour des archipels de Crozet, Kerguelen, Saint-Paul et Amsterdam lors de la mission MD193 / LOGIPEV en février et mars 2013. Cet appareil, totalement mécanique, a été tracté à l'arrière du *Marion Dufresne* à une profondeur d'environ 10 mètres. Il permet de collecter du plancton en le piégeant entre deux bandes de soie. Le CPR doit être remonté environ tous les 450 miles nautiques.

Le CPR est utilisé depuis plusieurs années dans l'océan Austral et fait l'objet d'un programme international du *Scientific committee on Antarctic research* (SCAR), le *Southern ocean CPR* (SO-CPR) dirigé par Graham Hosle de l'*Australian Antarctic Division*.

La zone subantarctique étudiée est essentielle en raison de ses caractéristiques hydrologiques liées au resserrement des fronts subtropicaux et subantarctiques et à la proximité de la branche Nord du front polaire Antarctique. Par ailleurs, elle est importante pour de nombreux oiseaux se nourrissant de plancton.

Seize prélèvements sont ainsi réalisés et les analyses en laboratoire permettront de cartographier les cortèges d'espèces observées. Ces résultats pourront être couplés aux observations de deux autres programmes présents lors de la mission MD193, OISO et MYCTO. Enfin, le programme MDCPR permettra au fur et à mesure des années d'étudier les changements à long terme du compartiment planctonique et d'aider à la régionalisation pélagique de cette zone.

#### Responsable du projet MDCPR :

Philippe Koubbi, Université Pierre et Marie Curie  
Observatoire océanologique de Banyuls, Laboratoire d'océanographie de Villefranche

### Le programme MYCTO (VT124)

Le programme MYCTO, évalué par la Commission nationale de la flotte hauturière (CNFH), représente la partie acquisition de données d'un programme scientifique évalué par l'ANR sous le nom de MYCTO-3D-MAP.

Il consiste à étudier la distribution et les habitats en trois dimensions des poissons-lanternes par l'utilisation conjointe de données fournies par leurs prédateurs, l'écho-intégration et la modélisation. Les poissons-lanternes (famille des Myctophidae) sont des petits poissons lumineux qui constituent la principale ressource de poissons méso-pélagiques dans tous les océans du globe. Leur biomasse considérable et leur haute qualité nutritionnelle en font des cibles privilégiées pour le développement de nouvelles pêches industrielles. Cependant, les myctophidés jouent un rôle pivot au sein des réseaux trophiques pélagiques, entre le zooplancton et les prédateurs supérieurs, tels que les calmars, poissons, oiseaux et mammifères marins. Malgré leur importance écologique, peu d'informations sont disponibles sur leur distribution et leur biologie de base. Ce paradoxe, lié à leur probable exploitation future, souligne l'urgence de collecter des informations sur leur distribution et biomasse en relation avec les conditions océanographiques.

<sup>(1)</sup> <http://www.ioccp.org/Underway/>

L'océan Austral est celui où les myctophidés dominent le plus l'ichtyofaune mésopélagique et, corrélativement, celui qui abrite leurs prédateurs les plus conséquents. Un exemple représentatif est celui du sud de l'océan Indien qui abrite d'importantes populations d'oiseaux et de pinnipèdes se nourrissant largement de ces poissons. Le projet interdisciplinaire MyctO-3D-MAP fédère les compétences d'écologistes, d'océanographes et de modélisateurs pour étudier la distribution en trois dimensions des espèces dominantes de myctophidés de l'océan Austral, ainsi que les caractéristiques physiques et biologiques de leurs habitats à différentes échelles spatiotemporelles. Le programme MYCTO comprend deux types de campagne à la mer :

- des écho-sondages réalisés "en route" à l'aide des deux bases acoustiques (38 et 120 kHz) du sondeur de pêche EK60. Ces opérations étaient planifiées lors de quatre rotations logistiques du Marion Dufresne de desserte des îles
- une campagne dédiée, programmée en 2014, avec opérations conjointes de chalutages mésopélagiques.

**Responsable du programme MYCTO (partie acoustique enregistrements EK60) :**

Erwan Josse, Institut de recherche pour le développement (IRD), Laboratoire des sciences de l'environnement marin

### **Le programme KEOPS2-MOOR (VT125)**

Le programme Keops2-MOOR a permis la récupération de deux lignes de mouillage qui avaient été mises à l'eau au cours de la campagne Keops 2 en octobre 2011.

### **Le programme NIVMER 13 (VT123)**

Il a permis la récupération puis la remise à la mer d'une ligne de mouillage située à proximité de Kerguelen (au sud de cet archipel) et la lecture des données du marégraphe positionné à Kerguelen. Le marégraphe placé à Saint-Paul a également été relevé.

### **Le programme OHA-SIS-BIO (VT128)**

Le programme Observatoire hydroacoustique de la sismicité et de la biodiversité (OHA-SIS-BIO) a pour objectif de maintenir un réseau d'hydrophones dans l'océan Indien Austral, afin de réaliser une surveillance conjointe :

- de l'activité sismique et magmatique associée aux trois dorsales de l'océan Indien, dont les taux d'expansion sont contrastés
- des grands mammifères marins présents dans l'océan Austral (baleine bleue antarctique, baleine bleue pygmée, rorqual commun). Depuis l'interdiction de la pêche baleinière au cours des années 60, très peu d'informations sont disponibles sur l'écologie et l'état des populations quasiment décimées pour certaines espèces étudiées.

La réalisation de ces deux objectifs nécessite des périodes d'observation continue suffisamment longues pour être représentatives de l'activité sismique ou volcanique de ces frontières de plaques et de l'activité saisonnière des mammifères marins. Les ondes acoustiques qui les caractérisent sont dans la même bande de fréquences. Ainsi, les mesures peuvent profiter de la même configuration instrumentale. Les hydrophones sont déployés dans le canal SOFAR, couche d'eau dans laquelle les ondes se déplacent à faible vitesse et presque sans atténuation sur de très longues distances (supérieures à 1 000 kilomètres).

Deux sites (N-Crozet et W-Kerguelen) sont instrumentés par des "trilets", une antenne de trois hydrophones disposés en triangle équilatéral de 30 kilomètres de côté. Les cinq autres dispositifs ne contiennent qu'un seul hydrophone. Chaque mouillage est tout d'abord remonté, les données sont alors récupérées et la maintenance du mouillage effectuée, avant un redéploiement à l'identique.

**Responsable du projet OHA-SIS-BIO :**

Jean-Yves Royer, "Domaines océaniques", Institut universitaire européen de la mer.



Récupération d'un mouillage du programme OHA-SIS-BIO au cours de la mission MD193 / LOGIPEV.

### **Le programme MAKER (VT129)**

Le programme MAKER est un programme évalué par le LCPST. Il consiste à réaliser le suivi de la variabilité spatiale et temporelle de la structure verticale du front polaire en prenant en compte les effets des tourbillons de la région. Il s'agit là de paramètres essentiels pour déterminer la structure et la force de la circulation verticale méridienne de l'océan austral (MOC). Au cours de la mission MD 193 / LOGIPEV, une des deux sections hydrographiques a été réalisée au moyen de XCTD perdables. 12 sondes ont été larguées. Elles mesurent la température et la salinité dans la colonne d'eau.

**Responsable du projet MAKER :**

Young-Hyang Park, Laboratoire d'océanographie et du climat : expérimentation et approches numériques (LOCEAN) / DMPA, Institut Pierre Simon Laplace.

### Le programme MERMAID (VT130)

Ce programme faisait partie du programme ANR et CNFRHUM-RUM, dont la campagne a été programmée et réalisée en septembre et octobre 2012. Il devait compléter les systèmes d'acquisition de données sismologiques terrestres et océaniques déployés en 2012 et relevés en fin 2013.

Contrairement aux "Ocean bottom seismometer (OBS)" déposés sur les fonds sous-marins, MERMAID est un dispositif flottant qui enregistre les ondes acoustiques au niveau de la surface lorsqu'un séisme se produit. Les données récoltées permettent d'étudier, par l'imagerie tomographique, la structure profonde de la terre sous les domaines océaniques avec une aussi grande précision que celles obtenues sous les domaines continentaux, très largement couverts par les réseaux sismologiques terrestres. Ces flotteurs, mis au point par des chercheurs de Géoazur (CNRS-UNS-IRD-OCA) et appelés MERMAID, dérivent à environ 1 500 mètres sous la surface et enregistrent les temps d'arrivée des ondes P qu'ils transmettent ensuite par satellite (Iridium) rendant accessible à l'étude les 70 % de la planète qui jusqu'à présent échappait à la surveillance sismique permanente. Trois bouées MERMAID sont larguées au cours de la mission MD 193 / LOGIPEV.

#### Responsable du projet MERMAID :

Yann Hello, Institut de recherche pour le développement, UMR Géoazur

### Le programme AERONET (VT131)

Un photomètre de type CE 318 conçu et réalisé par la société CIMEL a été installé à la Réunion en 1997 en collaboration avec le laboratoire d'optique atmosphérique de Lille et avec la NASA. Cet instrument est l'instrument standard du réseau international *Aerosol robotic network* (AERONET) pour la surveillance des aérosols et des paramètres optiques de l'atmosphère ainsi que pour la validation des satellites. Deux campagnes de mesure ont été organisées, la première au Pas de Bellecombe (Juin 1997-Juin 1998) près du volcan Piton de la Fournaise, et la seconde (Mars 1999-Mai 2000) à Saint Pierre au sud ouest de l'île de la Réunion. L'instrument fonctionne en routine depuis Janvier 2004 à l'université de Saint Denis.

Ces données sont complétées à bord du *Marion-Dufresne* grâce à l'utilisation d'un photomètre portable. Au cours de la mission MD 193 / LOGIPEV, des mesures de rayonnement solaire sont ainsi réalisées à l'aide de cet appareil.

#### Responsable du programme AERONET :

Franck Gabarrot, Laboratoire de l'atmosphère et des Cyclones, UMR CNRS-Météo France

Préparation d'une bouée de type MERMAID au cours de la mission MD 193 / LOGIPEV.



## La valorisation du transit VT 132 / TRIMADU :

Trajet du 18 avril au 14 mai

Départ de La Réunion et arrivée à Brest

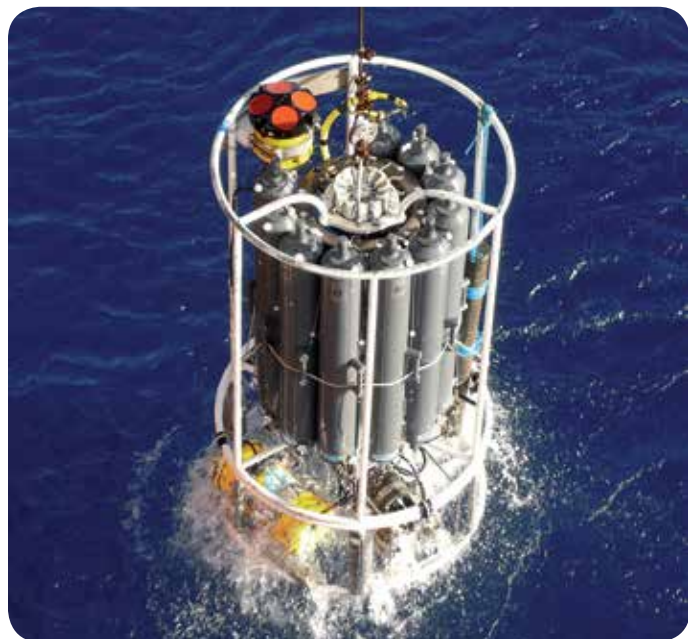
L'objectif de cette valorisation de transit est la mesure du taux de radionucléides artificiels dans les eaux de surface et profondes de l'Atlantique. Ces eaux sont marquées par un bruit de fond radioactif qui résulte pour l'essentiel des retombées des essais nucléaires atmosphériques réalisés après 1945. D'autres marquages ont pu s'y ajouter, comme les retombées des accidents nucléaires de Tchernobyl et Fukushima.

A cette fin, treize prélèvements d'eau de surface sont effectués lors du transit du navire vers l'Europe tous les 2° de latitude. Un prélèvement d'eau de mer en profondeur par CTD a également été réalisé après le touché à Las Palmas (Espagne) lors du transit La Réunion-Europe.

L'ensemble des données acquises permet de fournir des outils pour la calibration des modèles mathématiques de circulation des eaux à grande échelle.

### Responsable du projet TRIMADU :

Pascal Bailly du Bois, Laboratoire de radioécologie de Cherbourg-Octeville, IRSN/PRP-ENV/SERIS/LRC



## La valorisation du transit VT 133 / MERIADZEC :

Trajet du 2 au 8 juin 2013

Départ de Brest et arrivée à Cadix (Espagne)

Les objectifs du VT 133 MERIADZEC étaient doubles :

- objectif technologique : effectuer une carotte longue et un carottage à gravité de type CASQ sur le site connu de la terrasse de MERIADZEC pour la comparer aux données connues sur ce point (missions technologiques Ifremer, données CALYPSO et Penfeld)
- objectif scientifique : atteindre le stade 6, stade isotopique de l'oxygène, lié au stade glaciaire, estimé à 45 mètres de pénétration à ce point.

Cette valorisation de transit contribue aux travaux lancés depuis plusieurs années par le Centre de carottage et de forage national (C2FN) sur l'amélioration de la qualité des carottes réalisée par la technique du carottage à piston stationnaire Küllenberg ou CALYPSO. La qualité des carottes se juge à la préservation des différents horizons sédimentaires dans leur configuration *in situ*, c'est-à-dire sans déformation (élongation ou compaction) dues à la technique même de prélèvement.

L'IFREMER dispose sur ce site précis de données acquises avec le pénétromètre Penfeld sur la carotte CBT CS02 réalisée lors de la campagne CABTEX, permettant des mesures *in situ* des caractéristiques géotechniques du sédiment et de mesures de susceptibilité magnétique assurant ainsi une connaissance précise de la lithologie en ce point.

L'étude des deux carottes (CALYPSO et CASQ) permettra de comparer la lithologie déduite des carottes avec celle connue et quantifier ainsi la qualité des carottes réalisées par le CALYPSO du *Marion Dufresne*.

### Chef de mission :

Patrice Woerther, IFREMER



## La campagne MD 195 / CONEGAS 2 :

Trajet du 16 au 26 juillet 2013

Départ et arrivée de Rio Grande Do Sul (Brésil)

La campagne MD 195 / CONEGAS2 s'est déroulée dans le bassin de Pelotas, Brésil du Sud et consistait à l'étude des processus géologiques quaternaires du cône de Rio Grande. Un premier volet de cette mission avait eu lieu en 2011.

L'originalité de cette campagne consistait en la combinaison de prélèvements in situ à l'aide d'un *Remote Operated Vehicle* (ROV) et le carottage long des cibles sédimentaires.

Le ROV, de capacité 2 000 mètres et son équipe opérationnelle, ont été affrétés directement par le CEPAC à la société française JIFMAR. Il s'agissait d'un ROV de type *Subatlantic Mohican*, de son système de mise à l'eau (*Launch and recovery system*), de son système de positionnement (base ultra courte GAPS montée temporairement dans le puits travocéan du navire) et d'outils de prélèvements de gaz *in situ* spécifiquement développés / adaptés aux besoins de cette campagne.

Un ROV étant déployé pour la première fois du *Marion Dufresne*, le transit Europe – Brésil a été mis à profit pour l'installation et le test du matériel.

Durant la campagne, sur les sites préalablement carottés, le ROV a été immergé, transmettant en direct les images du fond confirmant la présence de gaz (sous forme de bulles) et permettant de réaliser divers prélèvements. Le ROV se déployait depuis une cage sur laquelle était montée une structure pouvant accueillir des instruments de prélèvements et leurs échantillons. Ainsi, avec ses bras articulés, il était en mesure de prélever des gaz dans des bouteilles spéciales, du sédiment dans des "push core" ou des pelles, ou encore du matériel biologique pour diverses études.

Au cours de cette mission, onze plongées ROV, seize carottages, dont un "flux de chaleur", et cinq CTD ont été réalisés avec succès.

**Chef de mission :**

João Marcelo Ketzer, PUCRS/CEPAC, Pontificia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Pontifical Catholic University of Rio Grande do Sul

## La valorisation du transit VT 134 / MYCTO :

Trajet du 21 août au 25 septembre 2013

Départ et arrivée à La Réunion

De retour à La Réunion, le *Marion Dufresne* est parti pour un ravitaillement des Terres Australes (OP2013/2). Au cours de cette rotation, des mesures en continu par echo-sondage de la population halieutique sont réalisées par une équipe de l'IRD : Il s'agit de la VT 134 MYCTO, dans la continuité des opérations du VT 124.

**Chef de mission (partie acoustique enregistrements EK60):**

Erwan Josse, Institut de Recherche pour le Développement (IRD), Laboratoire des Sciences de l'Environnement Marin



## La campagne MD 196 / SAPETRO :

Trajet du 8 au 24 octobre 2013

Départ et arrivée à La Réunion

La mission MD197 / SAPETRO est un affrètement réalisé par SAPETRO (*South Atlantic Petroleum Ltd*).

Les deux zones d'étude se situent dans le canal du Mozambique, au sud-est de Juan De Nova dans la zone économique française (TAAF) et au nord-ouest de Madagascar dans le bloc "BELO Profond" dans la zone économique malgache à la limite du talus continental.

Les opérations réalisées incluent une reconnaissance de site de carottage à l'aide du sondeur multi-faisceaux et du sondeur de sédiments et des carottages sédimentaires.

Au total, dix huit carottages sont réalisés (soit douze carottages de type gravité et six carottages de type CALYPSO).

Une base ultra-courte de type Ixblue GAPS a été montée dans le puits Travocean babord du *Marion Dufresne*, dans la même configuration que pour le positionnement du ROV lors de la campagne MD 195 / CONEGAS 2. Ce système a permis de positionner chaque carottage de façon centimétrique.

**Donneurs d'ordre :**

South Atlantic Petroleum JDN SAS (SAPETRO)

**Chef de mission :**

Jamshid Gharib, Fugro GeoConsulting Inc. (FUGRO)



## LES CHIFFRES



## **L'Institut polaire français Paul-Emile Victor**

L'Institut polaire français Paul-Emile Victor (IPEV) est un groupement d'intérêt public (GIP) constitué par le Ministère de l'éducation nationale, de l'enseignement supérieur et de la recherche, le Ministère des affaires étrangères et du développement international, le CNRS, l'Ifremer, le CEA, le CNES, Météo-France, les TAAF et les EPF.

L'IPEV est l'agence nationale de moyens et de compétences chargée de la mise en œuvre des programmes de recherche scientifique dans les régions polaires et subpolaires, arctique et antarctique.

### **L'IPEV**

- sélectionne, coordonne et soutient des programmes scientifiques et technologiques nationaux et internationaux,
- organise et anime des expéditions scientifiques,
- met en place et assure le fonctionnement d'observatoires de recherche,
- participe à la concertation scientifique et logistique internationale sur les régions polaires,
- gère les moyens nécessaires à ses activités, notamment les infrastructures offertes aux scientifiques,
- entretient des liens étroits avec les organismes partenaires et les autres agences de moyens,
- réalise des campagnes océanographiques au moyen des navires qui lui sont confiés.

**[www.institut-polaire.fr](http://www.institut-polaire.fr)**

## REPRÉSENTATION DANS LES INSTANCES INTERNATIONALES

Yves FRENOT :

Président du Comité pour la Protection de l'Environnement, (CPE / Protocole de Madrid)  
Délégué français à la Réunion Consultative du Traité sur l'Antarctique (RCTA)  
Délégué français au Council of Managers of National Antarctic Programs (COMNAP)  
Membre du bureau exécutif de l'European Polar Board (EPB)



Patrice GODON :

Délégué français au Council of Managers of National Antarctic Programs (COMNAP)

## PARTICIPATION AUX RÉUNIONS EUROPÉENNES OU INTERNATIONALES

Second SIOS Policy Board (Svalbard Integrated Earth Observing System) - (Octobre 2013)  
Fourth SIOS General Assembly (Octobre 2013)  
SIOS ans Access to Svalbard Infrastructure Workshop (Novembre 2013)  
IASC Council (International Arctic Science Committee) - (Avril 2013)  
European Polar Board - Plenary Meeting (Avril & Décembre 2013)  
European Polar Board - Executive Committee Meeting (Avril & Octobre 2013)

## CONSEIL D'ADMINISTRATION

### Président :

Eric BRUN

Météo-France

### Représentants des organismes membres du Groupement d'Intérêt Public

Elisabeth VERGES  
Pascal LE DEUNFF  
Jean-François STEPHAN  
Jean-Yves PERROT / François JACQ  
Gabriele FIONI  
Pascale ULTRE-GUERARD  
Gérard LE BARS  
Pascal BOLOT  
Jean-Claude DUPLESSY

Ministère de l'Éducation Nationale, de l'enseignement supérieur et de la recherche  
Ministère des Affaires Étrangères et du Développement International  
CNRS  
IFREMER  
CEA  
CNES  
Météo France  
TAAF  
EPF

### Participants avec voix consultatives

Benoit DEBOSQUE  
Jean-Yves PARSSEGNY / Jean-Claude PERREL  
Marie-Pierre CAMPO  
Stéphanie BELNA  
Damien COUSTAING

Commissaire du Gouvernement  
Contrôle général économique et financier  
Ministère de l'Outre Mer  
Ministère de l'Écologie et du Développement Durable  
Ministère du Budget



# COMPOSITION DU CONSEIL DES PROGRAMMES SCIENTIFIQUES & TECHNOLOGIQUES 2010 - 2013

## Présidente :

Nicole PAPINEAU Institut Pierre Simon Laplace des sciences de l'environnement, Paris

## Vice-président :

Nigel G. YOCCOZ Institute of Biology, Tromsø (Norvège)

## Membres nommés :

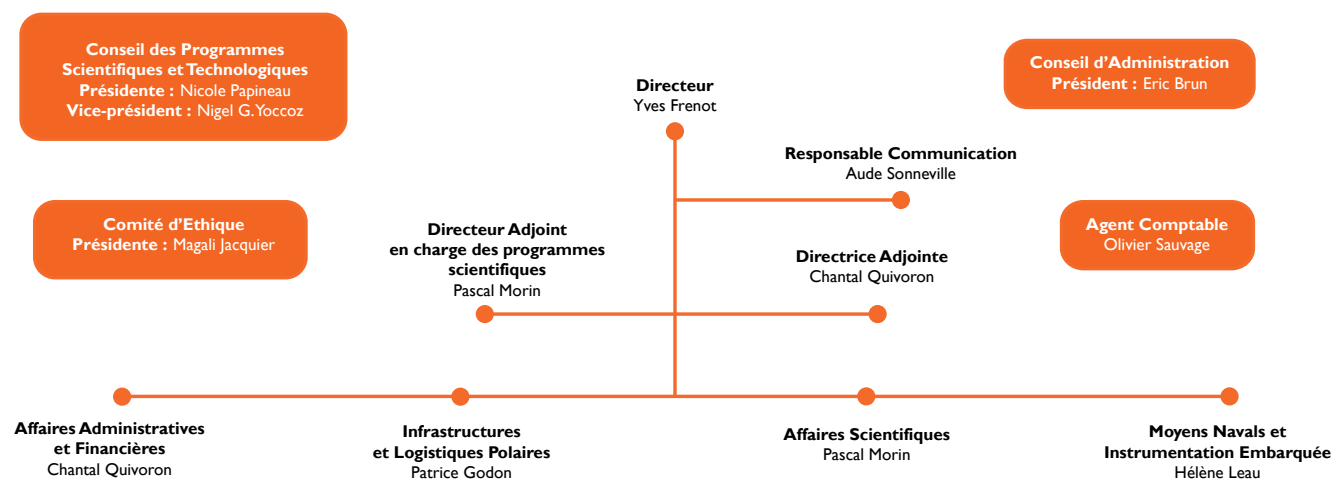
Franck BASSINOT	Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement, CEA, Gif-sur-Yvette
Marcia MAIA	Laboratoire Domaines Océaniques, Institut Universitaire Européen de la Mer, Plouzané
Fabienne CASOLI	Centre National d'Etudes Spatiales, Paris
Thierry HEULIN	Institut de Biologie Environnementale et de Biotechnologie, CNRS, St Paul-lez-Durance
Marie-France LOUTRE	Université catholique de Louvain, Louvain-la-Neuve (Belgique)
Roland NEUBER	Alfred-Wegener-Institute für Polar - und Meeresforschung, Bremerhaven (Allemagne)
Karine OLU	Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer, Plouzané
Frédérique REMY	Laboratoire d'Etudes en Géophysique et Océanographie Spatiales, CNRS, Toulouse
David SALAS y MELIA	Groupe d'Etude de l'Atmosphère Météorologique, Météo-France, Toulouse
Michael STODDART	Institute for Marine and Antarctic Studies, Hobart (Australie)
Jean-Louis TISON	Laboratoire de Glaciologie, Département des Science de la Terre et de l'Environnement, Université libre de Bruxelles (Belgique)
Eric VILLENAVE	Institut des Sciences Moléculaires, CNRS, Bordeaux
Rory P. WILSON	University of Environmental Sustainability, University of Swansea (Royaume-Uni)

## Président du Comité de l'Environnement polaire, Membre de droit :

Henri WEIMERSKIRCH Centre d'Etudes Biologiques de Chizé, Villiers en Bois



## ORGANIGRAMME GÉNÉRAL 2013



# LES CHIFFRES DE L'ANNEE

## BUDGET GLOBAL 2013

### ETAT PRÉVISIONNEL DES RECETTES ET DES DÉPENSES 2013

#### Budget prévisionnel 2013

28 347 392,00 € TTC    Section fonctionnement  
 3 532 893,00 € TTC    Section investissement

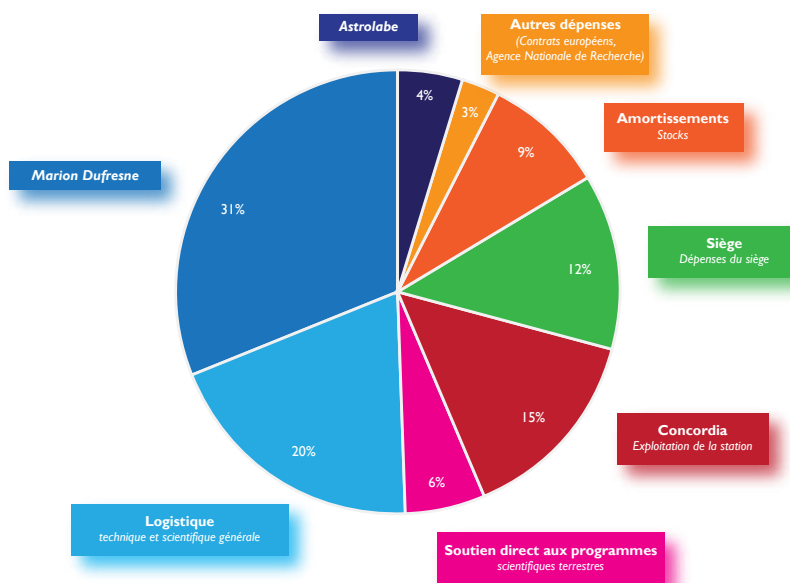
#### Réalisation budgétaire Section fonctionnement

27 582 904,85 € TTC    Dépenses réalisées  
 27 779 452,00 € TTC    Recettes réalisées

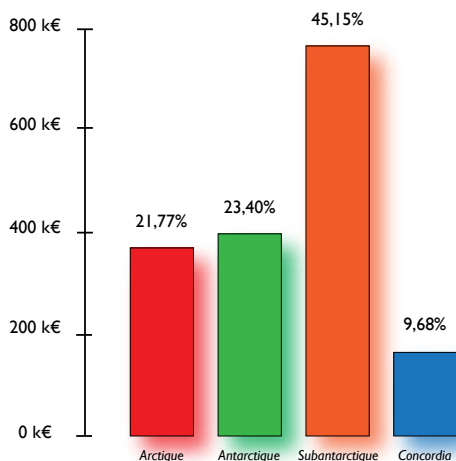
#### Réalisation budgétaire Section investissement

2 406 958,37 € TTC    Dépenses réalisées  
 2 148 348,00 € TTC    Recettes réalisées

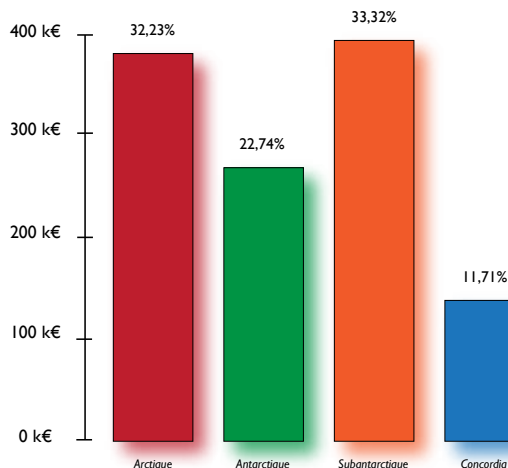
### VENTILATION DES DÉPENSES PAR SECTEUR D'ACTIVITÉS POUR L'EXERCICE 2013



### VENTILATION DU SOUTIEN DIRECT DES PROGRAMMES SCIENTIFIQUES TERRESTRES



Dépenses 2013 avec salaires



Dépenses 2013 hors salaires

## RÉCAPITULATION DES PERSONNES AYANT SÉJOURNÉ DANS LES BASES EN 2013

### ANTARCTIQUE

	Nombre de personnes	Nombre de jours terrain
Personnel permanent du siège (campagne d'été ou hivernage)	17	1069
Personnel contractuel DDU (campagne d'été)	19	830
Personnel contractuel Concordia (campagne d'été)	34	1729
Personnel contractuel DDU (hivernant)	15	1953
Personnel contractuel Concordia (hivernant)	13	1561
VSC techniques DDU	18	2135
Personnel scientifique DDU (campagne d'été)	51	1093
Personnel scientifique Concordia (campagne d'été)	41	1142
Personnel scientifique Concordia (hivernant)	5	1060
VSC scientifiques DDU	26	3306
VI scientifiques Concordia	4	441
Autres (campagne d'été)	26	567
Autres DDU (hivernant)	23	2785
Autres Concordia (hivernant)	12	2179
Autres scientifiques (Tangaora, base Casey)	6	39

#### Total Antarctique

310

21889

### SUBANTARCTIQUE

Personnel permanent du siège (campagne d'été)	8	293
Personnel contractuel (campagne d'été)	2	84
VSC techniques	7	670
Personnel scientifique (campagne d'été)	75	2311
VSC scientifiques	64	8037
Autres (campagne d'été)	1	35

#### Total Subantarctique

157

11430

### ARCTIQUE

<i>Norvège (Svalbard-AWIPEV)</i>	47	1264
Personnel permanent du siège (campagne d'été)	4	76
Personnel scientifique (campagne d'été)	41	773
Volontaire international	2	415
<i>Danemark / Groenland</i>	9	265
<i>Russie</i>	10	272
<i>Canada</i>	24	396
<i>Alaska</i>	4	269

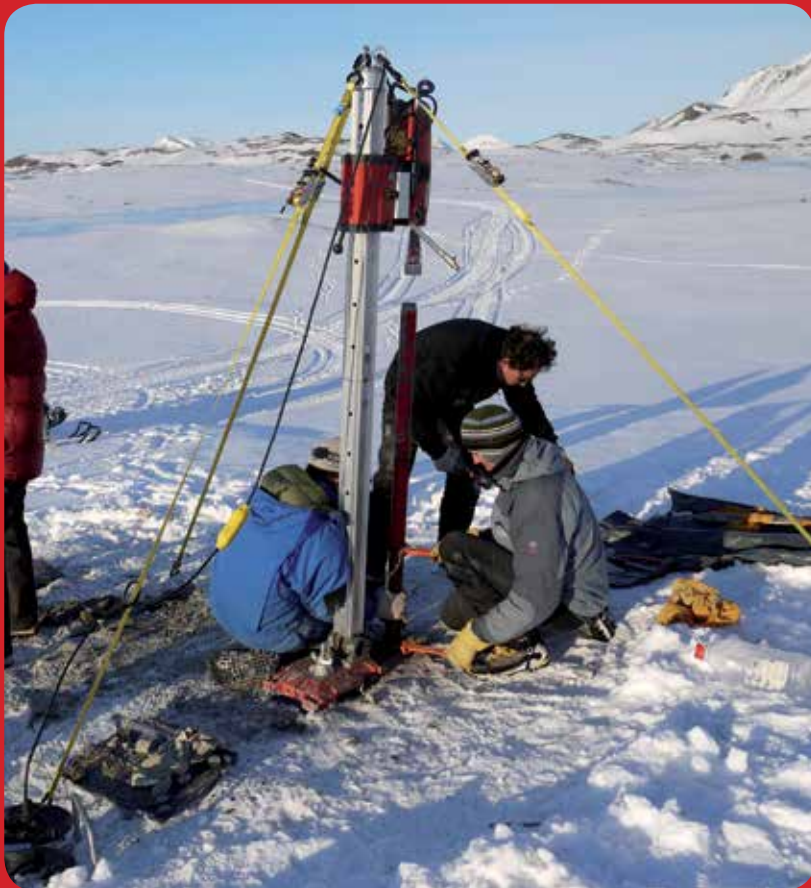
#### Total Arctique

94

2466



# ANNEXES



**Programmes de recherches soutenus  
et mis en œuvre**

**Responsables de programmes**

# Programmes de recherches soutenus et mis en œuvre en 2013

## Arctique : sciences de l'homme

### I038 - HUMAD-MAFSO

Adaptation humaine à Verkhoïansk. Des corps gelés aux populations actuelles

CRUBEZY Eric

Laboratoire AMIS, FRE 2960, Toulouse  
Sibérie Orientale

Le projet HUMAD-MAFSO porte sur l'histoire du peuplement ainsi que celle de l'adaptation humaine à l'une des zones les plus froides de la planète (monts de Verkhoïansk) où ont coexisté et/ou coexistent, populations autochtones de chasseurs/cueilleurs (Youkaghirs et leurs ancêtres), éleveurs de vaches et de chevaux (lakoutes déjà présents en 1638), et populations d'origine russe. L'histoire du peuplement sera basée sur la comparaison entre populations anciennes et contemporaines en utilisant les mêmes marqueurs génétiques. L'adaptation sera étudiée sur les bases de la co-évolution homme/milieu en ciblant l'évolution des maladies infectieuses et parasitaires et celle du microbiote. Ces travaux se développeront à partir de la fouille et de l'étude de prélèvements provenant d'une part de tombes gelées, d'autre part de populations contemporaines bien définies. Pour ces dernières, l'accent sera mis sur des maladies émergentes déjà repérées par notre équipe.

*The project HUMAD-MAFSO investigates the settlement history and human adaptations to one of the coldest areas of the world, the mountain region of Verkoyansk, where populations of autochthonous hunter-gathers (Youkaghirs and their ancestors), cow herders and horse breeders (Yakuts already present in 1638) and populations of Russian origin coexisted and/or coexist. The settlement history will be investigated by comparing both modern and ancient populations, by using the same genetic markers. Adaptations will be studied on the basis of the co-evolution between man and the environment, by focusing on the evolution of infectious diseases, parasites and microbes. This research will involve on one hand the excavation and sampling of frozen tombs, and on the other hand, the sampling of modern populations. For the latter, an emphasis will be made on the investigation of infectious diseases, already considered by our team.*

### I043 - NUNA

Perceptions et représentations (Inuit, Cris, Occidentaux) des paysages dans le projet de parc national Tursujuq

JOLIET Fabienne Jeanne  
Laboratoire Paysage, Angers  
Nunavik

A l'heure du réchauffement climatique, des revendications et reconnaissances ethniques, du Plan Nord Québécois, le projet de création du Parc National Tursujuq est à l'étude. Le plus vaste du Nunavik (et du Québec), son périmètre de nature est l'expression de représentations paysagères divergentes, les habitants autochtones (Inuit et Cris) d'une part, les visiteurs occidentaux d'autre part. Ce projet de recherche est focalisé sur l'étude de ces représentations paysagères plurielles, dans le but d'un accompagnement respectueux et inventif du projet de parc en cours.

*The Tursujuq National Park Creation Project comes under study at a time when Global Warming, the North Quebec Plan and ethnic claims and recognition are of great concern. This park, the biggest in Nunavik –and even in Quebec – expresses through its perimeter of nature diverging landscape representations: on the one hand, the indigenous people (Inuit and Cree), on the other hand, Western visitors. The research project will focalise on the study of these plural landscape representations, in order to guarantee a respectful and creative accompaniment of the National Park Project.*

### I080 - LOTECHAIN

Long Term Environmental Changes and Human Activities in Nunavik

MARGUERIE Dominique

Laboratoire Archéosciences, Université de Rennes 1, Rennes  
North eastern Canada

Le Nunavik, vaste territoire occupant l'Arctique québécois (Canada oriental), constitue un des observatoires uniques pour le suivi des relations hommes-milieux passées et présentes en milieu polaire. L'étude de ces relations est devenue cruciale dans le contexte actuel de variabilité climatique. Le Plan Nord mis en place récemment par le gouvernement québécois (<http://plannord.gouv.qc.ca/mots/index.asp>) s'intéresse à cette thématique. C'est aussi l'occasion pour nous de mener, de concert avec nos partenaires canadiens, une recherche pluridisciplinaire dans le cadre du projet LOTECHAIN. Ce projet vise donc à étudier divers écosystèmes, des sites et zones d'habitat anciens (archéologiques) et des biodiversités passées. Ces travaux sont menés dans le but de dresser un "état des lieux" des milieux holocènes et de mesurer l'effet des variations climatiques passées et actuelles et de l'action humaine sur les milieux naturels sous régime périglaciaire.

*Nunavik, a vast territory in Arctic Quebec (eastern Canada), is a unique observatory for the monitoring of past and present human-environment relations in a polar milieu. The study of these relations has become crucial in the current climatic context of variability. This topic is of particular interest to the Northern Plan recently set up by the government of Quebec (<http://plannord.gouv.qc.ca/mots/index.asp>). It is also an opportunity for us to conduct multi-field research with our Canadian partners within the LOTECHAIN project. The purpose of the project is to study various ecosystems, old sites and settlement zones (archeological), and past biodiversities. These studies are undertaken with the aim of drawing up an "inventory and status" of Holocene environments and of measuring the effect of past and present climatic variations and human action on natural environments in a periglacial climate.*



## 1121 - DOLIDHI

**Construction of a Dolgan past and contemporary identity dynamics in the Russian Arctic: historical and anthropological approach**

**LAMBERT Jean-Luc**

**Groupe Sociétés, Religions, Laïcités, CNRS, UMR 8582, Paris Russie**

Le programme DOLIDHI se déroulera sur quatre ans. Il est basé sur une problématique anthropologique et historique qui interroge les représentations de soi et du passé des Dolganes, un peuple sibérien établi dans le Haut-Arctique (presqu'île du Taïmyr) à l'histoire particulièrement complexe. Plusieurs longues missions seront effectuées sur le terrain afin de collecter des données par observation participante et par entretiens. Après l'étude des données antérieures aux années 1930 (Mémoire de M2), je souhaite à présent travailler sur les périodes soviétique et postsoviétique. Mon objectif est ainsi de comprendre le rapport au passé, à soi et aux autres dans la durée, dans cette société polaire délaissée par la recherche occidentale. Ce programme s'articule autour de plusieurs axes complémentaires concernant notamment les missions orthodoxes et protestantes, les fêtes collectives au Taïmyr, le système dolgane de rites et de représentations. Face à une possible recréation de l'identité par les autochtones eux-mêmes et une éventuelle réinvention d'un passé en contexte postsoviétique, je cherche à comprendre ce que signifie "être dolgane". Cette recherche sera supervisée par Jean-Luc Lambert.

*The DOLIDHI program will take place over four years. It is based on anthropological and historical issues about the past of Dolgans and the representation of them. The Dolgans are a Siberian people established in Upper-Arctic (peninsula of Taimyr) whose history is particularly complex. Several long missions will be carried out on the field in order to collect data by mean of interviews and participant observation. After having analysed the data prior to the 1930s (Master dissertation), I would like to study now the Soviet and post-Soviet periods. Thus, my aim is to understand the relation to the past, to oneself and to the others on the long-term within this polar society abandoned by western research. The DOLIDHI program is also based on several complementary axes, especially about Orthodox and Protestant missions, collective celebrations in the peninsula of Taimyr, Dolgan's system of rituals and representations. In view of a possible identity's recreation by autochthonous people themselves or a reinvention of their past in a post-Soviet context, I try to understand what "be dolgane" means. This research will be supervised by Jean-Luc Lambert.*

## 1193 - TUKTU

**Impact de l'extraction minière sur les écosystèmes, les troupeaux de caribou et les styles de vie Inuit à Qamani'tuaq au Nunavut : collaborations de recherche triangulaires pour des scénarios de changements alternatifs**

**BLANGY Sylvie**

**UMR 5175, CEFE (Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive)**

**Montpellier**

**Nord Canada, Nunavut, Baker Lake**

Le projet a pour but d'étudier l'impact de l'exploitation minière sur les écosystèmes, les caribous et les styles de vie Inuit à Qamani'tuaq au Nunavut et de développer des scénarios alternatifs à "mines et emplois" versus "subsistance et pauvreté". Il répond aux préoccupations de la communauté qui s'interroge sur les impacts de l'ouverture de la mine d'uranium prévue pour 2015. Le projet utilise un modèle de recherche triangulaire regroupant les experts locaux issus de la communauté, les scientifiques et des représentants des entreprises minières qui développeront des projets interdisciplinaires. Il a pour objectif de renforcer les capacités de recherche qui ont été développées à travers des ateliers participatifs organisés dans le cadre de l'étude comparative sur les styles de vie caribou/rennes du projet ECOTRAD en collaboration avec les experts Saami du nord de la Suède. Ce projet va permettre de mettre en place un Observatoire Homme Milieu International (OHMI) initié et soutenu par l'INEE du CNRS et viendra rejoindre le réseau des 5 OHM déjà en place situés en France, au Portugal, en Guyane Française et au Sénégal.

*The project aims at studying the impact of mining development on ecosystems, caribou herds and Inuit lifestyles in Qamani'tuaq, Nunavut and explores alternative scenarios to the "mining and jobs" versus "subsistence living and poverty" options. It is addressing the concerns raised by the community about the uranium mine to be opened in 2015. It is using a triangular research model, linking community-based experts, academics and mining representatives who will develop interdisciplinary projects. It aims at strengthening the research capacity built within the community through participatory workshops organized in the frame of the ECOTRAD caribou/reindeer comparative study conducted in collaboration with the Saami of Northern Sweden. This project will help design and implement the Arctic "Man and Environment Observatory" program initiated and supported by the the INEE institute of the French CNRS and will join a network of 5 existing OHM located in France, Portugal, Senegal, and French Guyana.*



### 439 - GRAAM

Bilan de carbone sur l'Atlantique nord, suivi en continu du  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  et de la concentration isotopique de la vapeur d'eau atmosphérique à Ivittuut, Groenland

DELMOTTE Marc

Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement (LSCE, CEA, CNRS, UVSQ), Gif sur Yvette  
Groenland

L'objectif principal de ce programme est double. En premier lieu nous souhaitons mieux contraindre les bilans de carbone dans l'atlantique Nord et mieux comprendre les processus mis en jeu au niveau de l'océan. Pour ce faire nous disposons de deux instruments de suivi en continu de la composition atmosphérique, l'un dédié au  $\text{CO}_2$  et l'autre à l'oxygène (rapport  $\text{O}_2/\text{N}_2$ ). La mesure conjointe de ces deux gaz nous apporte une information supplémentaire et originale sur la composante océanique du cycle du carbone et est directement exploitable par le travail de modélisation associé. Dans le présent projet nous proposons d'étendre le suivi en continu de la composition atmosphérique au méthane et à la vapeur d'eau via l'installation d'un instrument de nouvelle génération. Dans le contexte actuel d'un fort réchauffement des zones arctiques, de fortes rétroactions pourraient se produire, principalement engendrées par la libération d'hydrates de méthane dans les océans et/ou de la fonte du pergélisol dans cette zone. Dans un deuxième temps, nous souhaitons profiter de l'opportunité de l'existence de la station et de l'émergence d'une toute nouvelle technique innovante pour établir la première station de suivi en continu de la composition isotopique de la vapeur d'eau au Groenland, en installant sur site un instrument de mesure en continu. La mise en place d'un tel observatoire ouvre de nouvelles perspectives scientifiques pour l'interprétation des enregistrements issus des forages polaires, mais aussi pour la validation du cycle de l'eau dans des modèles de circulation générale de l'atmosphère. Dans les deux cas, la localisation du site sur la côte sud du Groenland revêt un intérêt majeur ; cette zone sous influence océanique est particulièrement sensible aux effets du réchauffement climatique et se trouve à la confluence des masses d'air en provenance de l'Amérique du Nord et de l'Europe. Les données issues de cette station seront exploitées conjointement avec plusieurs hiérarchies de modèles de transport atmosphérique et de modèles climatiques.

The main goal of this program is dual.

First, we aim to better constrain the carbon budget in the North Atlantic region and to better understand the ongoing processes particularly in the ocean. To do so, we have installed two continuous monitoring instruments, one dedicated to  $\text{CO}_2$  and the other to  $\text{O}_2$  ( $\text{O}_2/\text{N}_2$  ratio). Using both measurements leads to complementary information on the oceanic component of the carbon cycle which can be used directly by modellers. Within the present project we propose to extend the continuous atmospheric monitoring to methane and  $\text{H}_2\text{O}$  via the installation of a new generation instrument. Within the present day context of a strong warming of the arctic region, strong feedbacks might occur, mainly driven by ocean methane hydrates release and/or permafrost thaw in the Arctic region. Second, we would like to take advantage of the existence of the monitoring station and of the recent occurrence of brand new innovative technique to set up the first water vapour isotopic content continuous monitoring in Greenland, by installing on site a continuous monitoring instrument. Such a new monitoring station would opens new scientific perspectives for ice core isotopic record interpretation but also to validate the water cycle within atmospheric general circulation models. In both case the localisation of Ivittuut station in the southern part of Greenland is of major interest because it is placed on the coast, in the middle of the North Atlantic Ocean, particularly sensitive to the greenhouse warming effects and at the confluence of air masses coming from North America and Europe. With the help of multiple atmospheric transport models and climate models, the data collected will be used for validation and interpretation.

### 1015 - OPTIMISM

Un instrument automatique pour l'observation des processus dynamiques et thermodynamiques régissant le bilan de masse de glace de mer

VIVIER Frédéric

Université Pierre et Marie Curie, Paris  
Océan arctique

L'Arctique est le théâtre des manifestations les plus spectaculaires du réchauffement climatique en cours. La glace pluriannuelle décline à un rythme accéléré, dépassant les prévisions les plus pessimistes des modèles de climat. Il y a un réel besoin de mieux documenter les processus d'échange de chaleur et d'eau douce aux interfaces océan-glace-atmosphère pour améliorer leur prise en compte dans les modèles. Ce projet propose de développer et déployer un système automatique, basé sur le flotteur prototype "Ice-T", permettant une mesure en temps réel de l'épaisseur de glace de mer et des flux aux interfaces. Les études cibleront une polynie cotière, zone cruciale de formation de glace et d'eau profonde, ainsi que la banquise pluriannuelle où les données de l'instrument seront en particulier précieuses dans la validation des mesures du satellite Cryosat-2 lancé fin 2009.

The most conspicuous manifestations of the ongoing climate warming are found in the Arctic, where the multiyear ice decline outpaces the most pessimistic climate model predictions. There is a real need to better document heat and fresh water exchange processes at the ocean-ice-atmosphere interfaces to improve their parameterization in models. This project proposes to develop and deploy an automated system, built upon the "Ice-T" buoy prototype, providing real-time measurement of sea-ice thickness and fluxes at the interfaces. Studies will focus on a coastal polynya, a critical region for ice and dense water formation, as well as on the multiyear ice pack, where the data will be particularly relevant for the validation of upcoming CryoSat-2 satellite measurements.

### 1042 - ESCAPE Arctic

Ecosystems - Snow - ClimAte - PErfmafrost feedbacks

DOMINE Florent

Université Laval, Québec, Canada  
Canada

Le pergélisol affecte 20% des surfaces terrestres de l'hémisphère Nord. Sa fonte causée par le réchauffement global pourrait libérer des dizaines de Pg de carbone sous forme de  $\text{CO}_2$  et  $\text{CH}_4$  dans l'atmosphère, représentant une rétroaction positive majeure au réchauffement climatique. La fonte du pergélisol impacte aussi les communautés nordiques et le développement de l'Arctique. La neige est un acteur majeur dans le bilan énergétique du pergélisol car elle agit comme une couche isolante qui limite le refroidissement hivernal du sol. La conductivité thermique de la neige est très dépendante du type de couvert végétal et du climat, de sorte qu'il existe des rétroactions fortes entre végétation, climat, neige et pergélisol. Le but de ce projet est de mesurer en continu la conductivité thermique de la neige et de la couche superficielle du sol sur différents sites nordiques afin de fournir les données pour quantifier ces rétroactions dans des modèles de neige et de surfaces continentales.

Permafrost covers over 20% of land masses in the Northern hemisphere. Its thawing due to global warming could release tens of Pg of carbon in the form of  $\text{CO}_2$  and  $\text{CH}_4$  to the atmosphere, representing a major positive feedback to warming. Permafrost thawing also impacts Northern communities and on the development of the Arctic. The snow cover is a major factor in the energy budget of permafrost, because it acts as an insulating layer that limits winter ground cooling. The thermal conductivity of the snow is highly dependent on climate and vegetation, so that there exists strong feedbacks between vegetation, snow, climate and permafrost. The purpose of this project is to perform continuous measurements of the thermal conductivity of the snow and the surface soil layer at different Nordic sites to provide data to quantify these feedbacks using snow and land surface models.



### 1068 - HAUGHTON 2012

Magnetic investigation of the Haughton Impact structure (Canadian Arctic)

ROCHETTE Pierre

Université Paul Cezanne, CEREGE, CNRS, UMR 6635, Aix en Provence Devon Island, Canada

Nous proposons, en collaboration avec G. Osinski (Agence Spaciale du Canada), d'étudier l'aimantation rémanente des dolomies Siluriennes du cratère d'Haughton (d'âge 39 Ma) et d'interpréter l'anomalie magnétique déjà identifiée au centre du cratère. Comprendre comment l'aimantation de ces roches à pyrrhotite est modifiée par l'impact nous aidera à interpréter la signature magnétique des cratères sur Mars ou la Lune.

*We propose to investigate the remanent magnetization of Silurian dolomite from the Haughton impact structure (aged 39 Ma), and interpret the magnetic anomaly already identified in center of the crater. Understanding how these pyrrhotite bearing rocks change their magnetization under impact will help to interpret magnetic signature of impact on other solar system bodies (e.g. Mars and the Moon). The 2010 field work and subsequent investigations will be in collaboration with G. Osinski.*

---

### 1073 - BIPOL- SMR

International Bi-polar Snow Microwave Radiometry Project

PICARD Ghislain

Laboratoire de Glaciologie et Géophysique de l'Environnement, Saint Martin d'Hères Canada

La fonte des glaciers et calottes polaires constitue une cause substantielle de l'accélération de la montée du niveau de la mer. La connaissance de la dynamique des calottes et de la couverture de neige des deux régions polaires – l'Antarctique et l'Arctique – est d'un intérêt international pour des raisons environnementales (climat), économiques et politiques (souveraineté territoriale). L'objectif principal de ce projet est d'acquies des mesures terrains originales sur la neige dans trois environnements polaires différents de par leur régime climatique et le type de neige, et représentatif de l'Antarctique (Dome C, station Concordia), de l'Arctique continental (calotte de Barnes) et de la toundra arctique (Nord du Québec, Canada).

Ces données permettront de valider les modèles micro-ondes utilisés par les méthodes d'inversion qui visent à extraire des variables climatiques et glaciologiques à partir des données satellite micro-onde. L'originalité de ces campagnes est de collecter des mesures au sol de radiométrie micro-onde simultanément avec des mesures des propriétés de la neige (taille des grains, densité, température) au moyen d'instruments novateur récemment développés dans nos laboratoires. Enfin, les données satellites (SSM/I, AMSR, ...) seront exploités pour étendre spatialement et temporellement cette étude.

*Polar areas are very sensitive to climate change due to strong feedbacks induced by glacier melting, sea ice retreat or snow cover changes. Knowledge of snow dynamics of both polar regions – Antarctica and the Arctic – is thus of international interest for environmental (climate), economic, and political (territorial sovereignty) reasons. The main objective of this project is to collect unique snow measurements in three different environments (i.e. different climate types and snow regimes) representative of the terrestrial Antarctic and Arctic at Dome C station in Antarctica, Barnes Ice Cap and in the arctic tundra in Canada. The data will allow the validation of microwave models used in the retrieval of climate and glaciological variables from microwave satellite data. The originality of these campaigns is to collect ground-based microwave radiometer measurements coincidentally with a detailed snow characterization (grain size and structure, density, temperature) using advanced instruments developed in our laboratories. Satellite data (SSM/I, AMSR, ...) will be used to extend spatially and temporally the study.*

### 1111 - GRAAL

Groundwater – Rivers - Active-layer relationship in the AustreLovenbreen catchment (Western Spitsbergen, Svalbard)

MARLIN Christelle

IDES Interactions et dynamique dans les Environnements de Surface, Epinay sur Orge Svalbard

Le projet GRAAL concerne l'étude de l'impact de la fonte du pergélisol et de l'augmentation du volume d'eau souterraine sur les flux de solutés et d'eau de surface à l'exutoire d'un bassin versant englacé de l'Arctique sur la côte ouest du Spitsberg dans un contexte de réchauffement climatique. L'étude se base sur le bassin versant de l'Austrelovenbre (79° N). Dans ce contexte, le couplage de plusieurs approches est nécessaire pour décomposer les écoulements et séparer les sources d'eau : géochimie élémentaire et isotopique, géophysique (GPR), hydrologie et hydrogéologie (incluant une modélisation thermo-mécanique du glacier et de sa zone frontale). L'implantation de profils de piézomètres équipés de sondes thermiques (jusqu'à 4 m de profondeur) et de capteurs de pression (suivi piézométrique de la nappe supra-permafrost) à des distances croissantes des cours d'eau permet de quantifier les échanges nappe-rivière.

*The GRAAL project concerns the study of the impact of melting permafrost and of groundwater on the surface water discharge of a glacierized catchment in the Arctic on the west coast of Spitsbergen in the context of global warming. The study is based on the catchment area of the Austrelovenbre (79° N). In this environment, the coupling of several approaches is necessary to identify the water origin, in particular that of groundwater: elemental and isotopic geochemistry, geophysics (GPR), hydrology and hydrogeology (including thermo-mechanical modeling of glacier and its proglacial moraine). The implantation of piezometer lines equipped with thermal sensors (up to 4 m deep) and pressure sensors (monitoring the supra-permafrost groundwater) at increasing distance from the rivers allow to quantify the groundwater –surface water exchanges.*



### 330 - ORNITHO-ENDOCRINO

Hormones et effort parental chez les oiseaux marins arctiques

CHASTEL Olivier

Centre d'Etudes Biologiques de Chizé, Villiers en Bois Svalbard

Le programme ORNITHO-ENDOCRINO se propose d'étudier les mécanismes hormonaux impliqués dans la phénologie de la reproduction (date de ponte) de la mouette tridactyle *Rissa tridactyla* au Sptizberg (Baie du Roi). Nous voulons tester l'influence du stress environnemental sur les fortes variations interannuelles de date de ponte observées chez cet oiseau au Sptisberg. L'accent sera mis sur la corticostérone, l'hormone de stress, en raison de son rôle de médiateur entre l'environnement, la physiologie de la reproduction (axe hypothalamo-gonadotrophysaire) et le comportement.

*The ORNITHO-ENDOCRINO project is proposed to study the endocrine mechanisms involved in the phenology (timing of breeding) of an Arctic breeding seabird, the black-legged kittiwake *Rissa tridactyla* in Kongsfjorden, Svalbard. We want to test the influence of environmental stress on the strong inter-annual variations in laying date and reproductive success observed in this species in Svalbard. Specifically, we will focus on corticosterone, the stress hormone, because of its role in mediating interactions between environment, reproductive physiology (hypothalamic-pituitary-gonadal axis) and behaviour.*

### 333 - PARASITO ARCTIQUE :

Dynamique des interactions hôte-parasite dans les systèmes spatialisés : dispersion et interactions locales chez les oiseaux marins arctiques

BOULINIER Thierry

Département "Biologie des Populations" Montpellier

Svalbard, Océan Pacifique

Le but du programme est de travailler à une meilleure compréhension de la réponse des populations animales à la variabilité de leur environnement. Le modèle d'étude est un système d'interactions hôte-parasite à trois niveaux, impliquant les oiseaux de mer de l'arctique comme hôtes et la tique *Ixodes uriae*, vectrice de la bactérie *Borrelia burgdorferi sensu lato*, agent de la maladie de Lyme. Il s'agit d'étudier l'importance de la variation phénotypique des réponses des hôtes (immunoécologie et comportement) et des processus de coévolution entre la tique vectrice et ses hôtes dans l'écologie et l'évolution de telles interactions. Outre des analyses de laboratoire, l'approche utilisée intègre des expérimentations sur le terrain à des suivis menés dans un contexte spatialisé.

*The aim of this research program is to examine the response of animal populations to environmental variability at different spatial scales. The study system is a host-parasite system at three levels, involving arctic seabirds as hosts, the tick *Ixodes uriae* as their ectoparasite and Lyme disease agent *Borrelia burgdorferi* as a microparasite. The role of the variability in host phenotypic responses (immunology and behaviour) and of the coevolution between the hosts and the vector tick for the ecology and evolution of such interactions at different scales will be studied. In addition to laboratory analyses, the approach combines field experiment to the analyses of data recorded in a specialised context.*

### 388 - ADACLIM

Adaptations des oiseaux marins de l'Arctique aux contraintes environnementales dans le contexte des changements climatiques

GREMILLET David

CEFE, Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive, Montpellier Groenland

Les changements climatiques sont susceptibles d'affecter grandement le fonctionnement des écosystèmes marins de l'Arctique. Afin d'évaluer leur impact potentiel, nous étudierons les mergules nains (*Alle alle*). Ces oiseaux plongeurs de très petite taille (150g) sont les plus abondants (80 millions) de l'Atlantique nord et se nourrissent exclusivement de zooplancton. Ils représentent potentiellement de puissants indicateurs écologiques des réseaux trophiques régionaux. Dans le cadre de ce projet nous étudierons l'écophysiologie hivernale de différentes populations de mergules nains en Atlantique nord. Nous déterminerons leurs zones d'hivernage, leurs voies migratoires et nous estimerons l'impact des changements globaux sur leur survie hivernale.

*A clearer understanding of how Arctic marine ecosystems will react to global changes is essential. In order to detect and predict ecological responses to environmental change in these fragile marine systems we will study the little auk (*Alle alle*), an Arctic diving seabird that feeds on zooplankton. Little auks are among the smallest (150g), yet they are the most abundant (80 million) seabird species in the North Atlantic. They potentially feature powerful ecological indicator so regional food webs. In this project, we will investigate the inter-breeding ecophysiology of different little auk populations across the Arctic to define their wintering areas, their migration routes, and to assess the impact of on going global changes onto their winter mortality rates.*

### 399 - CHIMERPOL III

Dynamique de l'écosystème de la neige en zone Polaire

VOGEL Timothy

Laboratoire Ampère, Génomique microbienne environnementale, Ecully Svalbard

Le programme pluriannuel CHIMERPOL III vise à comprendre les interactions entre les composantes microbiologiques et chimiques du manteau neigeux Arctique. Les relations et interconnexions de ces deux composantes seront examinées à travers des études de terrain et des expériences en laboratoire. Ce programme se focalisera aussi sur les effets du mercure sur les communautés microbiennes et leur participation au cycle du mercure polaire. Afin de déterminer la structure des communautés microbiologiques et leur évolution, divers environnements neigeux, tel que des sites côtiers, de la glace de mer et des glaciers, seront étudiés. En parallèle, une caractérisation détaillée de la chimie de ces environnements sera effectuée pour permettre la mise en évidence de nouveaux mécanismes de méthylation et de transfert du mercure vers d'autres écosystèmes lors de la fonte de la neige.

*The multiannual CHIMERPOL III program consists of understanding the interactions between snow microorganisms and snowpack chemistry in the Arctic. How these components are connected and interrelated will be examined through both field and laboratory experiments. This program will also focus on the effects of mercury on microbial communities as well as the microbial participation in the mercury cycle in the Arctic. Different types of snow environments, such as coastal sites, sea-ice and glaciers, will be studied throughout the duration of the program to determine microorganism community structure and evolution. Detailed chemical characterization of these environments will also be undertaken to determine mechanisms of mercury methylation and the transfer of mercury towards ecosystems at snow melt.*



### 1036 - INTERACTIONS

Impacts directs et indirects des différentes interactions parasite-prédateur-proie sur la dynamique cyclique d'une communauté de vertébrés terrestres arctiques soumise à des changements climatiques

**BOLLACHE Loïc**  
Laboratoire Biogéosciences, CNRS,  
UMR 5561, Dijon  
Groenland

Les lemmings et leurs prédateurs sont les éléments les plus structurants des communautés de vertébrés terrestres arctiques : leurs densités et dynamiques sont (directement et indirectement) à la fois impactées et déterminantes pour les dynamiques de population des autres vertébrés. Aujourd'hui, les principales interactions prédateur-proie responsables de ces fortes dynamiques cycliques sont du plus en plus perturbées par les changements climatiques au Groenland.

*Lemmings and their predators are deeply structuring the terrestrial vertebrate communities in the Arctic. Their local densities and dynamics are, directly and indirectly, both impacted by and impacting the population dynamics of most other vertebrate species. But today, the main predator-prey interaction leading to their high-amplitude cyclic population dynamics are increasingly disturbed by climate-driven changes in NE Greenland.*

### 1090 - SCALA

SCALlops in the Arctic: taping of environmental parameters

**CHAUVAUD Laurent**  
IUEM/OSU, LEMAR, Plouzané  
Ny-Ålesund

Il est maintenant communément admis que l'océan Arctique est la région la plus sensible aux changements climatique, hydrographique et écologique, liés au réchauffement global. En général, dans un contexte de changement global, un basculement est attendu dans l'importance relative de la glace de mer et des compartiments pélagique et benthique dans le flux de carbone global depuis un couplage "glace de mer - algues benthiques" vers un couplage "phytoplancton-zooplankton". Il est également supposé que dans les zones peu profondes, la production microphytobenthique sera renforcée. La façon dont les principaux organismes pélagiques et benthiques répondront à ces changements en termes de ressources trophiques et de conditions environnementales reste à éclaircir. En période de changement climatique en Arctique, il est essentiel de comprendre, non seulement la composition des communautés benthiques, mais aussi la façon dont elles sont liées aux processus environnementaux, si nous espérons être en mesure d'anticiper les réactions possibles de ces systèmes. Décrypter les signaux environnementaux inscrits dans les structures calcaires de bivalves au cours de leur croissance fournit un enregistrement des conditions environnementales sur des échelles allant de la décennie au siècle. Dans ce contexte, en s'appuyant sur notre expérience bien établie dans l'utilisation des Pectinidae comme archives biologiques, nous proposons de développer une approche couplée sclérochronologie - sclérochimie et physiologie pour établir le lien entre les facteurs biotiques et abiotiques et la croissance des bivalves dans l'archipel du Svalbard à l'aide du pétoncle islandais, *Chlamys islandica*.

It is now commonly accepted that the Arctic Ocean is the region where changes in climate, hydrography and ecology, related to global warming, are expected to be strongly expressed. In general, under environmental warming, there would be a shift in the relative importance of sea-ice, pelagic and benthic biota in the overall carbon flux from "sea-ice algae-benthos" to "phytoplankton-zooplankton" dominance. It is also hypothesized that in shallow areas, microphytobenthos production will be enhanced. It remains unclear how key pelagic and benthic organisms will respond to those changes in food sources and environmental conditions. In the present era of changing climate in the Arctic, it is essential to understand not only the composition of benthic communities, but also how they are linked to environmental processes if we hope to be able to anticipate the potential responses of these systems to climate change. Deciphering environmental proxies incorporated within biogenic archives during their growth thus provide records of environmental conditions over decades to centuries. In this context, based on our well-established experience on the use of pectinids as biological archives, we propose to develop a coupled approach of sclerochronology - sclerochemistry and physiology method to establish the link between biotic and abiotic factors and the bivalves' growth in the Svalbard archipelago using the Iceland scallop *Chlamys islandica*.

### 1162 - SEXCOMONARC

Conflits sexuels chez une espèce arctique monogame

**DANCHIN Etienne**  
Evolution et diversité Biologique  
(EDB), Toulouse III  
Alaska

This project builds on "Programme 429" to develop new approaches on sexual conflicts in a monogamous panarctic seabird. It involves seven mostly new subprojects. It will use methods developed before to study the role of sexually transmitted diseases on the evolution of mating systems in a wild population. It also tackles the question of sexual conflicts in contexts never clearly stated before (eg. brood reduction). It further studies proximate mechanisms of reproductive decision to complement our ultimate approaches. It finally keeps on studying topics initiated during the previous project, while bringing new dimensions (eg. the role of the MHC in mate choice, integrating the study of body odors as a phenotypic trait revealing genetic proximity). It involves new collaborations, some with leaders of other IPEV projects.



# Antarctique - Subantarctique : sciences de l'univers

## 133 - SISMOLOGIE/OBS

Observatoires Sismologiques Globaux

MAGGI Alessia

Ecole et Observatoire des Sciences de la Terre, Strasbourg  
Terre Adélie, Crozet, Kerguelen,  
Amsterdam-Saint-Paul

L'objectif principal du programme est l'observation à très large bande et à grande dynamique des mouvements du sol aux hautes latitudes de l'hémisphère sud. Les données enregistrées dans ce but sont mises à disposition de la communauté scientifique internationale par différents moyens : www, ftp, CDs et depuis peu aussi en temps réel. La continuité, la qualité, la stabilité et l'homogénéité de ces observations sont de première importance pour leur utilité. Nous prévoyons de continuer la consolidation de notre parc matériel, et de mettre en oeuvre sur toutes les stations le transfert des données en temps réel vers Strasbourg et la communauté internationale.

*The main purpose of the program is the observation of the ground displacement in the high latitudes of the southern hemisphere, at broadband frequencies and with large dynamic range. The data we record are distributed to the international scientific community through several means: www, ftp, CDs and more recently also in real-time. The continuity, quality, stability and homogeneity of those observations are of the utmost importance for their continued usefulness. We plan to continue the consolidation of our equipment, and to implement real time data transmission for all our stations to Strasbourg and the international community.*

---

## 139 - GEOMAGNETISME

Observatoires magnétiques permanents

CHAMBODUT Aude

Ecole et Observatoire des Sciences de la Terre, Strasbourg  
Terre Adélie, Crozet, Kerguelen,  
Amsterdam-Saint-Paul

Les observatoires magnétiques permanents d'Amsterdam, Crozet, Dumont d'Urville et Kerguelen répondent aux normes et standards Intermagnet (INTERNational Realtime MAGnetic observatory NETwork). Le champ magnétique de la Terre y est enregistré en continu avec des taux d'échantillonnage de 1s. Les mesures absolues des composantes du champ magnétique (tous les deux jours) tout au long de l'année. Le traitement des données et leur diffusion auprès des centres mondiaux de données géophysiques (WDC pour le géomagnétisme - World Data Centers) à travers le réseau Intermagnet, sont effectuées en temps quasi-réel grâce au récent système d'acquisition intégrant des protocoles d'expéditions journalières. La continuité, la qualité, la stabilité et l'homogénéité de ces observations sont de première importance pour leur utilisation en continue par l'ensemble de la communauté scientifique. Ces observatoires sont localisés dans des lieux éloignés et isolés qui ne permettent pas d'utiliser pleinement les protocoles habituels des autres observatoires français (protocole du BCMT - Bureau Central du Magnétisme Terrestre - utilisant par exemple : connexion permanente à Internet, personnel permanent, ...) et ont conduit nécessairement à des adaptations logistiques et technologiques. Nous prévoyons de poursuivre la consolidation de notre parc matériel.

*The permanent magnetic observatories of Amsterdam, Crozet, Dumont d'Urville and Kerguelen are fulfilling the Intermagnet (INTERNational Real-time MAGnetic observatory NETwork) standards. In these observatories, the Earth's magnetic field is continuously recorded with sampling rates of 1s. Absolute measurements of the magnetic field components are also performed regularly (every two days) along the year. The data processing and dissemination, to the world Data Centers (W.D.C. for Geomagnetism) across the Intermagnet network, are quasi realtime thanks to the recent acquisition system integrating daily shipment protocols. The continuity, quality, stability and homogeneity of those observations are of the utmost importance for their continued usefulness for the whole scientific community. The observatories are localized in remote places that do not allow to fully use usual French observatories protocols (BCMT protocol usually used: permanent internet connection, permanent observer, larger site and shelters, ...) and have led necessarily to logistical and technological adaptations. We plan to continue the consolidation of our equipment.*

---

## 209 - NDACC-Antarctica

Suivi à long-terme de l'UTLS et de l'ozone stratosphérique, interactions stratosphère-climat : composante antarctique du réseau NDACC-France

JUMELET Julien

LATMOS - IPSL - UMR8190, Paris

Terre Adélie, Concordia, Kerguelen

Le programme 209 "NDACC-Antarctica" constitue la composante antarctique (et sub-antarctique) du Service d'Observation NDACC-France. Ce dernier représente la contribution française au réseau international NDACC (Network for Detection of Atmospheric Composition Changes). Ce réseau a pour vocation le suivi de la composition chimique de la haute troposphère-basse stratosphère (HTBS), afin de détecter les tendances et la variabilité, ainsi que les interactions climatiques. Ces travaux contribuent à alimenter les processus de décision dans le cadre du Protocole de Montréal. Les objectifs du programme 209 "NDACC Antarctica" se déclinent en deux axes :

1. La poursuite des activités de surveillance à long terme de la HTBS antarctique dans le cadre du Service d'Observation NDACC-France;
2. Des études de processus nécessaires à la compréhension des mécanismes en jeu. Pour la période 2011-2015, ces études porteront sur la microphysique des phases condensées présentes dans la HTBS et sur la dynamique des masses d'air polaires à des fins d'amélioration de la modélisation des interactions chimie-climat.

Le programme se déploie sur trois sites : Dumont d'Urville (site principal), Kerguelen et Concordia.

*Program 209 "NDACC-Antarctica" is the Antarctic (and sub-Antarctic) component of the NDACC-France Observing Service, which is the French contribution to the international NDACC (Network for Detection of Atmospheric Composition Changes). This network aims to the monitoring of Upper Troposphere-Low Stratosphere (UTLS) chemical composition, in order to detect trends and variability, as well as climatic interactions. NDACC contributes to feed decision processes in the frame of the Montréal Protocol. The objectives of the "NDACC Antarctica" 209 program are divided into two main axes:*

1. Long-term monitoring of the Antarctic UTLS in the frame of the Observing Service NDACC-France;
2. Process studies required to understand the ongoing mechanisms. For the 2011-2015 period, this type of studies will concern the microphysics of condensed phases present in the UTLS and the polar air mass dynamics to improve global modelling of the ozone-climate interactions.

*The program is implemented on three sites: Dumont d'Urville (main site), Kerguelen and Concordia.*

---



### 227 - RAYCO

Observation de la composante nucléonique du rayonnement cosmique

KLEIN Karl-Ludwig

Observatoire de Meudon LESIA, Meudon

Terre Adélie, Kerguelen

Observation de la composante nucléonique du rayonnement cosmique :

1. comme participation française au réseau international des moniteurs à neutrons,
2. pour étudier l'accélération de protons relativiste dans les éruptions solaires,
3. pour améliorer la compréhension de la propagation du rayonnement cosmique dans l'héliosphère,
4. pour fournir les données nécessaires et améliorer les modèles utiles au système Sievert (DGAC - Direction Générale de l'Aviation Civile).

*Observation of the nucleonic cosmic ray component:*

1. as the French contribution to the international network of neutron monitors,
2. to study relativistic proton acceleration in solar flares,
3. to improve the understanding of cosmic ray propagation in the heliosphere,
4. to provide the data for, and to improve the models used by the Sievert system (DGAC-French Civil Aircraft Authority).

### 312 - SUPERDARN KER

SuperDARN Kerguelen

MARCHAUDON Aurélie

Laboratoire de Physique et Chimie de

l'Environnement et de l'Espace, Orléans

Kerguelen

Le programme SuperDARN (Super Dual Auroral Radar Network) de radars cohérents HF fournit des observations continues de la convection du plasma ionosphérique dans les régions de haute latitude : zones aurorales et calotte polaire. Le champ de vue du radar français de Kerguelen est conjugué magnétiquement avec celui du radar anglais d'Hankasalmi situé en Scandinavie, ainsi qu'avec les radars à diffusion incohérente EISCAT et ESR. En développant le réseau dans l'hémisphère Sud, les objectifs centrés sur le thème de la conjugaison magnétique entre hémisphères deviennent accessibles. En effet, la nature et les limites de la notion de conjugaison magnétique sont encore très mal connues. De plus, l'ensemble du réseau SuperDARN apporte des mesures complémentaires indispensables aux expériences in situ à bord des sondes spatiales, permettant une meilleure compréhension du système global vent solaire-magnétosphère-ionosphère et de son évolution temporelle.

*The SuperDARN network of coherent High-Frequency (HF) radars is dedicated to global observations of the convection of the ionospheric plasma in the high-latitude regions: auroral zones and polar cap. The french SuperDARN Kerguelen radar is conjugate with the english Hankasalmi radar and with the incoherent scatter radars, ESR and EISCAT, all located in Scandinavia. This configuration greatly enhances the capabilities of the whole SuperDARN project on most of the scientific objectives, but more particularly on those centred on magnetic conjugacy between hemispheres. It will allow to understand the nature and the limits of magnetic conjugacy. Moreover, the SuperDARN network gives also complementary measurements to experiments onboard satellites, bringing a better understanding of the whole solar wind-magnetosphere-ionosphere system, particularly its evolution with time.*

### 411 - GLACIOCLIM-SAMBA

Les glaciers, un observatoire du climat, composante Antarctique (ORE/SO)

FAVIER Vincent

Laboratoire de Glaciologie et Géophysique de l'Environnement, Saint

Martin d'Hères

Terre Adélie, Dôme C

Il s'agit du volet Antarctique de l'ORE/SO GLACIOCLIM, destiné à détecter, surveiller et comprendre l'évolution du climat et du bilan de masse en milieu glaciaire. Le programme est construit sur la mise en place et la maintenance d'un réseau de mesure du bilan de masse de surface dans la région de Cap Prud'homme (CP, relevés en été et hiver), le long d'un transect de 150 km (1 relevé/an), et à Concordia (1 relevé/an minimum). Des instruments météorologiques sont également déployés à proximité de CP et des campagnes spéciales d'observation météorologiques et glaciologiques sont organisées.

*This is the Antarctic component of the GLACIOCLIM ORE/SO, to detect, monitor and understand climate and mass balance variability and change in the glacial environment. The program maintains a surface mass balance network at Cap Prud'homme (CP, summer and winter surveys), along a 150 km transect (1 survey/yr), and at Concordia (1 survey/year or more). Meteorological instruments are also be deployed near CP and special meteorological and glaciological observing periods are organized.*



#### 414 - CESOA/ORE

Etude du cycle atmosphérique du soufre en relation avec le climat aux moyennes et hautes latitudes Sud

LEGRAND Michel

Laboratoire de Glaciologie et Géophysique de l'Environnement, Saint Martin d'Hères  
Terre Adélie, Crozet,  
Amsterdam-Saint-Paul

Le cycle atmosphérique du Soufre aux moyennes et hautes latitudes Sud : variabilité interannuelle des émissions marines de DMS (glace de mer, température de l'océan, chlorophylle de l'océan, variabilité climatique liée à l'ENSO) et réponse future au changement climatique global. Il inclue un suivi du DMS et des aérosols soufrés à DDU, Amsterdam et Crozet, l'étude du DMS dans l'eau de mer collectée lors des rotations de bateaux dans les districts ainsi qu'une étude ciblée sur les oxydants ( $H_2O_2$ , HCHO et  $O_3$ ) à DDU puis à Amsterdam.

*The atmospheric Sulfur cycle at mid and high southern latitudes: interannual variability of marine DMS emissions (sea-ice, ocean temperature, oceanic DMS content, chlorophyll a, short-term climatic event such as ENSO) and future response to global climate change. That includes a yearrecord study of DMS and sulfur aerosol at DDU, Amsterdam and Crozet, DMS in seawater collected during ship traverses between different stations as well as a study dedicated to atmospheric oxidants ( $H_2O_2$ , HCHO and  $O_3$ ) at DDU then at Amsterdam.*

---

#### 415 - AEROTRACE

Observatoire "Aérosols et Traceurs Atmosphériques" dans l'océan Austral

SCIARE Jean

Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement, Gif sur Yvette  
Crozet, Amsterdam-Saint-Paul

Le rôle des aérosols troposphériques dans le système climatique de l'océan Austral constitue l'axe de recherche principal de ce programme pour les quatre prochaines années. Ce travail va bénéficier en tout premier lieu de nouveaux jeux de données "Aérosols" mis en place lors du précédent programme AEROTRACE (2002-2006). Ce travail sera complété par l'étude de certains processus comme

1. la quantification du rôle des sels de mer sur le forçage radiatif direct des aérosols au dessus de nos stations ou encore
2. l'étude de la composition chimique de la fraction CCN (Cloud Condensation Nucleus).

*The role of tropospheric aerosols in the Austral Ocean climatic system will represent the main objective of this program for the next four years. This study will include first the results of new aerosol observations which have been setup during the previous AEROTRACE programme. This work will also be completed by process studies such as*

1. the quantitative role of sea salt aerosols in the direct radiative forcing of aerosols above our stations,
  2. the chemical determination of the CCN (Cloud Condensation Nucleus) fraction with a special attention to organic aerosols of marine origin.
- 

#### 416 - RAMCES-AMS/ORE

Suivi des gaz à effet de serre à l'île d'Amsterdam

DELMOTTE Marc

Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement - RAMCES, Gif sur Yvette  
Amsterdam-Saint-Paul

L'objectif du programme observatoire RAMCES-AMS est le suivi à long terme des gaz à effet de serre  $CO_2$ ,  $CH_4$ ,  $N_2O$ ,  $SF_6$  à l'île Amsterdam. Pour une bonne caractérisation des masses d'air nous mesurons également en continu le Radon-222 et les paramètres météorologiques, et par prélèvements hebdomadaires le  $CO$ ,  $H_2$  et les isotopes stables du  $CO_2$ . Nous proposons d'initier au cours du programme à quatre ans le suivi en continu du rapport  $O_2/N_2$  afin d'identifier la contribution océanique dans la variabilité interannuelle du  $CO_2$ .

*The objective of the RAMCES-AMS program is the long term monitoring of greenhouse gases ( $CO_2$ ,  $CH_4$ ,  $N_2O$ ,  $SF_6$ ). To properly characterize the air masses we are also performing continuous measurements of Radon-222 and meteorological parameters, and weekly air sample to analyze  $CO$ ,  $H_2$  and  $CO_2$  isotopes. During the term of this four years project, we propose to initiate in-situ measurements of  $O_2/N_2$  in order to characterize the oceanic contribution to the  $CO_2$  interannual variability.*

---

#### 452 - ALBION

Adélie Land Bottom Water and Ice Ocean interactionS

HOUSSAIS Marie - Noëlle

Universite Paris 6, Paris  
Terre Adélie

Le projet ALBION, initié en 2006 dans le cadre de l'Année Polaire Internationale, vise à documenter la formation de l'eau de Fond de la Terre Adélie, la troisième source de l'eau Antarctique de Fond formée sur le plateau de l'Antarctique de l'Est au large de la Terre Adélie. La répétition régulière chaque été d'un réseau de stations hydrographiques et de carottages sédimentaires, associée à la surveillance en continu de sites clés pour la formation et l'export des eaux denses, doit nous permettre de comprendre la formation et la circulation des eaux sur le plateau, et son impact sur la variabilité de l'export d'eau dense et des processus de sédimentation. ALBION fait partie d'une collaboration franco-australienne avec le CSIRO (Hobart).

The ALBION project, launched in 2006, aims at documenting the formation of the Adélie Land Bottom Water, the third source of Antarctic Bottom Water formed on the eastern Antarctic shelf off the George V Land / Adélie Land Coast. Regular summer hydrographic and sediment coring surveys together with continuous monitoring of the key formation and export areas should help understanding the general circulation on the shelf, its link to the sediment dynamics and its impact on the interannual variability of the dense water export. ALBION is part of a French-Australian collaboration between CSIRO (Hobart) and LOCEAN, bearing on data sharing and joint operations at sea.

---

#### 688 - NIVMER

NIVeau de la MER

TESTUT Laurent

Laboratoire d'Etudes en Géophysique et Océanographie Spatiales, Toulouse  
Terre Adélie, Crozet, Kerguelen,  
Amsterdam-Saint-Paul

Le programme NIVMER consiste en une opération de maintenance et de suivi des stations marégraphiques du Service d'Observation de niveau de la mer ROSAME - [www.legos.obs-mip.fr/fr/observations/rosame/](http://www.legos.obs-mip.fr/fr/observations/rosame/) sur les quatre sites de Crozet, Kerguelen, Saint-Paul et Dumont d'Urville. Ce programme vient en accompagnement des programmes de recherche faisant usage des observations des variations du niveau de la mer, dans le secteur péri-antarctique de l'océan Indien : traitement et validation des mesures altimétriques satellitaires, surveillance des tsunamis, suivi du Courant Circumpolaire Antarctique et étude des variations séculaires du niveau de la mer. Ces quatre stations font partie du réseau de surveillance mondial de niveau de la mer GLOSS.

*The NIVMER program of the ROSAME tide gauge network - <http://www.legos.obs-mip.fr/en/observations/rosame/> - is complementing several national research programmes using in situ sea level variation observations, in the peri-antarctic area of the Indian Ocean. These programmes are related to: tsunami warning system, satellite altimetry processing and validation, Antarctic Circumpolar Current monitoring and secular mean sea level trends. This tide gauges network is part of the GLOSS global network.*



### 903 - CHIMIE

Chimie de la Basse Atmosphère Présente et Future en Antarctique Centrale : cycle du soufre (ORE CESOA)

LEGRAND Michel

Laboratoire de Glaciologie et Géophysique de l'Environnement, Saint Martin d'Hères  
Concordia

Ce programme concerne la chimie de la basse atmosphère au centre de l'Antarctique afin de :

1. documenter l'atmosphère libre des hautes latitudes Sud (en complémentarité aux études menées dans la couche limite marine à DDU, programme 414),
2. comprendre la représentativité spatiale des signaux chimiques de la glace au site de forage profond d'EPICA.

Ce programme est naturellement couplé aux études de physique de l'atmosphère. Il se focalise sur les espèces soufrées (DMS, DMSO, SO<sub>2</sub> et aérosols) ainsi que sur les oxydants (O<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> et HCHO).

*His program concerns the chemistry of the lower atmosphere in central Antarctica in view to*

1. document the free troposphere at very high southern latitudes (in complement to the studies carried out in the marine boundary layer at DDU),
2. evaluate the spatial representativeness of chemical signals stored in the ice at the EPICA deep drill site.

*This projet is of course coupled with the study of physic of the atmosphere. It focuses on sulphur species (DMS, DMSO, SO<sub>2</sub> et aerosols) as well as on oxidants (O<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> et HCHO).*

---

### 905 - MAGNETISME/OBS

Long-term monitoring of polar stratosphere (NDACC and WMO networks)

CHAMBODUT Aude

Ecole et Observatoire des Sciences de la Terre, Strasbourg  
Concordia

Le présent projet scientifique vise au maintien de l'observatoire magnétique permanent de Dôme C. L'observatoire (instruments, systèmes d'acquisition, de visualisation, de sauvegarde, de transmission en temps quasi-réel et observateur dédié aux mesures magnétiques absolues) permet l'obtention de mesures toutes les secondes et de mesures absolues des trois composantes du champ magnétique de la Terre. L'entretien des installations, le traitement et la valorisation scientifique des données se fait en collaboration avec l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), Rome. L'observatoire suit déjà les recommandations INTERMAGNET (INTERNational Real-time MAGnetic observatory NETWORK) et deviendra, dans un avenir proche, un IMO (INTERMAGNET Magnetic Observatory) à part entière. Les données recueillies seront diffusées aux WDC (World Data Centers) pour être facilement accessible à l'ensemble de la communauté scientifique.

*The present scientific project aims at maintaining the permanent magnetic observatory of Dome C. The observatory (instruments, various systems as : acquisition, visualisation, back-up, quasi-realtime transmission and dedicated human observer) allows to perform measurements at one second sampling rate and absolute measurements of the three components of the Earth's magnetic field. The maintenance of facilities, processing and scientific valorization of the data is done in collaboration with Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), Rome. The observatory already follows INTERMAGNET's recommendations (INTERNational Real-time MAGnetic observatory NETWORK) and will become, in a near future, an IMO (INTERMAGNET Magnetic Observatory) in the fullest sense. The collected data will be disseminated to the WDCs (World Data Centers) in order to be easily accessible to the whole scientific community.*

---

### 906 - SISMOLOGIE/OBS

Sismologie à Concordia

LEVEQUE Jean-Jacques

Ecole et Observatoire des Sciences de la Terre de Strasbourg  
Concordia

Le programme poursuit deux objectifs : l'établissement d'une station sismologique large-bande de type "observatoire" et le déploiement d'une antenne de sismomètres. Les deux aspects du projet doivent contribuer à l'étude de la structure de la Terre et des séismes. La station d'observatoire est destinée à compléter le réseau sismologique mondial dans une région où il existe de vastes lacunes. L'antenne de sismomètres a pour but l'observation de phases sismologiques faiblement énergétiques. Le site de Concordia présente un certain nombre de conditions favorables pour une telle antenne.

*The program has two main goals: the set-up and operation of a broad-band station "observatorylike" and the deployment of a seismometer array. Both aspects of the project aim at contributing the study of both the Earth's structure and earthquakes. The observatory station is intended to supplement the worldwide seismological network in a region where its coverage remains very sparse. The goal of the seismometer array is to observe low-energy seismic waves. The Concordia site benefits from several favorable conditions for deploying such an array.*

---



## 910 - HAMSTRAD

H<sub>2</sub>O Antarctica Microwave Stratospheric and Tropospheric Radiometers

RICAUD Philippe

Laboratoire d'Aérodynamique, CNRS,  
Université de Toulouse  
Concordia

Le programme HAMSTRAD (H<sub>2</sub>O Antarctica Microwave Stratospheric and Tropospheric Radiometers) se focalise sur l'évolution de la vapeur d'eau dans la stratosphère et la troposphère afin d'évaluer son impact sur l'évolution du climat. Les phénomènes de déshydratation/réhydratation, descente, érosion et séparation finale du vortex seront étudiés dans la stratosphère. Les changements de phase et le cycle diurne de la glace seront analysés dans la troposphère. Les mesures seront comparées au modèle global de chimie transport MOCAGE. Le projet participera aussi à la validation des instruments spatiaux mesurant H<sub>2</sub>O troposphérique et stratosphérique. Enfin, HAMSTRAD aidera à valider les analyses aux hautes latitudes de l'hémisphère sud du Centre Européen ECMWF.

*The HAMSTRAD (H<sub>2</sub>O Antarctica Microwave Stratospheric and Tropospheric Radiometers) project is intended to focus on the long-term time evolution of water vapour both in the stratosphere and in the troposphere that can impact on the climate evolution. Stratospheric phenomena of dehydration/ rehydration, descent, filamentation and vortex breakup will be studied. Phase change together with ice diurnal cycle will be investigated in the troposphere. These measurements will be compared to the 3D Chemical Transport Model MOCAGE. The project will also participate to the validation of space-borne sensors measuring tropospheric and stratospheric H<sub>2</sub>O. Finally, HAMSTRAD will help validating Southern Hemisphere high latitudes analyses from the European Centre ECMWF.*

## 1011 - SUNITE DC

Evolution du sulfate et du nitrate de l'air et de la neige de Dôme C

SAVARINO Joël

Laboratoire de Glaciologie et Géophysique de  
l'Environnement, Saint Martin d'Hères  
Concordia

Le programme NITEDC était dédié à l'étude des effets post dépôts du nitrate en utilisant sa composition isotopique en O et N. Pour ce renouvellement, le but de SUNITE DC est de documenter et utiliser les anomalies isotopiques des oxy-anions (sulfate et nitrate) pour contraindre les sources, transformations et transports de ces composées vers les régions polaires où ils sont archivés sur des milliers d'années. Les compositions isotopiques résultent du mode de formation de la matière et portent de fait une information de qualité sur les mécanismes d'oxydation et sur l'identification et l'importance des sources des précurseurs. Cette information peut être reconstituée à partir des carottes de glace et doit permettre d'accéder à l'activité chimique passée de l'atmosphère en lien avec les changements climatiques. Nous proposons de continuer le travail entrepris durant NITEDC, c'est-à-dire le suivi de la composition isotopique du nitrate dans un contexte de reconstitution de la couche d'ozone et d'étendre l'étude au sulfate. Dans ce projet les trois compartiments, air, neige et glace seront étudiés sous des conditions climatiques et météorologiques différents. A notre connaissance, nous sommes le seul groupe à proposer la mesure des isotopes rares 17O et 33S en Antarctique. SUNITE DC profitera du support des ANR VOLSOL, OPALE et d'un réseau européen Marie Curie INTRAMIF. (Suivant les conseils du comité scientifique, le sulfate est maintenant intégré à ce programme, ceci met fin au programme 1012 volsol).

*NITEDC program was dedicated to the study of the snow nitrate post depositional effects, using its N and O isotope composition. For this renewal project, the goal of SUNITE DC (following the committee advice, sulfate is integrated in this program) is to document and use the isotopic anomaly of oxy-anions (sulfate, nitrate) to constrain the sources, transformations and transports of these compounds to Polar Regions where they are archived for hundreds thousand of years. Isotopic compositions of molecules are the result of their manufactures and thus carry a wealth of information about the oxidative capacity of the atmosphere and the source apportionments of their precursors. The information can be recovered from proxy records such as ice cores and thus open a window on the past chemical activities of the atmosphere. We propose to continue the work undertaken during NITEDC, i.e. follow the isotopic composition of nitrate in the context of the ozone hole recovery and extend it to the study of sulfate. In this project the three compartments: air, snow and ice will be studied under different climatic and meteorological conditions. To the best of our knowledge, we are the only group using the rare stable isotopes (17O, 33S) in Antarctica. SUNITE DC is co sponsored by the ANR VOLSOL, OPALE and an european network INTRAMIF.*

## 1013 - CALVA

Calibration – validation de modèles météorologiques et climatiques et de restitutions satellitaires, de la côte Antarctique jusqu'au Dôme C

GENTHON Christophe

Laboratoire de Glaciologie et Géophysique de  
l'Environnement, Saint Martin d'Hères  
Terre Adélie, Concordia

Ce projet est conçu pour l'acquisition sur le terrain, en Terre Adélie et au Dôme C, de données permettant de mieux vérifier, valider ou améliorer sur l'Antarctique les modèles météorologiques et climatiques à l'échelle des processus et les méthodes d'exploitation des données satellitaires dans le domaine de l'infrarouge thermique et des micro-ondes passives. Ce projet prend le relais du projet IPY - CONCORDIASI pour l'IR et la modélisation météorologique, et constitue le volet terrain de la partie "Incertitudes sur les processus de bilan de masse de surface" du projet européen FP7 ICE2SEA devant démarrer en 2010.

*This project is designed to acquire field data in Adélie Land and at the Dome C to better verify, validate or improve meteorological and climate modelling at the process scale and satellite retrieval (thermal infra-red and passive microwaves) over the Antarctic region. This project takes over the IPY-CONCORDIASI project for the IR and meteorological modeling, and it is the field component of the "Surface mass balance uncertainties" workpackage of the FP7 European project ICE2SEA planned to start in 2010.*

## 1028 - GMOstral

Réseau mondial d'observation du mercure : terres australes et antarctiques

DOMMERGUE Aurélien

Laboratoire de Glaciologie et Géophysique de  
l'Environnement, Saint Martin d'Hères  
Amsterdam-Saint-Paul, Terre Adélie, Concordia

GMOstral découle d'une initiative lancée par le programme européen GMOS (Global Mercury Observation System) dont le but premier est de coordonner un réseau planétaire d'observations du mercure atmosphérique. Les données permettront de mettre en œuvre et valider les modèles atmosphériques régionaux et mondiaux dans l'optique de motiver et orienter les futures réglementations concernant ce polluant global. Dans ce cadre, nous proposons la mise en place de trois stations de mesures en régions sub-antarctique et antarctique afin de documenter et surveiller les variations atmosphériques du mercure dans les régions reculées de l'hémisphère sud, et de travailler sur la réactivité très mal connue, les cycles, les dépôts et la ré-émission en Antarctique.



The GMOstrat is initiated by a European project GMOS (Global Mercury Observation System), which aims at developing a coordinated global observation system for the global pollutant, atmospheric mercury (Hg). This will then provide high quality data for the validation and application of regional and global scale atmospheric models, to give a firm basis for future policy development and implementation. In this context we propose to implement three Hg monitoring stations in sub-Antarctic and Antarctic sites in order to document and monitor the atmospheric Hg trends in remote places of the southern hemisphere and to study the almost unknown reactivity of Hg in those regions, in particular diurnal cycling, deposition, and reemission trends in Antarctica.

### 1040 - CAMISTIC

**Caméra Millimétrique au Sol pour l'Antarctique**

**DURAND Gilles**  
Département d'Astrophysique, de Physique, Gif sur Yvette  
Concordia

Camistic est une caméra dont le but premier est de tester le site de Concordia en infrarouge lointain. Cette caméra, placée sur le télescope italien IRAIT est une étape nécessaire avant d'envisager des projets plus ambitieux de grands télescopes pour les observations au Dôme C des corps froids de l'univers. Le domaine d'astronomie accessible concerne la formation des étoiles et les étapes précoces de l'univers.

*Camistic is a Sub-millimetre / Thz camera with goal of site testing at Concordia by measuring the transmission and stability of the atmosphere. This camera placed on the 0.8m telescope IRAIT will explore the Thz domain in preparation of submillimetre astronomy experiments with larger telescopes at Dome C. Astronomy goals are the study of star formation and the early stages of the universe.*

### 1048 - GLACIOCLIM-KESAACO

**Les glaciers, un observatoire du climat, phase exploratoire pour une composante à Kerguelen**

**FAVIER Vincent**  
Laboratoire de Glaciologie et Géophysique de l'Environnement, Saint Martin d'Hères  
Kerguelen

Ce projet de recherche exploratoire à Kerguelen, a pour but la mise en place et le développement d'un réseau de mesures glaciologiques selon les protocoles du Service d'Observation (SO) Glacioclim. Glacioclim est un observatoire français de recherche sur les glaciers, ayant pour objectif le suivi et l'analyse de la variabilité climatique et de son impact sur les bilans de masse dans les régions englacées du globe. Sur l'archipel de Kerguelen (49°S, 69°E, avec une surface englacée de 552 km<sup>2</sup> en 2001), l'existence d'études paléoclimatiques, océanographiques et météorologiques offre des informations de base importantes pour envisager l'analyse de la variabilité climatique locale. Néanmoins, malgré l'existence de courtes études glaciologiques sur le glacier Ampère de la calotte Cook,

la connaissance de la relation glacier-climat reste limitée, et il est actuellement impossible de déterminer précisément les causes du recul dramatique des glaciers cours des 50 dernières années. Analyser le recul de cette calotte est devenu urgent. Afin d'analyser les processus physiques impliqués, ce projet vise au déploiement et au maintien d'un réseau de bilan de masse et de mesures météorologiques sur et en dehors des glaciers de la calotte Cook. Des mesures topographiques, hydrologiques sont aussi prévues afin de calculer le bilan de masse du glacier à l'aide de méthodes indépendantes. Enfin, nous approfondirons la description des paleostades glaciaires à l'aide d'une nouvelle méthode de datation des moraines par lichenométrie.

*This proposal is the exploratory step for Kerguelen component of the Glacioclim Observatory. Glacioclim is a French observatory to globally detect, monitor and understand climate and mass balance variability in the glacial environment. In the Kerguelen archipelago (49°S, 69°E, with an ice covered area of 552km<sup>2</sup> in 2001), there have been few short term glaciological studies on Ampere Glacier (main glacier of Cook icecap). Paleoclimatic reconstructions over the holocene and long term data from oceanographic and meteorological observatories are also available to get information on the climatic variability during the last 50 years. However, even though these data are essential, a study of the climate-glacier relationship is still necessary to describe the main factors that induced the current dramatic retreat of the Cook icecap. Studying Kerguelen ice caps has become urgent, but is also logistically feasible. The current project plans to deploy and maintain a surface mass balance network, and meteorological instruments on and around the glacier according to Glacioclim protocols. Topographic and hydrological measurements are also planned in order to get data for independent computation of the mass balance. Finally, we will go a step further in the description of the past glacier fluctuation history by dating moraines with a new lichenometric approach.*

### 1050 - CRAC-ICE

**CRAC-ICE**

**LEGRESY Benoît**  
Laboratoire d'Etudes en Géophysique et Océanographie Spatiales, Toulouse  
Terre Adélie

Il s'agit de suivre l'évolution des glaciers Mertz, Ninnis et Cook. Nous nous concentrons dans un premier temps sur le glacier Mertz pour suivre le vêlage de sa langue de glace. Le suivi se fera par dépôt de balises GPS le long de la langue de glace et autour de la crevasse principale qui menace de libérer un iceberg de 70x25 km.

*We intend to follow the evolution of the Mertz, Ninnis and Cook glaciers. We first concentrate on the Mertz glacier to follow its ice tongue calving. The survey will use GPS beacons setup along the ice tongue and around the main rift which might free a 70x25 km iceberg.*

### 1053 - DACOTA

**Dynamique des glaciers côtiers et rôle sur le bilan de masse global de l'Antarctique, zone atelier du glacier de l'Astrolabe**

**LE MEUR Emmanuel**  
Laboratoire de Glaciologie et Géophysique de l'Environnement, Saint Martin d'Hères  
Terre Adélie

Dans la continuation des trois premières années de DACOTA le programme de recherche proposé vise à pérenniser et étoffer l'ensemble des mesures sur le glacier test de l'Astrolabe (Terre Adélie). Ce panel d'observations permet non seulement une bonne caractérisation de la dynamique de ce glacier (rôle majeur des glaciers côtiers sur le bilan de masse d'une grande partie de la calotte) mais s'avère aussi indispensable pour entreprendre et valider un ambitieux travail de modélisation numérique afin de prédire l'évolution future de ces glaciers et son impact sur le niveau des mers.

*As an extension to the first three years of DACOTA, the proposed program aims at a perennial and extended survey of the test zone of Glacier de l'Astrolabe (Terre Adélie). Not only such a panel of observations allows for a better characterization of the glacier dynamics (the role of these outlet glaciers on the the overall mass balance of large parts of the ice sheet is crucial) but it also proves necessary for properly running and validating an ice flow model in order to produce realistic forecasts of the future of these glaciers and the consequences on sea level.*



## 1061 - MAKER

Variabilité du courant circumpolaire Antarctique dans la région de Kerguelen

PARK Young-Hyang

Département Milieux et Peuplements  
Aquatiques, LOCEAN, UMR 7159, Paris  
Kerguelen, La Curieuse

Le plateau de Kerguelen est le plus grand plateau sous-marin de l'océan Austral. Il constitue une barrière topographique majeure sur la route du Courant Circumpolaire Antarctique (CCA) qui circule vers l'Est. Dans le contexte du changement climatique, le suivi des variations de la position et de l'intensité du CCA et de la circulation verticale méridienne associée (Meridional Overturning Circulation, MOC) figure parmi les objectifs clés de la communauté océanographique étudiant l'océan Austral. Localisée à proximité de la zone de forte activité tourbillonnaire située au nord du plateau et associée au puissant Front Subantarctique, et enserrée à l'est de l'archipel par une branche étroite et rapide du Front Polaire, la région à l'est des Iles Kerguelen est un site idéal pour mener un suivi systématique du CCA et des tourbillons associés. Les objectifs principaux du présent projet sont

1. de suivre la variabilité spatiale et temporelle de la structure verticale du Front Polaire
2. d'estimer les diffusivités verticales et horizontales des tourbillons de la région, qui sont des paramètres essentiels pour déterminer la structure et la force de la circulation verticale méridienne de l'océan Austral (MOC).

Pour cela nous proposons non pas d'effectuer des CTD classiques en station le long des sections d'étude, mais d'utiliser des XCTD (CTD jetables) pour réaliser les profils verticaux, ce qui constitue une méthode économique, rapide et sûre pour conduire des opérations à partir d'un petit navire comme *La Curieuse* (les mesures étant réalisées en route et sans la mise à l'eau d'une CTD).

*The Kerguelen Plateau is the largest near meridional submarine plateau in the Southern Ocean (SO) and constitutes a major topographic barrier for the eastward flowing Antarctic Circumpolar Current (ACC). Under the changing climate of the earth, identification and monitoring of the changes in location and intensity of the ACC and associated MOC (meridional overturning circulation) are among the key objectives of the SO oceanographic community. Located close to the high eddy activity associated with the powerful Subantarctic Front north of the plateau and hugged east of the islands by a swift and narrow branch of the Polar Front (PF), the area east of the Kerguelen Islands provides with an ideal place to conduct systematic observations of the ACC and associated eddies. The main objectives of the present project are thus to*

1. monitor the time and space variability of the vertical structure of the PF
2. estimate the vertical and horizontal eddy diffusivities of the area, which are climatologically critical parameters for determining the structure and strength of the SOMOC.

*A cost-effective and safe on board operation is proposed using XCTD (expandable conductivity-temperature- depth) castings from the *La Curieuse*, a near-coast operating small boat at the Kerguelen Islands.*

## 1065 - PaLaTIO

A Palaeoclimate Latitudinal Transect in the Indian Ocean

MICHEL Elisabeth

Laboratoire des sciences du climat et de l'Environnement, Gif Sur Yvette  
Kerguelen, Amsterdam

Il a été proposé que les événements climatiques d'échelle centennale à millénaire qui se sont produits depuis le dernier maximum glaciaire soient le produit de changements de la circulation océanique et des changements du transport de chaleur qui en résulte, ou de réorganisation rapide de la circulation atmosphérique. Par ce projet nous voulons reconstruire les changements climatiques du secteur indien de l'océan austral avec une échelle de temps précise, l'océan austral étant le lieu de connection de l'océan profond avec l'atmosphère. Pour cela, nous voulons prélever et étudier avec une approche pluri-disciplinaire les séquences de tourbe aux îles Kerguelen et Amsterdam et les combiner, grâce à une échelle de temps tephrostratigraphique commune, aux enregistrements océaniques haute résolution pour produire des enregistrements robustes des paramètres climatiques.

*In the Southern Ocean (SO) – a key player in global oceanic and atmospheric circulation - intermediate and bottom waters form, and wind driven upwelling connects the deeper ocean with the atmosphere. The centennial to millennial scale climate changes that occurred since the last glacial maximum (LGM) may have been the result of ocean circulation changes, with associated modification of ocean heat transport, and/or of rapid atmospheric circulation changes. We aim to document the climate history and circulation changes during the Last termination and the Holocene, along a latitudinal transect in the Indian Ocean sector of the SO. Well-dated terrestrial records from Iles Kerguelen and Ile Amsterdam will be combined with marine high resolution records from the south Indian Ocean. A precise time scale will be created for these multi-proxy records, using volcanic events and <sup>14</sup>C dating in order to construct a common marine-terrestrial chronology. The integration of terrestrial multi-proxy records and marine records will result in qualitative as well as quantitative reconstructions of environmental and climatic parameters, such as temperature, precipitation and wind intensity, as well as oceanic and atmospheric circulation changes.*



## 1066 - ASTEP

A la Recherche d'Exoplanètes en Transit depuis l'Antarctique

GUILLOT Tristan

Observatoire de la Côte d'Azur, Nice  
Concordia

ASTEP est un programme d'astronomie conçu pour observer en photométrie le ciel du Dôme C. Ses objectifs sont

1. de déterminer précisément la qualité photométrique du site de Concordia;
2. de découvrir et caractériser les exoplanètes en transit devant leur étoile;
3. de préparer des campagnes massives de caractérisation des super-Terres. L'installation et les premières observations avec ASTEP 400 débuteront en 2010-2011.

ASTEP permettra l'observation précise de cibles d'opportunité (exoplanètes en transit, microlentilles...etc.) dans l'hémisphère Sud durant les hivers antarctiques, jusque 2014. Il sera possible de combiner utilement ces observations avec celles d'autres instruments sur le site (par ex. IRAIT).

*ASTEP is an astronomy programme designed to monitor photometrically the Dome C sky. Its aims are*

1. to assess precisely the photometric quality of the Concordia site
2. to discover and characterize exoplanets transiting in front of their stars
3. to prepare future ambitious campaigns for the characterization of super-Earths. Installation and first observations with ASTEP 400 will start in 2010-2011.

*ASTEP will allow precise photometric observations of target of opportunities (transiting exoplanets, microlenses...etc.) in the South hemisphere during antarctic winters until 2014. It will be possible to usefully combine the observations with those of other instruments on the site (e.g. IRAIT).*

### 1077 - TALISKER

Transferts dans la Lithosphère de Kerguelen; géologie, géochimie des roches, géochimie des fluides.

**GUILLAUME Damien**

Géosciences Environnement - UMR 5563 GET, Toulouse  
Kerguelen

TALISKER s'attachera à caractériser les circulations de fluides affectant la lithosphère de Kerguelen à différents niveaux structuraux, depuis le manteau supérieur jusqu'à la surface et à leur migration vers l'océan austral. Trois axes seront suivis :  
- caractérisation des paléo-fluides ayant circulé dans les roches du manteau ou associés aux mises en places de roches plutoniques, - caractérisation des systèmes hydrothermaux actifs et des interactions roches-fluides-biosphère, et - quantification des flux d'éléments chimiques du continent vers l'océan côtier.

*TALISKER will focus on the characterization of fluid circulations across the lithosphere of Kerguelen, from the upper mantle to the surface and their migrations to the Southern Ocean. The three approaches are - characterization of the fluid paleocirculations within mantle rocks or associated to the emplacement of plutonic rocks, - characterization of the present-days hydrothermal discharges and the fluid-rock-biosphere interactions, - quantification of the chemical fluxes from land to the ocean.*

---

### 1096 - PAIX

Photometer Antarctic eXtinction

**CHADID Merieme**

Université de Nice, Observatoire Côte d'Azur, CNRS, Nice  
Concordia

Notre demande vise à faire changer le statut du photomètre PAIX, qui était dans le programme Astro-Concordia (caractérisation du site de Dôme C), pour le faire passer dans un statut nouveau purement astrophysique. Le photomètre PAIX utilise au maximum les potentialités du Dôme C, en suivant, en continu sur 150 "jours", la courbe de lumière d'étoiles pulsantes, permettant d'atteindre une résolution en fréquence que seuls deux satellites sont capable d'atteindre: CoRoT et Kepler. PAIX nous a déjà permis plusieurs publications de rang A.

*Our proposal aims are focussed on to modify the current PAIX photometer status from Astro-Concordia program (Site characterization) to a new and purely astrophysical status. PAIX photometer takes benefit from the most striking Dome C properties where long and continuous time-series observations are possible during 150 "days", allowing unprecedented frequency resolution which have been only attained by space mission such as CoRoT or Kepler. Several rank A publications have been issued thanks to PAIX.*

### 1098 - SAWfPHY-Concordia

Innovative measurements of water vapour in the boundary layer at Concordia

**HERTZOG Albert**

Laboratoire de météorologie dynamique, Palaiseau  
Concordia

Le programme SAWfPHY-Concordia vise à effectuer des mesures innovantes d'humidité atmosphérique à la station polaire Concordia pendant l'hiver. Ces mesures utiliseront le nouvel hygromètre à ondes acoustiques de surface, nommé SAWfPHY, actuellement développé au LMD dans le cadre du projet ballon Stratéole Phase 2. Les mesures effectuées à Concordia permettront d'une part de tester les nouvelles évolutions de l'hygromètre dans des conditions proches des conditions stratosphériques, et seront d'autre part utilisées pour caractériser l'humidité de surface sur le plateau Antarctique, ainsi que les gradients d'humidité dans la couche limite polaire.

*The SAWfPHY-Concordia project is aimed at making new measurements of atmospheric moisture at the Concordia polar station during winter. These measurements will use the new surface acoustic wave SAWfPHY hygrometer, currently developed at LMD in the frame of the Stratéole Phase 2 balloon project. The observations collected at Concordia will serve on the one hand to validate the recent developments of the hygrometer in conditions close to those encountered in the stratosphere, and will be used on the other hand to characterize surface moisture on the Antarctic Plateau, as well as humidity gradient in the polar boundary layer.*



### 1110 - NIVOLOGIE

Snow properties evolution in a changing climate in Antarctica

**PICARD Ghislain**

Laboratoire de Glaciologie et Géophysique de l'Environnement, Saint Martin d'Hères  
Concordia

Les interactions entre la neige présente à la surface et l'atmosphère sont très fortes et sont responsables de boucles de rétroaction importantes du système climatique, particulièrement dans les régions enneigées comme en Antarctique. Le projet NIVO a pour objectif de mieux quantifier ces interactions et d'améliorer leur prévision par les modèles d'évolution de la neige. Pour cela, le projet va mettre en œuvre des instruments automatiques et conduire des mesures manuelles permettant de suivre l'évolution des propriétés physiques la neige aux stations Concordia et Cap Prudhomme en Antarctique de l'Est. Ces observations liées à la thermique, le bilan radiatif ou l'état de surface, permettront de mieux comprendre l'évolution du manteau neigeux, de calibrer les observations réalisées par les satellites et de valider les modèles d'évolution de la neige pour in fine proposer des améliorations. Sur le terrain, NIVO propose de déployer et calibrer des nouveaux instruments développés dans le cadre de l'ANR "MONItoring SNOW in a changing climate" (spectre de propriétés optiques de la neige, profile de taille de grain, ...). Il reprend aussi la gestion d'instruments opérationnels depuis plusieurs années à Concordia (température de la neige, photographie de surface,...), et contribuera à la caractérisation des variations spatiales de la neige autour des stations ou sur des traverses pour comprendre la représentativité des mesures d'évolution ponctuelles acquises par les instruments.

*The interactions between the snow on the surface and the atmosphere are very strong and are responsible for important feedback loops in the climate system, especially in snow-cover areas like in Antarctica. NIVO project aims to better quantify these interactions and improve their prediction by physically-based snow evolution models. For this, the project will implement automated instruments and conduct manual measurements to monitor the evolution of snow physical properties at Concordia and Cap Prudhomme stations in East Antarctica. These observations related to thermal variables, the radiation balance or the surface state, will allow to better understand the evolution of the snowpack, to calibrate the observations acquired by satellites and validate snow evolution models to, in fine, suggest improvements. In the field, NIVO will deploy and calibrate new instruments developed in the framework of the ANR "MONItoring SNOW in a changing climate" (spectrum of snow optical properties, snow grain size profile, ...). It will also manage the instruments in operation for several years at Concordia (snow temperature, surface photography ...), and will contribute to the characterization of the spatial variations around the stations and on traverse to understand the representativeness of point measurements provided by the instruments..*

## 1115 - CHICTABA

analyses CHIMICO-physiques de la neige et du névé pour l'évaluation de l'accumulation en Terre Adélie et dans le Bassin Aurora nord

MAGAND Olivier

Laboratoire de Glaciologie et Géophysique de l'Environnement, Saint Martin d'Hères  
Terre Adélie

Sous l'impulsion de l'Australian Antarctic Division (AAD), et en collaboration étroite avec le Danemark, les Etats-Unis et la France, un nouveau projet de forage intermédiaire (400 m) est planifié dans le bassin nord de l'Aurora (Antarctique de l'Est) de novembre 2013 à mars 2014. Ce site, correspondant à l'ancienne localisation de la station météorologique AWS GC41 (71°36'10, 111°15'46), et localisé à 1250 km de DDU, 600 km de Casey et 550 km de DMC, est idéal pour collecter une carotte de glace recouvrant près de 2000 ans d'enregistrements climatiques avec une résolution quasi-annuelle (taux annuel d'accumulation de neige estimé à 10 cm d'eau par an). Ces nouvelles données doivent permettre d'augmenter notre connaissance actuel et passé du fonctionnement climatique régional et hémisphérique, et par là-même, d'accroître notre capacité de reconstruction du climat Antarctique. Les intérêts premiers du forage coté français (coordonné par Jérôme Chappellaz, LGGE) porte sur la connaissance du cycle de l'eau (triple isotopie de l'oxygène, LSCE), l'étude du monoxyde de carbone (LGGE), la reconstruction du forçage solaire (étude du béryllium-10, CEREGE) et volcanique (isotopes du sulfate, LGGE). La contribution de la France passe par le raid logistique de l'IPEV pré-établissant une piste pour les avions affrétés par l'AAD. Outre l'accès au forage, ce projet international collaboratif donne ainsi l'opportunité à la part ITASE-France de poursuivre ses activités scientifiques dans des secteurs jusque-là très peu étudiés. Les objectifs scientifiques de la partie "traverse" du projet concernent les travaux initiés lors de la traverse VANISH, à savoir : la poursuite de l'estimation du changement d'épaisseur passé (50-100 dernières années) et actuel dans les régions centrales d'Antarctique de l'Est et une meilleure interprétation des archives glaciaires. Ainsi, il est prévu le relevé de données radar à neige de surface, le prélèvement de carottes de névé (faible profondeur) et la réalisation de puits (prélèvement de neige). Nous prévoyons la mise en oeuvre de ces mesures avec les caravanes du raid lors de la traverse entre CP et le site de forage ABN (en passant par la station D85) lors de la phase aller; et entre ABN et DMC pour la phase retour. Des actions scientifiques sont également prévus sur le site même d'ABN, en collaboration avec les Australiens, dont notamment la conduite par les partenaires français d'un second forage (200 m) fournissant la matière première nécessaire à l'étude des isotopes du sulfate.

Initiated by the Australian Antarctic Division (AAD), and in close collaboration with Denmark, USA and France, a new project of intermediate ice core drilling (400 m) is planned in the Aurora Basin North (ABN, East Antarctica) from November, 2013 till March, 2014. The site is located at the former AWS meteorological station GC41 (71°36'10, 111°15'46). It is located 1250 km from DDU, 600 km from Casey and 550 km from DMC. It appears ideal to collect an ice core covering about 2000 years of climatic recordings with a quasi-annual resolution (annual accumulation rate estimated at 10 cm of water). These new data will improve our knowledge of the regional and hemispherical climatic functioning, and thus our ability of reconstruction of the recent past and current Antarctic climate. The main French scientific interest in the new ice core (coordinated by Jérôme Chappellaz, LGGE) is related with better understanding the water cycle (triple isotopic composition of oxygen, LSCE), carbon monoxide studies (LGGE), and solar (through 10-Beryllium, CEREGE) and volcanic (sulfate isotopes, LGGE) forcing histories. The French logistical contribution relies on the IPEV logistic traverse, which will establish a runway for planes chartered by the AAD at ABN. In addition to providing access to the ice core, this collaborative international project thus gives the opportunity for ITASE-France to pursue its scientific activities in sectors up to there poorly studied. The main scientific objectives of the "traverse" part of the project are to extend the work introduced during the recent VANISH scientific traverse, namely: estimating past and current ice sheet thickness changes (last 50-100 years) in the central regions of east Antarctica, and better interpreting the glacial archives. Snow Ground Penetrating Radar measurements, firn / ice cores collecting, snow surface sampling are the main field activities planned within the framework of the scientific traverse in this new program. We plan to implement the traverse scientific programme from Cap Prud'Homme (CP) to the ABN drilling site (through the D85 station) during the way-in, and from ABN to DMC on the way-out. Scientific activities are also planned at ABN, in association with the Australians, notably a second ice core drilling (200 m) handled by the French team and providing the raw ice material for sulfate isotope studies.

## 1119 - SUBGLACIOR

in-Situ probing of GLACIER Ice for a better understanding of the Orbital Response of climate

CHAPPELLAZ Jérôme

Laboratoire de Glaciologie et Géophysique de l'Environnement, Saint Martin d'Hères  
Concordia

Le projet IPEV SUBGLACIOR est le pendant "logistique terrain" des projets suivants déjà financés scientifiquement :

1. le projet européen ERC Advanced Grant ICE&LASERS 2012-2017 (porteur J. Chappellaz),
2. le projet ANR "Blanc" SUBGLACIOR 2012-2016 (porteur O. Alemany),
3. le soutien en mécénat de la Fondation BNP Paribas SUBGLACIOR 2011-2013, (porteur J. Chappellaz)
4. un des volets techniques du projet Equipex CLIMCOR (porteur D.D. Rousseau, INSU/C2FN).

Ces projets (ou volet) conjoints visent à construire une sonde révolutionnaire qui mesurera en fonction de la profondeur au sein même du glacier et en temps réel la composition isotopique de l'eau (signal climatique) et la concentration en gaz à effet de serre (méthane, voire gaz carbonique - sous réserve de maîtriser les effets de solubilité -), le tout sans ramener de carottes de glace à la surface. A terme, la sonde permettra de valider rapidement le choix d'un site antarctique pour une nouvelle opération de forage international type EPICA pour étudier le lien climat / gaz à effet de serre lors de la transition climatique du milieu du Pléistocène, il y a un million d'années. De plus la sonde obtiendra - en une seule saison de terrain - les premiers enregistrements essentiels sur cette période de temps. Le projet IPEV SUBGLACIOR consiste dans un premier temps à tester à Concordia en 2013-2014 et 2014-2015 des choix techniques relatifs à certains éléments de la sonde au coeur des quatre projets sus-cités. L'année 2015-2016 est ensuite dédiée à l'implémentation de la sonde à Concordia même pour mesures sur toute l'épaisseur du glacier, jusqu'à 3260 m de profondeur, et valider la méthode par rapport au forage EPICA déjà réalisé et analysé. La dernière année 2016-2017 visera à implémenter la sonde sur un site du plateau antarctique accessible depuis Concordia et pré-sélectionné par le comité "oldest ice" de l'International Partnerships in Ice Core Sciences (IPICS).



The IPEV SUBGLACIOR project makes the logistical counterpart of the following scientific projects already funded :

1. the European ERC Advanced grant project ICE&LASERS 2012-2017 (coordinator : J. Chappellaz),
2. the French ANR "Blanc" project SUBGLACIOR 2012-2016 (coordinator : O. Alemany),
3. the sponsoring of the BNP Paribas foundation SUBGLACIOR 2011-2013, (coordinator : J. Chappellaz),
4. one of the components of the Equipex project CLIMCOR (coordinator : D.D. Rousseau, INSU/C2FN).

These joint projects (or component) aim at building a revolutionary probe to measure as a function of depth, inside the glacier and in real time, the water isotopic composition (climatic signal) and the concentration of greenhouse gases (methane, and eventually carbon dioxide - provided that we handle solubility effects -), without bringing an ice core at the surface. Ultimately, the probe will allow us to rapidly test the pertinence of an Antarctic site for a new deep drilling operation, similar to EPICA, to study the link between climate and greenhouse gases through the main climatic transition of the mid-Pleistocene one million years ago. In addition, the probe will already obtain - within a single field season - the first and most important signals over this period of time. The IPEV SUBGLACIOR project will include in a first step two test campaigns in 2013-2014 and 2014-2015, to evaluate some technical choices currently envisaged for specific components of this probe. In 2015-2016, the full probe will be implemented at Concordia to measure the depth profile of water isotopes and greenhouse gas down to 3260 m of depth, and thus to validate the method against the results already obtained with the EPICA Dome C deep drilling. The last year of the project, 2016-2017, will be dedicated to the implementation of the SUBGLACIOR probe at a site of the East Antarctic plateau which can easily be reached from Concordia. The site will have been pre-selected by the "oldest ice" committee of the International Partnerships in Ice Core Sciences (IPICS).

## 1120 - MICROMETEORITES

### Micrométéorites à Concordia

DUPRAT Jean

CSNSM-IN2P3 Université Paris Sud, Orsay  
Concordia

Le but scientifique du projet proposé est une meilleure compréhension de la naissance du système solaire et de son évolution primitive durant les quelques dizaines de millions d'années qui ont suivi l'effondrement gravitationnel de notre protoétoile. Une large partie des contraintes que nous possédons sur cette époque reculée repose sur l'analyse chimique et isotopique des petits corps non-différenciés : les astéroïdes et les comètes. Le but de ce projet est de rechercher des poussières interplanétaires (des micrométéorites) dans les couches de surface à proximité de la station Concordia. Lors de notre dernière campagne de collecte nous avons découvert un nouveau type de matériaux interplanétaires : les micrométéorites antarctiques ultra-carbonées (UCAMMs) ayant très probablement une origine cométaire (Duprat et al. Science 2010) . Ces particules sont très rares et Dôme C présente des avantages uniques pour leur collecte. Nous proposons un programme sur quatre ans pour réunir une collection de plus de 10 000 micrométéorites comprenant plusieurs dizaines d'UCAMMs. Le programme d'analyse de ces particules exceptionnelles se fera dans le cadre d'un projet ANR dont le financement vient de commencer.

The general framework of the present project is the astrophysical context of the solar system formation and its evolution during the first millions of years after the gravitational collapse of the proto-Sun. Most of the constraints we have on this remote period are coming from the study of solar system small bodies (i.e. asteroids, comets) that are undifferentiated. The aim is collect micrometeorites (i.e. interplanetary dust particles) from central Antarctic snow at the vicinity of Concordia Station. The major result of our previous collection program at Dome C (January 2006) was the discovery of a new type of interplanetary dust (i.e. ultracarbonaceous micrometeorites, UCAMMs) of most probable cometary origin (Duprat et al. Science 2010). These particles are very rare and Dome C has unique advantages for their recovery. We propose a four years program in order to perform a collection of more than 10 000 micrometeorites including several tens of UCAMMs. The mineralogical, chemical and isotopical study of these exceptional particles will be performed in the framework of a research contract that we recently obtained from the french "Agence Nationale de la Recherche" (ANR).



## 109 - ORNITHOECO

Oiseaux et mammifères marins sentinelles des changements globaux dans l'océan austral

**WEIMERSKIRCH Henri**  
Centre d'Études Biologiques de Chizé  
Terre Adélie, Crozet, Kerguelen,  
Amsterdam-Saint-Paul

Le programme utilise les oiseaux et mammifères marins comme indicateurs des changements globaux qui affectent les écosystèmes de l'océan Austral. A travers un réseau de quatre observatoires allant de l'Antarctique au milieu subtropical les populations de 25 espèces de prédateurs supérieurs sont suivies depuis 50 ans. Les informations individuelles à long terme sont utilisées pour comprendre les processus par lesquels le climat affecte les écosystèmes marins et pour faire des prédictions sur les futurs effets des changements climatiques. Le programme intègre également l'effet des pêcheries afin de proposer des mesures de conservation.

*The program uses seabirds and marine mammals as indicators of global changes in the marine ecosystems of the southern ocean. Through a network of four observatories the populations of 25 species of the marine top predators and their distribution at sea are monitored since 50 years. These individually based long term information are used to understand the processes through which climate affect marine ecosystems, and to make predictions on the future changes in these ecosystems, as well as to propose conservation measures to limit the impact of fisheries on some populations.*

## 119 - ECONERGIE

Adaptations énergétiques aux contraintes nutritionnelles et environnementales chez le manchot royal

**ROBIN Jean-Patrice**  
Département d'Écologie, Physiologie et Ethologie, Strasbourg  
Crozet

Le programme 2008-2011 a pour objectifs de comprendre les adaptations énergétiques mises en œuvre à terre par le manchot royal pour faire face aux contraintes nutritionnelles et environnementales rencontrées au cours de son cycle annuel. Les travaux seront réalisés à la fois chez l'adulte en reproduction et chez le poussin au cours de ses différentes phases de croissance. Dans ce dernier cas, nous rechercherons également comment les adaptations énergétiques sont liées au développement musculaire et squelettique.

*The 2008-2011 programme aims at understanding how while a shore the king penguin adapts energetically to the nutritional and environmental constraints it has to face through the annual cycle. Studies will be performed both on adults throughout breeding and on chicks throughout growth. In the latter, how energy adaptations are related to muscular and skeletal development will be moreover determined.*

## 131 - PHYSIONERGIE

Energetic challenges in penguins : Physiological, Bioenergetics and Molecular Adjustments

**ROUSSEL Damien**  
Université Claude Bernard, Laboratoire d'Écologie des Hydrosystèmes Naturels et Anthropisés, CNRS, UMR 5023 , Lyon  
Crozet

Notre programme de recherche PHYSIONERGY cherche à décrypter les mécanismes moléculaires et cellulaires impliqués dans les ajustements physiologiques et énergétiques développés par les manchots royaux et Adéliés (poussins, juvéniles, adultes) pour surmonter les défis énergétiques associés à leur biologie si particulière. Une croissance rapide ou un jeûne prolongé dans un environnement froid; un jeûne total pendant la mue; le passage de la vie terrestre à la vie marine et le maintien d'un signal visuel honnête constituent en effet des coûts et des contraintes énergétiques majeures pour un endotherme.

*Our research program PHYSIONERGY is devoted to the study of the physiological, bioenergetics and molecular adjustments that sub-Antarctic and Antarctic penguin chicks and juveniles (*Aptenodytes patagonicus* and *Pygoscelis adeliae*) develop to overcome energetic challenges imposed by their ashore and sea living stages. These challenges are characterized by short growth period in cold environment, long-term fast during winter or moulting, the passage from shore to marine life to reach nutritional emancipation, the production of visual cues as an indicator to partners of individuals «quality» on vital aspects of organismic function. Penguin is an extraordinary model to study on the same specie several bioenergetics trade-off between expansive energy consuming processes (endurance, thermoregulation, protein synthesis, ornamental colors) and limited environmental resources (oxygen during dives, nutriment while fasting during winter or molt, carotenoids).*



## 136 - SUBANTECO

Changements climatiques, actions anthropiques et biodiversité des écosystèmes terrestres subantarctiques

**RENAULT David**  
Université de Rennes 1, Observatoire de Rennes OSUR, CNRS, UMR 6553  
ECOBIO, Rennes  
Crozet, Kerguelen

Au niveau de la ceinture latitudinale entre 45 et 54 ° S, l'océan Austral comporte un certain nombre d'îles, presque toutes d'origine volcanique. Ces îles subantarctiques, géographiquement isolées des continents, se caractérisent par la présence d'une faible biodiversité de plantes et d'invertébrés, dont la redondance fonctionnelle apparaît très réduite voire absente dans le cas de certains taxons et/ou groupes trophiques. Dans ce projet, nous proposons de poursuivre nos recherches portant sur la biodiversité terrestre (faune et flore) dans les îles subantarctiques françaises, en prenant également en compte les facteurs environnementaux qui régissent la répartition géographique des espèces animales et végétales. Nous étudierons les compromis existant entre les différents traits biologiques lors d'épisodes de dispersion chez les organismes invertébrés, avec une attention particulière sur l'allocation des besoins vers les traits liés à la reproduction versus ceux liés à la dispersion. Enfin, sur la base de nos travaux précédents, nous poursuivrons les recherches portant sur les interactions entre les espèces natives et introduites et sur les effets des changements climatiques sur les espèces natives des îles subantarctiques.

*Within the latitudinal belt 45-54°S, the Southern Ocean contains a number of dots of land, almost all of which are volcanic in origin. These subantarctic islands are remote, and host low plant and invertebrate diversities. These fascinating islands are characterized by impoverished terrestrial ecosystems with highly reduced or absent functional redundancy. In the present project, we propose to continue our comprehensive study of the terrestrial biodiversity (fauna and flora) in the French subantarctic islands and the environmental factors shaping the geographical repartition of the species. The dispersal-related trade-offs in invertebrate species and the cost-driven trade-off between reproduction and dispersion in invertebrate species will be considered. In addition, based on our previous work, we will address the interactions between alien and native species and study the effects of climate change on the original subantarctic biotas.*

### 137 - ECOPHY

Stratégie alimentaire et mécanismes d'adaptation comportementale et physiologique des manchots face à la variabilité climatique: leurs limites et son impact sur la dynamique des populations

LE MAHO Yvon

Département Interactions Physique, Chimie et Vivant, Strasbourg Terre Adélie, Crozet

Notre objectif est de connaître les limites de la capacité d'adaptation des manchots aux changements climatiques saisonniers et interannuels et à leurs conséquences sur l'abondance et la localisation des ressources marines dont ils dépendent. Pour cela, nous abordons l'étude sous l'angle de la dynamique des populations en suivant par identification automatique de nombreux individus dont l'histoire est parfaitement connue. A cette approche qui nous affranchit du biais des bagues et nous permet d'avoir des animaux témoins non perturbés, sont superposées deux études, à terre et en mer. Dans la colonie, nous chercherons à comprendre par quels mécanismes comportementaux et physiologiques les manchots économisent leurs réserves corporelles pour assurer le succès de leur reproduction et par quels mécanismes est assurée leur survie lorsque ces réserves sont en voie d'épuisement. En mer, grâce au biologging, nous voulons déterminer les performances alimentaires des oiseaux en fonction de leur expérience et de leur qualité physique (immunocompétence et condition corporelle).

We want to determine the extent to which penguins are able to cope with seasonal and interannual climatic changes and their consequences on the localization and abundance of their marine resources. We thus investigate their population dynamics by automatically tracking many individuals whose history is known. To this approach, which therefore enable us to avoid the bias of flipper banding and as well have control birds which are undisturbed, will be superimposed two studies, ashore in the breeding colony and at sea. In the colony, we aim to understand those behavioural and physiological processes which enable the birds to minimize body fuel utilization while fasting in order to succeed in breeding but still ensure their survival once those fuels are depleted. At sea, with biologging, we want to determine the feeding performance of the birds in relation to their individual experience and fitness, i.e. immunocompetence and body condition.

### 279 - POPCHAT

Déterminants biotiques et abiotiques de la dynamique des populations de chats de la Grande Terre de l'archipel des Kerguelen

PONTIER Dominique

Université Claude Bernard Lyon 1, Villeurbanne

Kerguelen

L'objectif est de comprendre les différents aspects de l'intégration du chat dans l'écosystème de la Grande Terre. Ceci comprend l'étude des facteurs biotiques (e.g. proies) et abiotiques (climat) fondamentaux qui conditionnent la dynamique des ses populations (densité-dépendance des paramètres démographiques, synchronie entre sites, variabilité du système d'appariement ...), les conséquences de cette variabilité sur la distribution spatiale et temporelle de la diversité génétique, mais aussi l'influence de la prédation du chat sur la dynamique des espèces d'oiseaux marins, en combinant des approches empiriques et théoriques.

The objective is to understand various aspects concerning the integration of cats into the ecosystem of Grande Terre. This includes the study of biotic (e.g., prey) and abiotic (e.g., climate) factors that influence cat population dynamics (e.g., densitydependence of demographic parameters, synchronicity between sites, and variability in their reproductive system), their consequences on the spatial and temporal distribution of genetic diversity, and the consequences of cat predation for the dynamics of seabird species. We combine empirical and theoretical approaches.

### 354 - ETHOTAAF

Ecologie comportementale des oiseaux marins subantarctiques

BONADONNA Francesco  
Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive - Groupe d'Ecologie Comportementale, Montpellier Crozet, Kerguelen

Interactions between individuals and between organisms and environment pass through cues and clues that modify the behaviour of the receiver. Animals broadcast a wide range of information through calling, colour displays, postures, and odours. In the environment colours, odours, magnetic cues may indicate a source of food, or a direction during a displacement. Our project focalises on signals:

1. Olfactory cues (function in individual recognition, mate choice, and orientation in petrels, and albatrosses; function in orientation in penguins).
2. Visual cues (function in mate choice and orientation in penguins).
3. Acoustic cues (function in mate choice in petrels and orientation in penguins).

### 394 - OISEAUX PLONGEURS

Stratégie énergétique des oiseaux plongeurs et variabilité physique et trophique de l'océan Austral

BOST Charles-André  
Centre d'Etudes Biologiques de Chizé Crozet, Kerguelen

Stratégies énergétiques en mer de prédateurs s'alimentant par plongée (manchots, cormorans, pétrels) et jouant un rôle majeur dans les réseaux trophiques de l'océan Austral. Etude écophysologique dans les trois dimensions de l'océan par suivi télémétrique, ceci selon les caractéristiques physiques et biotiques. Quantification énergétique des déplacements alimentaires (étude écophysologique de la plongée). Etude du potentiel bio-indicateur des prédateurs plongeurs vis à vis des conséquences biologiques de la variabilité climatique.

The objectives is to study how some diving predators may be used to assess the effects of the climatic variability at short and long term, on the pelagic food webs of the Southern Indian Ocean. Based on the use of state of the art data loggers, the programme will be focused on the atsea ecology and energetic of key diving pulmonary predators (penguins, cormorans, diving petrels), studied in three localities (Crozet and Kerguelen: Polar Frontal Zone) and Adélie Land (Antarctic).



#### 409 - IMMUNOTOXKER

Aquatic ecotoxicology and immunotoxicology of aquatic organisms in Kerguelen Islands

BETOULLE Stéphane

Université de Reims - Interactions  
Animal-Environnement, Reims  
Kerguelen

Les milieux aquatiques des îles Kerguelen constituent un laboratoire naturel pour l'étude des effets éco-toxicologiques liés au Changement Global. Dans ce contexte, notre objectif est :

- de mieux comprendre la sensibilité d'espèces modèles (*mytilidae/salmonidae*) et leur vulnérabilité vis-à-vis d'agents stressants ciblés, par une approche associant observation de terrain et experimentation ;
- de fournir à la communauté scientifique et aux gestionnaires de l'environnement une boîte à outils pour évaluer les effets biologiques sur la vie marine et en eau douce de l'action combinée des principaux agents stressants anthropogéniques des environnements aquatiques, la pollution et les changements climatiques.

Le projet sera focalisé sur le continuum eau douce / environnement marin.

*Subantarctic hydrosystems of kerguelen Islands constitute a natural field laboratory to study the eco-toxicological effects related to global change. In this context, our objective is :*

- *to better understand the sensitivity of model species (*mytilidae/salmonidae*), and their vulnerability to targeted stressors by an approach combining observation and experimentation;*
- *to provide to the scientific community and environmental managers a toolkit for assessing biological effects on marine and freshwater life of the combined action of the main anthropogenic stressors of aquatic environments, pollution and climatic changes.*

*The project will focus on the continuum freshwater to marine environment.*

---

#### 1014 - CETA

Cetacean distribution off Adélie Land

CHARRASSIN Jean-Benoît  
Muséum National d'Histoire Naturelle,  
LOCEAN - UMR 7159, Paris  
Terre Adélie sur l'Astrolabe

*This project aims at documenting background information on summer presence and relative abundance of cetaceans over the continental shelf off Terre Adélie, Eastern Antarctica. It will constitute one of the rare French contribution to the ongoing assessment of large whales of the Southern Ocean conducted by the International Whaling Commission, as well as to the Regional Non-Lethal Whale Research Partnerships in the Southern Ocean recently proposed by Australia. Two observers will survey relative abundances of minke, fin, humpback, blue, right and killer whales from onboard R/V l'Astrolabe used as a platform of opportunity. Field work will be conducted during existing oceanographic surveys (ICO2TA, ALBION) conducted annually in January off Dumont D'Urville. Cetacean distribution will be related to the distribution of biotic (zooplankton) and abiotic (hydrographic parameters, sea ice condition and physiography) collected during the cruises. When possible, photo ID and biopsies samples of humpback and blue whales will be collected and compared to existing catalogues from the breeding grounds in order to assess the migratory connection between breeding grounds and feeding areas. After two years we will assess the outcome of the study to decide whether it is worth conducting whale research at this location on a longer term and possibly on a larger scale.*

---

#### 1037 - HEnergES

Bénéfices énergétiques de l'agrégation des éléphants de mer austraux au cours de leur mue

GILBERT Caroline

EnvA - Ecole nationale Vétérinaire d'Alfort,  
Maisons-Alfort  
Kerguelen

Comme beaucoup d'autres oiseaux ou mammifères marins, les éléphants de mer austraux (*Mirounga leonina*) sont confrontés à des périodes contrastées en terme de balance énergétique. Ils alternent en effet des périodes de recherche alimentaire en mer, pendant lesquelles ils restaurent leurs réserves énergétiques, avec des périodes de jeûne à terre, sur la colonie où ils viennent se reproduire ou muer. Lors de la mue, une phase coûteuse en énergie, les éléphants de mer sont observés en groupes, les individus étant plus ou moins agrégés densément selon les conditions climatiques locales. Le comportement de thermorégulation sociale est une stratégie d'économie d'énergie largement utilisée dans le monde animal, par les oiseaux comme les mammifères confrontés à de fortes dépenses énergétiques. Cependant, ce comportement et les bénéfices associés n'ont encore jamais été étudiés chez les éléphants de mer. Ce projet repose ainsi sur l'étude du comportement de thermorégulation sociale, stratégie d'économie d'énergie utilisée par les éléphants de mer au cours de leur période de mue sur la colonie. Nous supposons que les adaptations comportementales et physiologiques liées aux agrégations plus ou moins denses des éléphants de mer au cours de leur mue pourraient être influencées par leur condition corporelle ainsi que les contraintes climatiques. Les agrégations pourraient ainsi permettre aux individus de minimiser le temps passé à terre à jeûner, nécessaire au renouvellement de leur peau et fourrure lors de leur mue. Plus précisément, nos principaux objectifs sont de déterminer comment se comportent les éléphants de mer pendant la mue (regroupement, posture, sites d'échouage, déplacements, etc.) et de déterminer comment ils font face à ce stress énergétique (évolution de la composition corporelle, de la température corporelle, des flux de chaleur par photos à thermographie infrarouge, etc.) en fonction des conditions climatiques environnementales. Cette étude nous permettra ainsi de mieux comprendre comment et à quel point les organismes sont capables de s'adapter face à un environnement changeant dans le contexte des changements climatiques actuels.



Southern elephant seals (*Mirounga leonina*) are faced with contrasting periods in terms of energy requirements. They alternate foraging periods at sea, where they feed to replenish their body fuels, and periods on land where they fast and complete their breeding cycle and moult. The moult is an energetically costly phase of their lifecycle during which Southern elephant seals aggregate or huddle more or less closely depending on local climate. Huddling is a powerful energy saving strategy widely used by mammals and birds facing high energetic demands. However, huddling behaviour and its energetics in Southern elephant seals have not yet been extensively studied. This project therefore focuses on this energy saving strategy used by Southern elephant seals during their moult on land. We hypothesize that behavioural and physiological adaptations linked to huddling during the moult, may be influenced by the organism's body condition and the environmental constraints while fasting. Huddling would thus allow individuals to minimise the time and energy required to complete the necessary replacement of skin and hair. Our main objectives are to determine how Southern elephant seals behave during the moulting period (huddling, posture, haul-out sites and changes of location), and how they cope with the energy demands of the moult (body composition, core, and skin temperature) according to weather conditions. Since the climate of the Antarctic and sub-Antarctic regions is changing, this study will help us to understand how and to what extent organisms are able to cope behaviourally and physiologically with critical periods in their lifecycle in relation to changes in environmental conditions.

#### 1044 - PROTEKER

**Impact du changement global sur le benthos et les habitats marins des Iles Kerguelen. Établissement d'une ligne de base pour le suivi écologique et génétique, la protection et la conservation**

**FERAL Jean-Pierre  
UMR 6540 - DIMAR, Marseille  
Kerguelen, La Curieuse**

Dans le contexte actuel de changements climatiques, des variations du niveau marin et de la biodiversité, en particulier benthique, (disparition d'espèces, changements d'aires de répartition, remplacements, espèces "exotiques" et envahissantes) affecteront les îles australes, particulièrement en milieu côtier. Les sites explorés au cours de campagnes hauturières ou en plongée autour de Kerguelen, ayant donné lieu à des récoltes et des travaux de recherche seront revisités au cours de nouvelles campagnes de *La Curieuse*. Les observations et le dépouillement de ces récoltes seront comparées avec ceux effectués depuis les années 70. Toutes les données, anciennes et nouvelles, seront saisies dans des bases existantes ou compatibles, associées à un SIG. Certaines espèces dont la structure génétique est connue seront choisies pour un suivi génétique et la détermination de zones sensibles. L'ensemble apportera les bases scientifiques à la détermination de zones à protéger (lieu, surface et distances optimum entre les zones) et à gérer.

*In the current context of climate changes, variations of the sea level and of marine biodiversity [particularly benthic], (extinction, shifts, replacements, "exotic" and invading species) will affect the Southern Islands, particularly in coastal waters. Sites explored during past ocean cruises or by diving around Kerguelen, having given place to collections and research tasks, will be revisited during cruises of "La Curieuse". The observations and the examination of these new collections will be compared with those carried out since the Seventies. All the data, old and new, will be captured in existing or compatible databases associated with a GIS. Certain species of which the genetic structure is known will be selected for a genetic monitoring and the determination of sensitive areas. The whole will bring the scientific bases to the determination of zones to be protected (site, area and optimum distances between the protected zones) and managed.*

#### 1081 - RENKER

**Les rennes des Iles Kerguelen : distribution, dynamique et impacts sur les écosystèmes**

**LOISON Anne  
Alpine Ecology Laboratory (LECA),  
Le Bourget du Lac  
Kerguelen**

Notre projet a pour objectifs d'estimer l'impact des rennes introduits aux Kerguelen sur les écosystèmes afin d'évaluer différentes politiques de gestion. Nous

1. estimerons la distribution et l'utilisation de l'habitat des rennes aux Iles Kerguelen en combinant des comptages de crottes et des comptages par hélicoptère,
2. mesurerons des indices démographiques simples tels que rapport faons/femelle et âge des individus trouvés morts pour comparer cette population à celle de Géorgie du Sud, également sans prédateurs,
3. évaluerons si ces indices peuvent être validés en suivant des individus marqués,
4. estimerons la diversité des plantes et leur biomasse et relier celles-ci à l'utilisation de l'habitat par les rennes et la présence d'autres herbivores en utilisant une approche utilisée dans les écosystèmes subarctiques-alpins,
5. mettrons en place des exclos dans différents habitats pour estimer la réponse à court terme de la végétation à l'abrutissement par le renne.

*Our project aims to assess ecosystem effects of reindeer on Kerguelen in order to evaluate different management policies. We will*

1. estimate the distribution and habitat use of reindeer on Ile Kerguelen using a combination of faeces counts and helicopter transects,
2. collect simple demographic indices such as calves/females ratio and age of carcasses to compare this predator-free population to e.g. South Georgia,
3. assess if these indices can be validated using marked individuals,
4. estimate plant composition and biomass and relate it to reindeer habitat use and presence of other herbivores using an approach developed in subarctic-alpine ecosystems,
5. establish exclosures in different habitats to assess short-term responses of vegetation to reindeer grazing.



## 1091 - l'AMMER

Les manchots Adélie bioplateformes de l'environnement marin

ROBERT-COUDERT Yan

Departement Ecologie, Physiologie et Ethologie, Strasbourg  
Terre Adélie

Ce programme s'inscrit dans la lignée des efforts internationaux visant à établir un suivi au long terme des performances de prospection alimentaire en mer d'espèces éco-indicatrices des changements environnementaux et de relier ces performances aux caractéristiques physiques du milieu. Les données consisteront à localiser des zones d'alimentation préférentielles des manchots Adélie de Dumont d'Urville et à quantifier leur effort de pêche en fonction de

1. la disponibilité des ressources marines
2. leurs aptitudes à la pêche qui dépendent de la qualité individuelle.

En partenariat avec le WWF, ces données s'intégreront dans les grands programmes internationaux de bio-régionalisation (Census of Antarctic Marine Life, SCAR) et seront comparées avec celles de manchots d'autres régions de l'Antarctique en collaboration avec les équipes de recherche australiennes et japonaises. L'originalité du programme l'AMMER résidera non seulement dans le fait qu'il représentera le premier observatoire français dédié au suivi des performances alimentaire d'un prédateur supérieur polaire, mais aussi dans la prise en compte des caractéristiques individuelles dans l'évaluation de ces performances. A ce sujet, le programme fera appel aux techniques d'investigations les plus récentes en écophysiologie, incluant les analyses fractales, les mesures hormonales (corticotérostéone et prolactin) et des indices génétiques du statut d'un individu (raccourcissement des télomères).

*This program proposal proceeds from the recent international efforts towards long-term monitoring of at-sea foraging performances of key species serving as eco-indicators of environmental changes. Here, foraging success of these species are linked to physical parameters of their environment and to resource availability. The data collected will consist in identifying the preferred foraging zones of Adélie penguins in Dumont d'Urville, Adélie Land and quantifying the hunting effort according to*

1. *the availability of their main prey,*
2. *their own ability to find and capture prey, which depends on their individual quality.*

*In partnership with the WWF, these data will be included in the databases of international programs of eco-regionalization (Census of Antarctic Marine Life, SCAR). Comparisons with Adélie penguins' performance in other regions of the East Antarctic sector will be conducted, in collaboration with colleagues from Australian and Japanese polar institutes. The originality of the proposal is two-fold:*

1. *l'AMMER could represent the first French observatory dedicated to the monitoring of at-sea foraging performances of a polar top predator;*
2. *it does not only consist in a simple monitoring but will also try and determine what in the foraging performances proceed from the intrinsic characteristics of the individuals monitored, using cutting-edge approaches (hormonal measurement, rate of telomere loss and fractal analyses).*

## 1102 - POLARIS

Adaptive polymorphism, climate warning, and resilience of Antarctic annelid species

HOURDEZ Stéphane

Station Biologique de Roscoff, UMR7144

Equipe Génétique de l'Adaptation aux Milieux Extrêmes, Roscoff  
Terre Adélie

Le programme de recherche a pour but de comprendre l'effet de températures très stables sur le processus de sélection et son effet sur le polymorphisme adaptatif intrapopulationnel. Il sera développé sur trois campagnes à Dumont d'Urville. La première année, nous échantillonnerons des populations de deux groupes d'espèces proches pour deux familles d'annélides (total de quatre espèces) et évaluerons le niveau de polymorphisme de chaque espèce. La seconde et troisième année seront dédiées à une approche expérimentale qui permettra de déterminer si certains allèles (ou niveau de polymorphisme) sont associés à une meilleure survie d'une espèce au réchauffement : la TL50 sera déterminée, comparée, et les génotypes déterminés pour les animaux de part et d'autre de la TL50. Des expériences similaires seront menées sur des espèces proches de celles de l'Antarctique mais dans une zone tempérée (Roscoff) pour une comparaison avec un régime fluctuant de températures.

Le génotypage reposera sur une approche RAD-Tag : des amorces marquées pour chaque individu seront utilisées pour amplifier les ADNc (ou l'ADN génomique si les introns sont courts) et les fragments marqués résultant seront séquencés par 454. Le régime de sélection sera déterminé pour chaque gène étudié par des approches de coalescence et les tests sous-jacents utilisés en génétique des populations (Tajima, HKA, MK).



The research program is aimed at understanding the effect of very stable temperatures on the selection process and its effect on the resulting intra-population adaptive polymorphism. It will be developed over three campaigns at Dumont d'Urville. The first year, we will sample populations of two sets of closely related species for two different families of polychaetes (total of four species) and evaluate the level of polymorphism for each. The second and third year will be dedicated to an experimental approach that will determine whether some alleles (or levels of polymorphism) are associated with better survival of a species to warming: TL50 will be determined, compared, and genotypes determined for the animals on either side of the TL50. Similar experiments will be carried out on populations of species close to the Antarctic ones in a temperate area (Roscoff) for comparison with a fluctuating regime of temperatures.

Genotyping will use a RAD-Tag approach: primers tagged for each individual specimen will be used to amplify the cDNA (or genomic DNA if introns are short) and the resulting tagged fragments will be used for 454 pyrosequencing. The selection regime will be evaluated for each studied gene using coalescence approaches and the underlying tests (Tajima, HKA, MK) used in population genetics.

---

---

## 1124 - REVOLTA

Radiations EVOLutives marines en Terre Adélie

ELEAUME Marc  
Muséum National d'Histoire Naturelle, UMR 7208 BOREA (Biologie des Organismes et Ecosystèmes Aquatiques), MNHN, CNRS, IRD, PARIS VI, Paris  
Terre Adélie

La zone de l'Antarctique Est située entre les glaciers du Mertz et de L'Astrolabe, récemment échantillonnée (CEAMARC), présente différents types de biotopes propices à la production de "species flocks". Les archipels constituent des milieux très fragmentés qui pourraient favoriser la spéciation rapide des groupes taxonomiques. Dans ce contexte, l'archipel de Pointe Géologie est choisi comme milieu modèle avec cinq groupes taxonomiques candidats susceptibles de générer des "micro species flocks" (notothenioïdes, crinoïdes, échinoïdes, isopodes, algues) qui seront étudiés à trois échelles taxonomiques et temporelles.

The East Antarctic area situated between the Mertz and L'Astrolabe ice tongues, recently sampled (CEAMARC), displays a number of different biotopes likely to produce "species flocks". Especially, archipelagos form fragmented habitats that could favour rapid speciation of some taxonomic groups. Pointe Geologie is an archipelago and is chosen as model environment and five taxa that are thought to have produced "micro species flocks" (notothenioids, crinoids, echinoids, isopods, algae) will be studied at three taxonomic and temporal scales.

---

---

## 1142 - ICO'TA

Integrated Coastal Ocean Observations in Terre Adélie

KOUBBI Philippe  
Laboratoire d'Océanographie de Villefranche, UMR 7093, Villefranche sur mer  
Kerguelen, La Curieuse

Les observations à long terme dans l'océan Austral sont difficiles à réaliser et les études à mésoéchelles sont plutôt rares. Si les zones dominées par le krill sont bien connues, des études sont nécessaires concernant les réseaux trophiques de la zone néritique. Par une approche multidisciplinaire, le projet a pour objectif d'obtenir des informations sur la composition des communautés marines du plateau continental est-Antarctique en fonction de la variabilité des facteurs environnementaux incluant la glace de mer. Des espèces ou assemblages clés seront suivis. Pour le milieu pélagique, les études vont se concentrer sur le contrôle de cet écosystème par quelques espèces comme les euphausiacés et le (micro)necton sur le plancton. Pour le milieu benthique, il est proposé de comprendre comment les communautés indiquent le niveau de perturbation lié au chalutage du fond par les icebergs et comment le benthos et l'ichtyofaune associée réagissent au retrait des glaciers.

Long term synoptic monitoring of polar oceans has always been a challenge and annual mesoscale surveys are rare. If krill dominated areas are quite well known, monitoring is needed to study the trophic web in neritic zone. The motivation of the project is to gather through a multidisciplinary effort, long-term information on the composition of the marine biota over the Eastern Antarctic continental shelf in relation to environmental variability including seaice variability. Key species or assemblages will be monitored. For the pelagic realm, the study will focus on the control of the pelagic ecosystem by few species of euphausiids and (micro)nekton on plankton. For the benthic realm, it will be proposed to understand how communities indicate the level of perturbation linked to iceberg scouring and how the benthos and demersal fish may react to glacier retreat.

---

---



# Adaptation des personnels aux missions antarctiques

## 1046 - Turnover TA

**Etude des effets des interactions et des modalités de coopération sur l'adaptation individuelle, sociale et opératoire lors de la relève en Terre Adélie**

**VILLEMAIN Aude**  
Laboratoire de Psychologie Appliquée,  
EA 4298, Reims  
Terre Adélie

Les difficultés d'adaptation psychologique se traduisent en hivernage par des difficultés relationnelles et opératoires (décalage entre les situations attendues par les hivernants et les situations réelles). Le programme vise à comprendre les phénomènes liés à la transmission et à la construction des connaissances au cours de la relève. Les résultats devraient permettre d'identifier les procédures utilisées au cours de la relève, pour favoriser cette transmission, et d'optimiser l'adaptation des hivernants (entraînement/soutien technique).

*Psychological difficulties during wintering affect both interpersonal relationships and operative adaptation (i.e. discrepancy between expected situations and real situations). This study aims at investigating the regulation and knowledge transfer between two dyads of colleagues during the turnover. The results could allow to identify the processes used during the turnover in order to facilitate knowledge transfer, and to optimize the winterers' preparation (training and technical support) to wintering.*

## 1136 ICE-Q

**Adaptation sociale, environnementale, occupationnelle et psychologique dans les situations isolées et confinées (ICEs): identification, analyse, élaboration et validation d'outils mesurant l'adaptation dans les situations ICEs**

**NICOLAS Michel**  
Faculté des sciences du sport de  
Bourgogne, Dijon  
Crozet, Kerguelen, Amsterdam-Saint-Paul,  
Terre Adélie

Le but de ce projet est d'étudier les variables sociales, occupationnelles, environnementales et psychologiques qui sont parmi les déterminants les plus importants dans l'adaptation aux environnements isolés et confinés. L'évolution et les relations entre ces variables seront étudiées. De plus, dans une approche interdisciplinaire, nous proposons d'analyser les relations entre les données psychologiques et médicales disponibles afin d'évaluer la pertinence des mesures psychologiques. Ce projet vise à construire des outils validés afin d'évaluer l'adaptation individuelle et collective dans les ICEs qui faciliteraient à la fois le recrutement et le suivi des équipes impliqués.

*The aim of the present project is to study social, occupational, environmental and psychological variables which are among the most important determinant in adaptation to Isolated and Confined Environments, the so-called ICEs. The evolution and the relationships between these variables will be investigated. Furthermore, in an interdisciplinary approach, we propose to analyze the relationships between psychological and medical data available in order to evaluate the relevance of the psychological measures. This project aims to gather data in order to construct standardized tools that will help evaluating individual and collective adaptation in ICEs which would facilitate both recruitment and follow-up of the implicated crews.*

## 1113 - FOLLOW UP

**Longitudinal follow-up of winterover teams and their relatives**

**WAWRZYNIAK Michel**  
Université de Picardie, Centre de Recherche en Psychologie, Amiens  
Terre Adélie

L'objectif de la recherche proposée est d'améliorer la compréhension des phénomènes psychologiques individuels et collectifs rencontrés par les hivernants et leurs proches lors de missions polaires de longue durée, et au retour chez soi une fois la mission terminée. Cette étude psychologique consiste en un suivi longitudinal de groupes d'hivernants de Terre Adélie amenés à vivre et travailler ensemble dans la station polaire Dumont d'Urville pour plus d'une année, mais aussi de leurs proches : conjoints, enfants ou parents. Ces cohortes seraient suivies en parallèle, depuis la préparation de la mission avant le départ, et jusque après le retour chez soi des hivernants. Des entretiens individuels et collectifs seraient utilisés pour explorer les pratiques, les représentations et les émotions de ces personnes, qui font l'expérience inhabituelle d'une séparation volontaire de longue durée, thème peu étudié dans le contexte polaire, tout comme dans la plupart des environnements extrêmes. Outre les missions polaires, une telle recherche pourrait porter ses fruits dans d'autres contextes, notamment les missions spatiales et sous-marines de longue durée, impliquant un éloignement similaire des proches et de l'environnement habituel.

*The objective of the proposed study is to refine the understanding of individual and collective psychological phenomena occurring during long duration polar missions, and reunion after the mission has ended. This psychological study consists in a longitudinal follow-up of winterover teams -working and living together in Adélie Land, at the scientific outpost of Dumont d'Urville- but also of their relatives: partners, children, or parents. These cohorts would be followed in parallel from the preparation of the mission before departure, and until after the homecoming period. Individual and group interviews as well as questionnaires would be used to explore the practices, representations and emotions of those individuals, who experience an unusual voluntary separation, a topic seldom studied in the polar context, as in most extreme environments.*

*Beyond polar missions, such research could bear fruit in other contexts, including long-duration space missions and submarine patrols, which involve a similar remoteness from relatives and from the usual environment.*

## 1117 - SICKVEST

**Seasickness on L'Astrolabe : Characterization and evaluation of pharmacological countermeasures during turnaround missions.**

**BESNARD Stéphane**  
Université HOpital de Caen, INSERM U 1075, Caen  
Terre Adélie sur l'Astrolabe

Environ 80% des personnes embarquées lors des missions de rotation du bateau L'Astrolabe souffre d'un syndrome de mal des transports avec parfois un risque de déshydratation très important. Notre unité spécialisée dans l'étude fondamentale du système vestibulaire (oreille interne), organe sensoriel à la base du conflit visuo-vestibulaire induisant ce syndrome, assure également le support médical des vols paraboliques (vol reproduisant l'apesanteur) où ce syndrome est également fortement présent. L'Astrolabe étant par voie de conséquence un stimulus fort et reproductible dans le déclenchement du mal de mer, notre objectif est de caractériser les critères déclencheurs les plus importants (profil psychologique, types de mouvement du bateau) et de comparer quatre protocoles de traitement du mal des transports (un protocole par an) avec une évaluation et un suivi médical lors de chaque rotation de L'Astrolabe. Ce travail sera réalisé en collaboration entre l'INSERM U 1075 (France) et le laboratoire de recherche militaire VIPER (Ecole Royale Militaire, Belgique) spécialisé dans les environnements extrêmes..

*Motion sickness is present in about 80% of the passengers during missions onboard the Astrolabe with sometimes a very significant risk of dehydration. Our unit specializes in the fundamental study of the vestibular system (inner ear), the sensory organ responsible of visual-vestibular conflict inducing this syndrome, and also provides medical support in parabolic flights (flight reproducing weightlessness) where this syndrome is also strongly present. Since the Astrolabe is a strong and reproducible stimulus triggering seasickness, we would like to characterize the strongest component of the elicitation of motion sickness (psychological component, types of boat movements) and to test 4 protocols of treatment of motion sickness with medical supervision (1 protocol per year), during turnaround missions of the Astrolabe. This work will be conducted in collaboration with the unit INSERM U 1075 (France) and the military research laboratory VIPER (Royal Military Academy, Belgium) specialized in extreme environments.*



### 1007 - HAMLET

Fiabilité de l'électronique à haute altitude et haute latitude

WROBEL Frédéric

UMR 5214, équipe RADIAC, Montpellier Concordia

Les rayons cosmiques bombardent notre atmosphère et sont à l'origine de dysfonctionnements dans les composants et systèmes électroniques. Ces dysfonctionnements sont critiques pour les applications qui concernent la sécurité des biens et personnes (électronique avionique, pacemaker, automobile, stockage des données...). Dans ce contexte, la connaissance du milieu radiatif atmosphérique est capitale et peut s'entreprendre par la détection de ces particules ou par l'observation directe de leurs effets sur certains composants électroniques. Les zones de hautes altitudes et hautes latitudes sont particulièrement intéressantes car les flux de particules y sont singulièrement élevés.

*Cosmic rays continuously reach the Earth atmosphere which lead to various dysfunctions in electronic components and systems. These dysfunctions are critical for applications dealing with security, transport or health... In this context, the knowledge of the atmospheric radiation environment is crucial. Data can be obtained either by detection of natural particles in the atmosphere or by directly observing their effects on electronic devices. Locations with high altitude and high latitude are particularly of interest since particule fluxes are harsh.*

---



Since 2004 ESA has utilised the Concordia research station to carry out human physiological, psychological and biological research which has relevance to future human spaceflight missions to other worlds. The winter period is of particular interest to these space scientists, as the extreme environment, hypoxic atmosphere and extended periods of isolation and confinement, with a need for a high level of crew autonomy is believed to be the closest possible facsimile to a human planetary mission to the Moon or Mars.

ESA supports IPEV and PNRA in medical monitoring, operational validation of life-support technologies and psychological training of crews by personnel from the European Astronaut Centre. Past and current investigations include adaptation and coping with stress and changes in the immune system, blood clotting and changes in the circadian rhythms of crewmembers.

The 2014 winter season has provided a number of technical and logistic challenges, however nine ESA research proposals have been undertaken this season.

## MONU

This study examined the influence of isolation, and its psychological sequelae on diet and metabolism. The crew maintained a written and photographic log of food for two days each month. Psychological questionnaires and blood samples were also collected so that psychological measures of mood can be correlated with biological markers. Despite some early technical issues that were fixed on site, overall there was a good level of participation in this study throughout the winter-over period.



*MONU : Evaluating a crew member's metabolism by monitoring breathe gases in relaxation*

## Vitamin D

The body usually photosynthesises Vitamin D in the skin when exposed to sunlight, however during the Austral winter this is not possible, and dietary vitamin D supplementation is required. Dietary supplementation will also be required during long duration space missions, however the ideal dosage is not yet known. In this experiment two dosage levels were trialed, with blood and urine samples collected to monitor Vitamin D levels throughout the winter. The vitamin D dosages were self-administered by the crew, and this made consistent, reliable intake difficult to determine. Overall half of the crew undertook this experiment.



*Collecting blood samples for the Vitamin D, VASCON and MONU experiments*

## Team Performance Task

This experiment aimed to judge social cohesion and cooperation between team members as well as charting how it changes over time by monitoring set teams completing a resource management computer game. This was a particularly challenging experiment to undertake because a single subject deciding to retire from the study meant in reality three subjects' data was lost. Data loss was minimized by reformed teams and two subjects making up numbers by testing in two groups. 10 subjects took part in this study.



The DC10 winterover crew and biomedical research volunteer participants

### COALA

Being made of the 'right stuff' makes it very hard for mission controllers to determine how an astronaut is really feeling, therefore an objective, non-intrusive measurement of stress and mood are needed during long duration missions. COALA measures changes in speech patterns and voice mechanics and language to access changes in mood. The experiment involved reading a standardised story and recording a personal audio log each week. Data collection was high in the early part of the season, allowing the adaptation and effects of hypoxia to be studied however as the season progressed some crew members chose to continue with only some aspects of the study. Three crew members undertook weekly diaries, and seven undertook the story only or diary at reduced frequencies.



An ANTIBACS array testing various materials

### HASTE<sup>2</sup>

Insomnia and disturbed sleep due to sleep apnoea, or disrupted breathing, is a well known phenomenon in extreme environments as well as a wide range of people in everyday settings. HASTE<sup>2</sup> monitored crewmembers with an electrode cap over two nights at three time points in the mission, looking for episodes of sleep apnoea and brain activity, which was then fed back to the crew as automatic reports after each test. Five winter crew member completed the all test sessions, two completed 2/3 session and some members of the summer crew completed this experiment.



HASTE<sup>2</sup> sleep experiment device

### ICE-Q

The psychology of the overwinter team is always of great interest for future planetary exploration, and psychological research forms the mainstay of ESA's Antarctic research programme. ICE-Q involves crewmembers completing an in-depth series of questionnaires once every three months. Five crewmembers completed all sessions, and a further four completed between one and three sessions.

### VASCON

This study looked at how high altitude affects the cardiovascular system, especially intracranial pressure. This is of interest to ESA because some visual symptoms experienced by astronauts in flight may be linked to raised intracranial pressure. This study required blood samples and non-invasive measuring of intracranial pressure via measurements at the ear. Overall there was a good level of participation in this study: seven participants completed the blood draw portion of the study, and twelve crew members undertook the intracranial measurements.

### ANTIBACS

This Research Doctor-only study aims to document microbial and fungal growth on different surfaces in extreme environments. This will inform the selection of the most appropriate material for future spacecraft and habitats. Over 20 different materials are being tested in Concordia, with sample return due in 2015.

### CARDIOPOST

Postural changes affect the cardiovascular system, however this study turns this on its head and aimed to study whether changes in cardiovascular function due to living in a chronically hypobaric hypoxic environment affects posture in sitting or standing. This experiment measured blood pressure in different positions over the course of the winter-over period. This experiment was plagued with breakdowns which were fixed on-site, and overall had a good level of participation.

## Responsable de programme :

### **BESNARD Stéphane**

Université de Caen  
besnard-s@phycog.org

### **BETOULLE Stéphane**

Université de Reims  
stephane.betoulle@univ-reims.fr

### **BLANGY Sylvie**

CNRS / UMR 5175  
sblangy@gmail.com

### **BONADONNA Francesco**

Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive  
francesco.bonadonna@cefe.cnrs.fr

### **BOLLACHE Loïc**

Laboratoire Biogéosciences - UMR / CNRS 5561  
bollache@u-bourgogne.fr

### **BOST Charles-André**

Centre d'Etudes Biologiques de Chizé  
bost@cebc.cnrs.fr

### **BOULINIER Thierry**

Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive -  
Département Biologie des Populations  
thierry.boulinier@cefe.cnrs.fr

### **CHADID Merieme**

Université de Nice  
chadid@unice.fr

### **CHAMBODUT Aude**

Ecole et Observatoire des Sciences de la Terre  
aude@unistra.fr

### **CHAPPELLAZ Jérôme**

Laboratoire de Glaciologie et Géophysique de  
l'Environnement  
jerome@lgge.obs.ujf-grenoble.fr

### **CHARRASSIN Jean-Benoît**

LOCEAN / UMR 7159  
jbcld@ocean-ipsl.upmc.fr

### **CHASTEL Olivier**

Centre d'Etudes Biologiques de Chizé  
chastel@cebc.cnrs.fr

### **CHAUVAUD Laurent**

IUEM / OSU / LEMAR  
Laurent.Chauvaud@univ-brest.fr

### **CRUBEZY Eric**

Laboratoire AMIS / FRE 2960  
crubezy.eric@free.fr

### **DANCHIN Etienne**

Evolution et Diversité Biologique  
edanchin@cict.fr

### **DELMOTTE Marc**

Laboratoire des Sciences du Climat et de  
l'Environnement / RAMCES / CEA Saclay  
marc.delmotte@sce.ipsl.fr

### **DOMINE Florent**

Unité Mixte Internationale Takuvit  
florent.domine@takuvik.ulaval.ca

### **DOMMERGUE Aurélien**

Laboratoire de Glaciologie et Géophysique de  
l'Environnement  
dommergue@lgge.obs.ujf-grenoble.fr

### **DUPRAT Jean**

CSNSM IN2P3-CNRS Université Paris-Sud  
Jean.Duprat@csnsm.in2p3.fr

### **DURAND Gilles**

Département d'Astrophysique et de Physique  
CEA  
durandgs@cea.fr

### **ELEAUME Marc**

UMR 7208 / BOREA / MNHN / CNRS / IRD  
/ PARIS VI  
eleaume@mnhn.fr

### **FAVIER Vincent**

Laboratoire de Glaciologie et Géophysique de  
l'Environnement  
favier@lgge.obs.ujf-grenoble.fr

### **FERAL Jean-Pierre**

UMR 6540 / DIMAR  
jean-pierre.feral@univmed.fr

### **GENTHON Christophe**

Laboratoire de Glaciologie et Géophysique de  
l'Environnement  
genthon@lgge.obs.ujf-grenoble.fr

### **GILBERT Caroline**

IPHC / UMR 7178 / CNRS / Uds  
caroline.gilbert@scbiol.uhp-nancy.fr

### **GREMILLET David**

Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive -  
Equipe Ecologie Spatiale des Populations  
david.gremillet@cefe.cnrs.fr

### **GUILLAUME Damien**

Université Paul Sabatier / UMR 5563 GET  
damien.guillaume@get.obs-mip.fr

### **GUILLOT Tristan**

Cassipée - Observatoire de la Côte d'Azur  
tristan.guillot@oca.eu

### **HOURDEZ Stéphane**

Génétique de l'Adaptation en Milieux Extrêmes  
hourdez@sb-roscoff.fr

### **HOUSSAIS Marie-Noëlle**

Laboratoire d'Océanographie et du Climat :  
Expérimentations et Approches Numériques  
mnh@ocean-ipsl.upmc.fr

### **JOLIET Fabienne Jeanne**

INHP / Agrocampus Centre d'Angers  
fabienne.joliet@agrocampus-ouest.fr

### **JUMELET Julien**

LATMOS / IPSL / UMR 8190  
Julien.Jumelet@atmos.ipsl.fr

### **KLEIN Karl-Ludwig**

Laboratoire d'Etudes Spatiales et Instrumentales  
pour l'Astrophysique  
ludwig.klein@obspm.fr

### **KOUBBI Philippe**

Laboratoire d'Océanographie de Villefranche  
sur Mer / UMR 7093  
koubbi@obs-vlfr.fr

### **LE MAHO Yvon**

Institut Pluridisciplinaire Hubert Curien -  
Département Interactions Physique, Chimie et Vivant  
yvon.lemaho@c-strasbourg.fr

### **LE MEUR Emmanuel**

Laboratoire de Glaciologie et Géophysique de  
l'Environnement  
lemeur@lgge.obs.ujf-grenoble.fr

### **LAMBERT Jean-Luc**

GSRL-CNRS, UMR 8582  
jeanluc.lambert@ymail.com

### **LEGRAND Michel**

Laboratoire de Glaciologie et Géophysique de  
l'Environnement  
legrand@lgge.obs.ujf-grenoble.fr

### **LEGRESY Benoît**

Laboratoire d'Etudes en Géophysique et  
Océanographie Spatiales  
benoit.legresy@cnes.fr

### **LEVEQUE Jean-Jacques**

Ecole et Observatoire des Sciences de la Terre  
leveque@sismo.u-strasbg.fr

### **LOISON Anne**

Alpine Ecology Laboratory (LECA)  
anne.loison@univ-savoie.fr

### **MAGAND Olivier**

Laboratoire de Glaciologie et Géophysique de  
l'Environnement  
magand@lgge.obs.ujf-grenoble.fr

### **MAGGI Alessia**

Ecole et Observatoire des Sciences de la Terre  
alessia.maggi@unistra.fr

**MARCHAUDON Aurélie**

Laboratoire de Physique et Chimie de l'Environnement / CNRS  
*aurelie.marchaudon@cnrs-orleans.fr*

**MARGUERIE Dominique**

Laboratoire Archéosciences, Université de Rennes I  
*dominique.marguerie@univ-rennes1.fr*

**MARLIN Christelle**

UMR IDES 8148 CNRS / Université Paris-Sud 11  
*christelle.marlin@u-psud.fr*

**MICHEL Elisabeth**

Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement / IPSL  
*elisabeth.michel@lsce.ipsl.fr*

**NICOLAS Michel**

Faculté des sciences du sport de Bourgogne  
*michel.nicolas@u-bourgogne.fr*

**PARK Young-Hyang**

Département Milieux et Peuplements Aquatiques  
*yhpark@mnhn.fr*

**PICARD Ghislain**

Laboratoire de Glaciologie et Géophysique de l'Environnement  
*ghislain.picard@ggge.obs.ujf-grenoble.fr*

**PONTIER Dominique**

Ecologie évolutive des Populations  
*dpontier@biomserv.univ-lyon1.fr*

**RENAULT David**

UMR CNRS 6553 / ECOBIO  
*david.renault@univ-rennes1.fr*

**RICAUD Philippe**

Laboratoire d'Aérodologie / Ozone et Précurseurs  
*philippe.ricaud@aero.obs-mip.fr*

**ROBIN Jean-Patrice**

Département d'Ecologie, Physiologie et Ethologie  
*jean-patrice.robin@c-strasbourg.fr*

**ROCHETTE Pierre**

Université Paul Cézanne / CEREGE / UMR6635 / CNRS  
*rochette@cerege.fr*

**ROPERT-COUDERT Yan**

Département d'Ecologie, Physiologie et Ethologie  
*yan.ropert-coudert@iphc.cnrs.fr*

**ROUSSEL Damien**

Laboratoire d'Ecologie des Hydrosystèmes Naturels et Anthropisés  
*droussel@univ-lyon1.fr*

**SAVARINO Joël**

Laboratoire de Glaciologie et Géophysique de l'Environnement  
*jsavarino@ggge.obs.ujf-grenoble.fr*

**SCIARE Jean**

Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement  
*jean.sciare@lsce.ipsl.fr*

**TESTUT Laurent**

Laboratoire d'Etudes en Géophysique et Océanographie Spatiales  
*Laurent.Testut@legos.obs-mip.fr*

**VILLEMAIN Aude**

Université de Reims  
*aude.villemain@univ-reims.fr*

**VIVIER Frédéric**

Université Pierre et Marie Curie  
*fvi@ocean-ipsl.upmc.fr*

**VOGEL Timothy**

CNRS / UMR 5005  
*tvogel@ec-lyon.fr*

**WAWRZYNIAK Michel**

Université de Picardie / Centre de Recherche en Psychologie  
*micHEL.wawrzyniak@u-picardie.fr*

**WEIMERSKIRCH Henri**

Centre d'Etudes Biologiques de Chizé  
*henriv@cebc.cnrs.fr*

**WROBEL Frédéric**

UMR 5214 / équipe RADIAC  
*frederic.wrobel@jes.univ-montp2.fr*





# SIGLES



ANR	Agence Nationale de la Recherche
AWI	Alfred Wegener Institute
BAS	British Antarctic Survey
CEA	Commissariat à l'Energie Atomique
CEBC	Centre d'Etudes Biologiques de Chizé
CEFE	Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive
CEP	Comité Environnement Polaire
CEREGE	Centre Européen de Recherche et d'Enseignement des Géosciences de l'Environnement
CETP	Centre d'études des Environnements Terrestres et Planétaires
CIO	Comité Intergouvernemental Océanographique (UNESCO)
CNES	Centre National d'Etudes Spatiales
CNRS	Centre National de la Recherche Scientifique
COMNAP	Council of Managers of National Antarctic Programmes
CPE	Comité pour la Protection de l'Environnement (RCTA)
CPST	Conseil des Programmes Scientifiques et Technologiques
CSNSM	Centre de Spectrométrie Nucléaire et de Spectrométrie de Masse
ECOBIO	Ecosystèmes, Biodiversité, Evolution
EPB	European Polar Board
EPF	Expéditions Polaires Françaises
EPRD	Etat Prévisionnel des Recettes et Dépenses
EPICA	European Programme for Ice-Coring in Antarctica
GIP	Groupement d'Intérêt Public
GPS	Global Positioning System
GRIP	Greenland Ice-core Project
IASC	International Arctic Science Committee
IFREMER	Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer
IMAGES	International MARine Global change Study
INSU	Institut National des Sciences de l'Univers
ISEM	Institut des Sciences de l'Evolution
IPGS	Institut de Physique du Globe de Strasbourg
IPHC	Institut Pluridisciplinaire Hubert Curien
IPSL	Institut Pierre Simon Laplace
IRD	Institut de Recherche pour le Développement
IUEM	Institut Universitaire Européen de la Mer
LATMOS	Laboratoire Atmosphères, Milieux, Observations Spatiales
LBCM	Laboratoire de Biochimie et Chimie Marines
LEGOS	Laboratoire d'Etudes en Géophysique et Océanographie Spatiales
LEMAR	Laboratoire des Sciences de l'Environnement Marin
LESIA	Laboratoire d'Etudes Spatiales et d'Instrumentation en Astrophysique
LGGE	Laboratoire de Glaciologie et Géophysique de l'Environnement
LGRMP	Laboratoire Géodynamique des Rifts et des Marges Passives
LISA	Laboratoire Interuniversitaire des Systèmes Atmosphériques
LOCEAN	Laboratoire d'Océanographie et du Climat : Expérimentations et Approches Numériques
LPCE	Laboratoire de Physique et Chimie de l'Environnement
LPCM	Laboratoire de Physique et Chimie Marines
LSCE	Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement
MESR	Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
MICIST	Mission de l'information et de la culture scientifiques et techniques du MESR
RCTA	Réunion Consultative du Traité sur l'Antarctique
SCAR	Scientific Committee on Antarctic Research
SMF	Sondeur MultiFaisceaux
SUPERDARN	Super Dual Auroral Radar Network
TAAF	Terres Australes et Antarctiques Françaises
UBO	Université de Bretagne Occidentale

## Crédits photos :



Nicolas Le Viavant



Pierre Blévin



Thibaut Vergoz



Alain Pottier



Emmanuel Le Meur



Thibaut Vergoz



Gwendal Stephan



Steven Le Braz



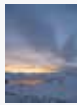
Philippe Apelt



Emmanuel Le Meur



Alain Pottier



Goulven Largouët



Goulven Largouët



Nicolas Le Viavant



Dominique Fleury



Rudolf Denkmann



Dominique Fleury



Dominique Fleury



Dominique Fleury



Goulven Largouët



Goulven Largouët



Frack Delbart



Dominique Fleury



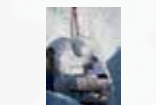
Gwendal Stephan



Bruno Cusa - Tous droits réservés



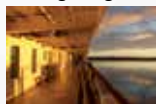
CNRS Chizé



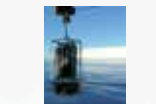
Nicolas Le Viavant



Serge Begon



Steven Le Braz



Pierre Sangiardi



Pierre Sangiardi



Serge Begon



Pierre Sangiardi



Pierre Sangiardi



Gildas Roudaut



Serge Begon



Serge Begon



Claire Garrigue



Nicolas Le Viavant



Serge Begon



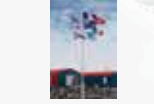
Pierre Blevin



Dominique Fleury



Mylène Hauteœur



Philippe Apelt



Pierre Perrin



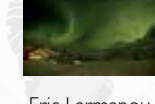
Goulven Largouët



Serge Begon



Rudolf Denkmann



Eric Larmanou



Dominique Fleury



Rudolf Denkmann



Dominique Fleury



Dominique Fleury



Dominique Fleury



Serge Begon



Christophe Guillerm



Jacques Farcy



Elisabeth Michel



Gaëtan Quere



Christian Delahaye



Pierre Perrin



Serge Begon



Bruno Cusa - Tous droits réservés



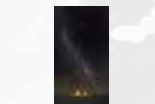
Mylène Hauteœur



Cyrille Gallut



Philippe Apelt



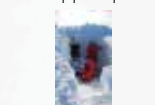
Eoin MacDonald



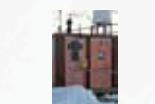
Olivier Traulle



Philippe Apelt



Rudolf Denkmann



Cyrille Gallut



Mylène Hauteœur

**Direction de la publication :** Yves Frenot

**Département communication** de l'Institut polaire français Paul-Emile Victor, IPEV

**Création graphique :** Jean-Paul Humblot

**Coordination :** Aude Sonneville

**Rédacteurs :** Yves Frenot, Hélène Leau, Aude Sonneville.

**Impression :** Calligraphy

**ISSN :** 1766-5523

**ISBN :** 978-2-910180-71-9

4<sup>ème</sup> trimestre 2014

**INSTITUT POLAIRE FRANÇAIS**  
**PAUL-EMILE VICTOR**

Technopôle Brest-Iroise  
CS 60075  
29280 Plouzané  
France

Tél + 33 (0)2 98 05 65 00  
Fax + 33 (0)2 98 05 65 55  
Courriel : [communication-ipev@ipev.fr](mailto:communication-ipev@ipev.fr)  
[www.institut-polaire.fr](http://www.institut-polaire.fr)

